

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

PREVISÃO DE VAZÕES PARA BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DE
MINAS GERAIS COM BASE EM MODELO HIDROLÓGICO DISTRIBUÍDO E
PREVISÕES DE MODELO ATMOSFÉRICO

Fabiane de Cássia dos Santos

ITAJUBÁ – MG

2026

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

Fabiane de Cássia dos Santos

**PREVISÃO DE VAZÕES PARA BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DE
MINAS GERAIS COM BASE EM MODELO HIDROLÓGICO DISTRIBUÍDO E
PREVISÕES DE MODELO ATMOSFÉRICO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Itajubá, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de Concentração: Clima e Gestão do Ambiente

Linha de Pesquisa: Mudanças Climáticas e Resiliência

Orientador: Benedito Cláudio da Silva

Coorientadora: Marina Batalini de Macedo

ITAJUBÁ – MG

2026

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

Fabiane de Cássia dos Santos

**PREVISÃO DE VAZÕES PARA BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DE
MINAS GERAIS COM BASE EM MODELO HIDROLÓGICO DISTRIBUÍDO E
PREVISÕES DE MODELO ATMOSFÉRICO**

Dissertação aprovada pela banca examinadora em 13 de
julho de 2026, conferindo à autora o título de Mestre em
Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Benedito Cláudio da Silva (Orientador)
Universidade Federal de Itajubá

Profª Drª Luz Adriana Cuartas Pineda
Universidade Estadual Paulista

Profª Drª Michelle Simões Reboita
Universidade Federal de Itajubá

ITAJUBÁ – MG

2026

AGRADECIMENTOS

É com muita satisfação que apresento este trabalho, por isso, eu gostaria muito de agradecer:

A Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

A minha família, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Ao meu esposo por toda paciência e compreensão nos momentos mais difíceis e por todo seu amor.

A esta universidade, pelo apoio e pela oportunidade.

Ao meu orientador Benedito Cláudio da Silva, pelo suporte no pouco tempo que lhe couberam, pelas suas correções e incentivos.

A minha coorientadora Marina Batalini de Macedo por seus ensinamentos e apoio.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

Minas Gerais possui grande relevância hídrica no contexto brasileiro em razão de suas extensas bacias hidrográficas, fundamentais para o abastecimento de água e geração de energia elétrica. Em contrapartida, sua ampla rede hidrográfica também torna o estado suscetível à ocorrência frequente de eventos extremos, como inundações. Entre 1991 e 2023, desastres hidrológicos afetaram milhões de pessoas em Minas Gerais, ocasionando perdas humanas e expressivos prejuízos econômicos. Nesse contexto, foram criados centros públicos especializados no monitoramento de eventos extremos, responsáveis pela emissão de previsões hidroclimáticas e alertas destinados a subsidiar ações de prevenção e resposta a desastres. Contudo, essas operações concentram-se, em geral, em bacias hidrográficas específicas e áreas previamente definidas como prioritárias, não contemplando de forma integrada todo o território estadual. Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo contribuir para a ampliação da capacidade de previsão de vazões em escala regional por meio da integração entre um modelo atmosférico regional e um modelo hidrológico, com aplicação às principais bacias hidrográficas de Minas Gerais. Para isso, foram utilizadas previsões diárias de precipitação, com horizonte de até oito dias, produzidas pelo modelo atmosférico regional ETA, operado pelo CPTEC/INPE, no período de 2001 a 2024. Essas previsões foram empregadas como dados de entrada do modelo hidrológico distribuído MGB-IPH para a geração de previsões diárias de vazão com até oito dias de antecedência. A avaliação da acurácia das previsões foi realizada por meio de análises visuais e dos indicadores estatísticos Erro Médio Relativo (EMR) e Erro Médio Absoluto (EMA). Os resultados demonstraram que o sistema Eta/MGB conseguiu representar as vazões observadas e pode ser útil para apoio na gestão dos recursos hídricos nas principais bacias de Minas Gerais. Entretanto, limitações relacionadas à qualidade dos dados hidrológicos e às incertezas associadas às estimativas e previsões de precipitação ainda comprometem parte da acurácia das previsões. Dessa forma, recomenda-se que estudos futuros incorporem técnicas de correção de precipitação, análises estatísticas mais abrangentes e a comparação entre diferentes modelos atmosféricos, visando ao aprimoramento do desempenho do sistema de previsão.

Palavras-chave: Modelo Hidrológico. Modelos Atmosféricos. Previsão de Vazão. Sistemas de Alerta.

ABSTRACT

Minas Gerais plays a major role in Brazil's water resources due to its extensive river basins, which are essential for water supply and electricity generation. On the other hand, its extensive river network also makes the state susceptible to frequent extreme events, such as floods. Between 1991 and 2023, hydrological disasters affected millions of people in Minas Gerais, resulting in loss of life and significant economic damage. In this context, public centers specializing in the monitoring of extreme events were established, responsible for issuing hydroclimatic forecasts and alerts designed to support disaster prevention and response efforts. However, these operations generally focus on specific watersheds and areas previously defined as priorities, failing to comprehensively cover the entire state territory. Given this scenario, this study aims to contribute to expanding the capacity for regional-scale discharge forecasting through the integration of a regional atmospheric model and a hydrological model, applied to the main river basins of Minas Gerais. To this end, daily precipitation forecasts with a lead time of up to eight days, produced by the ETA regional atmospheric model operated by CPTEC/INPE, were used for the period from 2001 to 2024. These forecasts were employed as input data for the MGB-IPH distributed hydrological model to generate daily discharge forecasts up to eight days in advance. The accuracy of the forecasts was evaluated through visual analyses and the statistical indicators Mean Relative Error (MRE) and Mean Absolute Error (MAE). The results demonstrated that the ETA/MGB system was able to represent the observed discharge values and can be useful in supporting water resources management in the main basins of Minas Gerais. However, limitations related to the quality of hydrological data and uncertainties associated with precipitation estimates and forecasts still compromise part of the forecasts' accuracy. Therefore, it is recommended that future studies incorporate precipitation correction techniques, more comprehensive statistical analyses, and comparisons between different atmospheric models, with the aim of improving the forecasting system's performance.

Keywords: Hydrological Model. Atmospheric Models. Flow Forecasting. Warning Systems.

LISTA DE FIGURA

Figura 1- Quantidade de decretações dos principais desastres no Brasil (2013–2024).....	17
Figura 2 - Quantidade de decretos por chuvas por UF (2013 a 2024).....	17
Figura 3 - Número de Protocolos registrados por tipo de desastre em Minas Gerias - (a) Distribuição de protocolos por grupo de desastres; (b) Detalhamento do grupo hidrológico por tipo de desastre	18
Figura 4 - Número de óbitos por tipo de desastre hidrológico	19
Figura 5 - Registros de inundações por município no Estado de Minas Gerais de 1991 a 2024.	20
Figura 6 - Registros de enxurradas por município no Estado de Minas Gerais de 1991 a 2024.	21
Figura 7: Registros do evento hidrológico ocorrido em 2020 na região Metropolitana de Belo Horizonte.....	22
Figura 8 - Alagamento registrado no dia 02/01/2000 na cidade de Itajubá (MG).....	22
Figura 9 - Quatro eixos do sistema de alerta e abordagens primeira linha e fim de linha.....	24
Figura 10 - Municípios monitorados pelo CEMADEN.....	25
Figura 11 - Matriz de Risco utilizada pelo Cemaden e os respectivos níveis de alertas	26
Figura 12 - Estratégia brasileira para sistema de monitoramento e alerta.....	27
Figura 13- Bacias contempladas pelos Sistemas de Alerta Hidrológico do Serviço Geológico do Brasil	28
Figura 14 - Fluxograma das etapas de operação do Sistema de Alerta Hidrológico (SAHs)..	29
Figura 15 - Aspectos de classificação de modelos hidrológicos	33
Figura 16 - Conceituação da classificação dos modelos hidrológicos	33
Figura 17 - Representação esquemática do ciclo hidrológico simulado pelo Modelo de Grandes Bacias – MGB.....	35
Figura 18 - Representação esquemática do domínio de um modelo global e de um	37
Figura 19 – Mapa de localização com a definição das bacias hidrográficas do estudo.	41
Figura 20 - Processo metodológico de ajuste do modelo hidrológico.....	42
Figura 21 - Fluxograma das etapas realizadas na geração de previsão de vazão.	45
Figura 22 - Pontos de grade do modelo ETA de resolução 8 km, sobre os limites do Estado de Minas Gerais.	46
Figura 23 - Mapa altimétrico de Minas Gerais.....	48

Figura 24 - Porcentagem de faixas de altitudes por Bacia Hidrográfica	49
Figura 25 - Mapa de declividades de Minas Gerais conforme classificação da EMBRAPA ...	50
Figura 26 - Porcentagem de faixas de declividade por Bacia Hidrográfica	50
Figura 27 - Classificação climática conforme Köppen-Geiger	51
Figura 28 - Porcentagem de classes de clima por Bacia Hidrográfica	52
Figura 29 - Mapa de Unidade de Resposta Hidrológica de Minas Gerais	53
Figura 30 - Porcentagem de classes de URHs por Bacia Hidrográfica	54
Figura 31 - Usinas Hidrelétricas registradas na Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, dentro do estado mineiro.....	55
Figura 32 - Classificação dos valores de NS na calibração do MGB para os postos fluviométricos de Minas Gerais	57
Figura 33 - Porcentagem da classificação do NS, na calibração, por bacia hidrográfica.....	58
Figura 34 - Resultados da calibração para o posto 53460500 (Bacia do Rio pardo) - (a) informações gerais da bacia e as métricas de desempenho do MGB para calibração e validação; (b) hidrograma das vazões observadas e calibradas; (c) curva de permanência das vazões observadas e simuladas; (d) correlação entre vazão simulada e observada.....	59
Figura 35 - Resultados da calibração para o posto 56338080 (Bacia do Rio Doce)) - (a) informações gerais da bacia e as métricas de desempenho do MGB para calibração e validação; (b) hidrograma das vazões observadas e calibradas; (c) curva de permanência das vazões observadas e simuladas; (d) correlação entre vazão simulada e observada.....	60
Figura 36 - Resultados da calibração para o posto 61429000 (Bacia do Rio Grande) - (a) informações gerais da bacia e as métricas de desempenho do MGB para calibração e validação; (b) hidrograma das vazões observadas e calibradas; (c) curva de permanência das vazões observadas e simuladas; (d) correlação entre vazão simulada e observada.....	61
Figura 37 - Resultados da calibração para o posto 61370000 – Bacia do Rio Grande	61
Figura 38 - Resultados da calibração para o posto 60230080 (Bacia do Rio Paranaíba) - (a) informações gerais da bacia e as métricas de desempenho do MGB para calibração e validação; (b) hidrograma das vazões observadas e calibradas; (c) curva de permanência das vazões observadas e simuladas; (d) correlação entre vazão simulada e observada.....	62

Figura 39 - Resultados da calibração para o posto 54710000 (Bacia do Rio Jequitinhonha) - (a) informações gerais da bacia e as métricas de desempenho do MGB para calibração e validação; (b) hidrograma das vazões observadas e calibradas; (c) curva de permanência das vazões observadas e simuladas; (d) correlação entre vazão simulada e observada.....	63
Figura 40 - Resultados da calibração para o posto 58770000 (Bacia do Rio Paraíba do Sul) - (a) informações gerais da bacia e as métricas de desempenho do MGB para calibração e validação; (b) hidrograma das vazões observadas e calibradas; (c) curva de permanência das vazões observadas e simuladas; (d) correlação entre vazão simulada e observada.....	63
Figura 41 - Resultados da calibração para o posto 55560000 (Bacia do Rio Mucuri) - (a) informações gerais da bacia e as métricas de desempenho do MGB para calibração e validação; (b) hidrograma das vazões observadas e calibradas; (c) curva de permanência das vazões observadas e simuladas; (d) correlação entre vazão simulada e observada.....	64
Figura 42 - Resultados da calibração para o posto 55779000 (Bacia do Rio São Mateus) - (a) informações gerais da bacia e as métricas de desempenho do MGB para calibração e validação; (b) hidrograma das vazões observadas e calibradas; (c) curva de permanência das vazões observadas e simuladas; (d) correlação entre vazão simulada e observada.....	64
Figura 43 – (a) Valores de NS; (b) valores de NSlo, para cada bacia hidrográfica de estudo..	65
Figura 44 - Correlação entre chuvas observadas e previstas pelo modelo Eta para todas as bacias, com antecedência de 1 a 7 dias	67
Figura 45 - Comparação entre as chuvas previstas pelo modelo ETA e observadas. Valores médios para a bacia do rio São Francisco, com 1 dia até 8 dias de antecedência....	69
Figura 46 - Comparação entre as chuvas previstas pelo modelo ETA e observadas. Valores médios para a bacia do rio Pardo, com 1 dia até 8 dias de antecedência	70
Figura 47 - Distribuição do Erro Médio Absoluto por dia de antecedência para a bacia do rio Doce	72
Figura 48 -Distribuição do Erro Médio Absoluto por dia de antecedência para a bacia do rio Grande.....	72
Figura 49 - Distribuição do Erro Médio Absoluto por dia de antecedência para a bacia do rio Jequitinhonha	73

Figura 50 - Distribuição do Erro Médio Absoluto por dia de antecedência para a bacia do rio Mucuri.....	73
Figura 51 - Distribuição do Erro Médio Absoluto por dia de antecedência para a bacia do rio Paraíba do Sul	74
Figura 52 - Distribuição do Erro Médio Absoluto por dia de antecedência para a bacia do rio Paranaíba.....	74
Figura 53 - Distribuição do Erro Médio Absoluto por dia de antecedência para a bacia do rio Pardo	75
Figura 54 - Distribuição do Erro Médio Absoluto por dia de antecedência para a bacia do rio São Francisco	75
Figura 55 - Distribuição do Erro Médio Absoluto por dia de antecedência para a bacia do rio São Mateus.....	76
Figura 56 - Classificação dos valores de EMR para os postos fluviométricos de Minas Gerais – 1 a 4 dias de antecedência	77
Figura 57 - Classificação dos valores de EMR para os postos fluviométricos de Minas Gerais – 5 a 8 dias de antecedência	78
Figura 58 - Distribuição do EMR por dia de antecedência para cada bacia.....	79
Figura 59 - Vazões observadas e previstas para a sub bacia Gado bravo, no período de 01/07/2021 a 31/12/2024, com antecedência de 1 a 8 dias – (a) informações gerais da subbacia e os valores de EMR para cada dia de antecedência; (b) vazão prevista e observada para um horizonte de 1 a 4 dias; (c) vazão prevista e observada para um horizonte de 5 a 8 dias; (c) correlações entre a chuva prevista e observada para cada dia de antecedência.	80
Figura 60 - Vazões observadas e previstas para a sub bacia Colônia do Jaíba, no período de 01/07/2021 a 31/12/2024, com antecedência de 1 a 8 dias – (a) informações gerais da subbacia e os valores de EMR para cada dia de antecedência; (b) vazão prevista e observada para um horizonte de 1 a 4 dias; (c) vazão prevista e observada para um horizonte de 5 a 8 dias; (c) correlações entre a chuva prevista e observada para cada dia de antecedência.	81
Figura 61 - Hidrograma de vazões observadas e previstas em Porto do Passarinho e CGH João de Deus – (a) informações gerais da subbacia e os valores de EMR para cada dia de antecedência; (b) vazão prevista e observada para um horizonte de 1 a 4 dias; (c)	

vazão prevista e observada para um horizonte de 5 a 8 dias; (c) correlações entre a chuva prevista e observada para cada dia de antecedência.	82
Figura 62 - Hidrograma de vazões observadas e previstas na bacia do rio Jequitinhonha (Fazenda cajueiro – lado esquerdo e Minas Novas – lado direito).....	82
Figura 63 - Hidrograma de vazões observadas e previstas na bacia do rio Pardo (Cândido Sales – lado esquerdo e CH Moraes Jusante – lado direito)	83
Figura 64 - Hidrograma de vazões observadas e previstas na bacia do rio Mucuri (Francisco Sá – lado esquerdo e Pedro do Pampã – lado direito).....	83
Figura 65 - Distribuição do EMR para cada faixa de classificação do NS (NS calibração e NS validação).....	84
Figura 66 - Distribuição do EMR para cada faixa de classificação do NSlog (NSlog calibração e NSlog validação).....	85
Figura 67 - Vazões observadas e previstas para a sub bacia Manuel Duarte, no período de 01/07/2021 a 31/12/2024, com antecedência de 1 a 8 dias – (a) informações gerais da subbacia e os valores de EMR para cada dia de antecedência; (b) vazão prevista e observada para um horizonte de 1 a 4 dias; (c) vazão prevista e observada para um horizonte de 5 a 8 dias; (c) correlações entre a chuva prevista e observada para cada dia de antecedência.	86
Figura 68 - Vazões observadas e previstas para a sub bacia UHE Porto Colômbia, no período de 01/07/2021 a 31/12/2024, com antecedência de 1 a 8 dias – (a) informações gerais da subbacia e os valores de EMR para cada dia de antecedência; (b) vazão prevista e observada para um horizonte de 1 a 4 dias; (c) vazão prevista e observada para um horizonte de 5 a 8 dias; (c) correlações entre a chuva prevista e observada para cada dia de antecedência.	87
Figura 69 - Vazões observadas e previstas para a sub bacia UHE Marimbondo, no período de 01/07/2021 a 31/12/2024, com antecedência de 1 a 8 dias – (a) informações gerais da subbacia e os valores de EMR para cada dia de antecedência; (b) vazão prevista e observada para um horizonte de 1 a 4 dias; (c) vazão prevista e observada para um horizonte de 5 a 8 dias; (c) correlações entre a chuva prevista e observada para cada dia de antecedência.	88
Figura 70 - Vazões observadas e previstas para a sub bacia Porto dos Buenos, no período de 01/07/2021 a 31/12/2024, com antecedência de 1 a 8 dias – (a) informações gerais da subbacia e os valores de EMR para cada dia de antecedência; (b) vazão prevista e	

observada para um horizonte de 1 a 4 dias; (c) vazão prevista e observada para um horizonte de 5 a 8 dias; (c) correlações entre a chuva prevista e observada para cada dia de antecedência.	89
---	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVO.....	14
2.1. Objetivo Geral.....	14
2.2. Objetivos Específicos.....	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1. Panorama físico e hidrológico do Estado de Minas Gerais.....	15
3.2. Panorama dos desastres naturais em Minas Gerais.....	16
3.3. Sistemas de alerta.....	23
3.4. Previsão de Vazão.....	30
3.4.1. Modelos Hidrológicos.....	32
3.4.2. Modelo de Grandes Bacias (MGB-IPH).....	34
3.5. Previsão de Precipitação.....	35
4. METODOLOGIA.....	40
4.1. Localização e caracterização da área de Estudo.....	40
4.2. Calibração e validação do modelo hidrológico.....	42
4.3. Previsões de vazão.....	44
5. RESULTADOS.....	48
5.1. Calibração e Validação do Modelo.....	57
5.2. Previsões de Precipitação de Curto Prazo do Modelo ETA.....	66
5.3. Previsão de Vazão.....	71
6. CONCLUSÕES.....	90
7. REFERÊNCIAS.....	93
APÊNDICE A.....	100
APÊNDICE B.....	104
APÊNDICE C.....	108

1. INTRODUÇÃO

O Estado de Minas possui grande importância no contexto hidrográfico do Brasil, o estado é cortado por três das doze grandes regiões hidrográficas brasileiras e é repleto de bacias hidrográficas, que integram e alimentam os grandes sistemas fluviais. Devido a isso, Minas Gerais ficou conhecida como a “caixa d'água” brasileira, numa referência à relevância das suas bacias hidrográficas (IGAM, 2020). Essa extensa rede hídrica proporciona ao estado uma importância fundamental para o abastecimento de água e para o fornecimento de energia elétrica no Brasil. Contudo, essa riqueza natural também o torna mais vulnerável a eventos hidrológicos, como chuvas intensas, inundações, enxurradas e alagamentos (Silva; Mello; Chou, 2022; Tucci; Chagas, 2017).

As inundações estão entre os desastres naturais mais devastadores do mundo, provocando perdas econômicas, degradação ambiental e riscos à vida humana (Liang et al., 2026). No Estado de Minas Gerais, são registrados episódios tanto de seca quanto de excesso de precipitação. Desde 1991 até 2023 houve registro de 24,39 milhões de afetados, sendo a principal causa estiagens e seca, chuvas intensas e inundações. Os eventos hidrológicos são a causa de aproximadamente 65% dos óbitos registrados no Estado nesse período (BRASIL, 2023).

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), o aquecimento global tende a intensificar a frequência e a magnitude de eventos extremos (IPCC, 2013, 2021). Nesse contexto, espera-se um aumento na ocorrência de eventos hidrometeorológicos extremos, ampliando os impactos sociais, econômicos e ambientais das inundações. Tal cenário reforça a necessidade de desenvolver ferramentas que auxiliem nas tomadas de decisão sobre recursos hídricos na bacia, sobretudo em situações de criticidade hídrica. Prever a ocorrência de eventos hidrológicos extremos com diferentes prazos de antecedência é uma estratégia com grande potencial para fortalecer a resiliência em relação aos recursos hídricos (Costa, 2021).

Diante dos impactos que eventos hidrológicos extremos podem causar à sociedade, foram implantados no Brasil sistemas de alerta com o objetivo de subsidiar a tomada de decisão e permitir que comunidades e instituições vulneráveis adotem medidas para mitigar danos e perdas decorrentes de inundações iminentes (Moisés; Kunguma, 2023). Esses sistemas são estruturados em quatro pilares principais: conhecimento do risco, monitoramento e emissão de alertas, comunicação dos alertas e capacidade de resposta (Basher, 2006; Marchezini *et al.*, 2017).

O monitoramento do risco consiste na coleta, processamento e análise de informações para identificar ameaças e situações de risco iminente, possibilitando a emissão antecipada de alertas. Nesse contexto, as previsões de vazão desempenham papel fundamental, pois permitem estimar, com antecedência, a ocorrência de eventos críticos e fornecer informações que apoiam a tomada de decisão pelos órgãos responsáveis (Marchezini *et al.*, 2020; Moraes *et al.*, 2022).

Com essa finalidade, foram criados no Brasil centros especializados em monitoramento e emissão de alertas, como o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) e o Serviço Geológico do Brasil (SGB), que utilizam previsões hidrometeorológicas para acompanhar as condições de risco e apoiar ações de prevenção e resposta a desastres.

Embora essas instituições desempenhem papel fundamental na mitigação dos impactos causados por eventos hidrológicos extremos, suas operações de alerta concentram-se, em geral, no monitoramento de bacias hidrográficas específicas e na aplicação de modelos voltados para áreas previamente definidas como prioritárias. Como consequência, ainda há necessidade de ampliar o desenvolvimento de sistemas de previsão capazes de fornecer informações hidrológicas de forma contínua e integrada em extensas regiões.

Nesse contexto, o presente trabalho buscou contribuir para a ampliação da capacidade de previsão de vazões em escala regional, por meio do acoplamento do modelo atmosférico Eta ao Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB). A principal contribuição dessa abordagem consiste na sua aplicação em toda a área do estado de Minas Gerais, permitindo a simulação das vazões ao longo da extensa rede hidrográfica estadual. Dessa forma, o sistema desenvolvido apresenta potencial para subsidiar o monitoramento hidrológico e apoiar a tomada de decisão na gestão dos recursos hídricos e na emissão de alertas para eventos extremos.

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar o desempenho da integração dos modelos Eta e MGB-IPH na geração de séries de previsão de vazões de curto prazo para as principais bacias do estado de Minas Gerais.

2.2. Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo principal, tem-se alguns objetivos específicos como:

- Ajustar o modelo hidrológico MGB-IPH para as bacias hidrográficas de Minas Gerais;
- Gerar históricos de previsões de vazão para as bacias hidrográficas de Minas Gerais por meio da integração entre os modelos Eta e MGB-IPH;
- Analisar o desempenho do acoplamento dos modelos por meio de métricas de avaliação.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Panorama físico e hidrológico do Estado de Minas Gerais

O Estado de Minas Gerais está situado na região Sudeste do Brasil, com uma área de 586.528 km² e uma população de mais de 20 milhões de pessoas (IBGE, 2022). É o terceiro maior estado do país em termos econômicos, sendo responsável por 9,5% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021). Minas Gerais é detentor de uma grande riqueza mineral e natural, além de se destacar na produção industrial, agropecuária e no setor de serviços, fatores que o tornam um dos destaques da economia brasileira (Anjos; Silva, Costa 2016; Salles *et al.*, 2017; Teixeira; Ribeiro 2020)

O estado mineiro abriga importantes bacias hidrográficas e concentra, em seu território, as nascentes e os formadores de importantes rios federais. Por essa razão, o estado é conhecido como a "caixa d'água do Brasil" e possui uma posição estratégica na gestão dos recursos hídricos do país. Minas Gerais conta com 16 bacias hidrográficas, destacando-se a Bacia do Rio São Francisco, Rio Grande, Rio Doce, Rio Paranaíba, Rio Jequitinhonha, Rio Paraíba do Sul, Rio Mucuri, e Rio Pardo que ocupam as maiores áreas de sua extensão territorial (IGAM, 2020).

Com a sua vasta rede hidrográfica, que inclui rios de alto potencial energético, como o Rio Grande, o Rio São Francisco e o Paraíba do Sul, Minas Gerais destaca-se por seu grande potencial de geração hidrelétrica. Essas características naturais incentivaram a construção de grandes hidrelétricas com reservatórios capazes de armazenar água durante o período úmido, garantindo a geração de energia elétrica no período seco. Essa estratégia de regularização de vazões e oferta energética consolidou Minas Gerais como um estado de destaque na produção de energia elétrica no Brasil (Silva *et al.*, 2015). Segundo o Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, a matriz brasileira em 2023 ainda é constituída predominantemente pela geração hidráulica, representando 50,6% do total gerado e Minas Gerais ficou entre os quatro estados com maior quantidade de energia gerada em 2023 (ONS, 2024).

Atualmente a gestão dos recursos hídricos em Minas Gerais é realizada pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas – Igam, de acordo com seu regulamento, contido no Decreto Estadual nº 45.818, de 16 de dezembro de 2011. O Igam tem por finalidade executar a Política Estadual de Recursos Hídricos (PNRH), atuando em áreas como gestão integrada dos recursos hídricos, implementação dos instrumentos de gestão, regulação do uso da água, fiscalização de barragens de água, monitoramento quali-quantitativo, pesquisa e inovação, na secretaria executiva de alguns comitês, fornecendo apoio técnico aos colegiados de recursos hídricos, com

eventos hidrológicos críticos, além de ser a entidade gestora do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SEGRH-MG (IGAM, 2013).

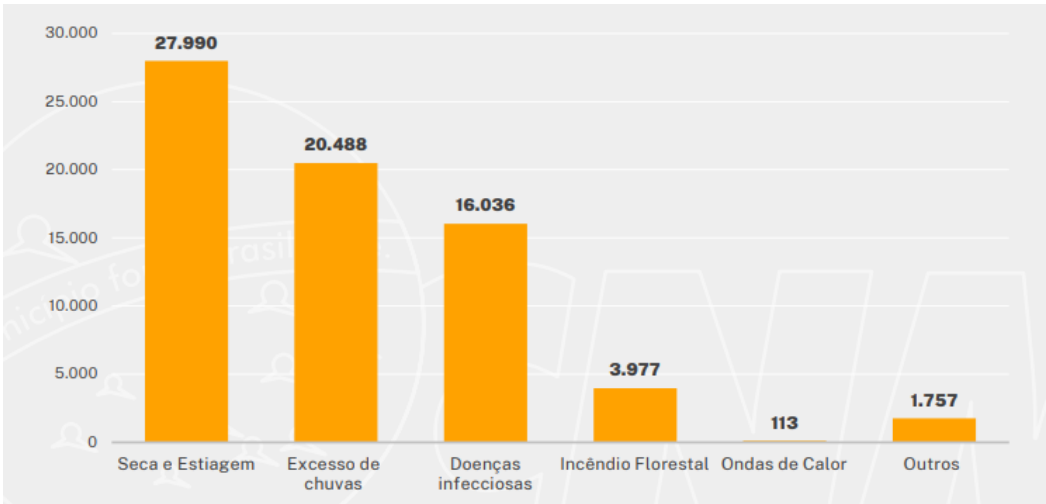
Minas Gerais obteve melhoria significativa na gestão de recursos hídricos, principalmente após a implementação da PNRH. Nos últimos anos, um grande passo para a gestão dos recursos hídricos foi a criação do Programa Estratégico de Segurança Hídrica e Revitalização de Bacias Hidrográficas - Somos Todos Água, lançado em 2019. O Programa conta com dois projetos associados: Plano Mineiro de Segurança Hídrica (PMSH) e Projeto de Revitalização da Bacia Hidrográfica do Rio Viamão (IGAM, 2023).

Segundo Tucci e Chagas (2017) a segurança hídrica refere-se à disponibilidade de água para diferentes usos, à qualidade desse recurso e aos riscos associados a eventos extremos, como inundações. Nesse contexto, a segurança hídrica envolve a gestão dos riscos relacionados tanto à escassez de água, que pode comprometer o atendimento das necessidades humanas e ambientais, quanto ao excesso, que pode causar graves impactos sociais e econômicos. Assim sendo, a segurança hídrica deve ser entendida como a gestão de risco da escassez da água e das inundações para a sociedade, meio ambiente e economia. Para alcançá-la, é necessário implementar um conjunto de ações e estratégias que reduzam a vulnerabilidade a eventos extremos, promovendo a sustentabilidade na gestão dos recursos hídricos. Entre essas estratégias, destacam-se o monitoramento hidrológico e a previsão em tempo real, que permitem antecipar eventos e mitigar riscos de maneira eficaz.

3.2. Panorama dos desastres naturais em Minas Gerais

Segundo a Confederação Nacional de Municípios entre 2013 e 2024, o Brasil registrou mais de 70 mil decretos de emergência ou estado de calamidade pública em decorrência de diferentes tipos de desastres (CNM, 2024). Os eventos mais recorrentes foram seca e estiagem, com 27.990 decretos, e excesso de chuvas, com 20.488 registros, que juntos correspondem a 68,9% de todas as ocorrências no período analisado. A Figura 1 apresenta a quantidade de decretações realizadas, evidenciando a predominância de eventos hidrometeorológicos no cenário brasileiro.

Figura 1- Quantidade de decretações dos principais desastres no Brasil (2013–2024)



Fonte: Fonte: Ministério da Integração e Desenvolvimento Regional/MIDR. Elaboração técnica: CNM (2025).

Os estados de Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Minas Gerais concentraram os maiores números de registros de decretos por chuvas, representando, respectivamente, 20,5%, 16,4% e 13,1% do total nacional. Minas Gerais, com 2.749 decretos relacionados a eventos de excesso de chuvas, destacou-se como o terceiro estado mais afetado do país, conforme representado na Figura 2 (CNM, 2025).

Figura 2 - Quantidade de decretos por chuvas por UF (2013 a 2024)

SC	4.290	PR	900	MT	647
RS	3.439	RJ	890	PE	572
MG	2.749	BA	825	AM	538
PA	1.228	SP	820	MA	391
MS	1.191	ES	728	GO	314
RN	218	PI	112	PB	28
AL	201	RO	98	DF	13
CE	193	AP	92	BR	20.926
TO	185	SE	90		
AC	127	RR	47		

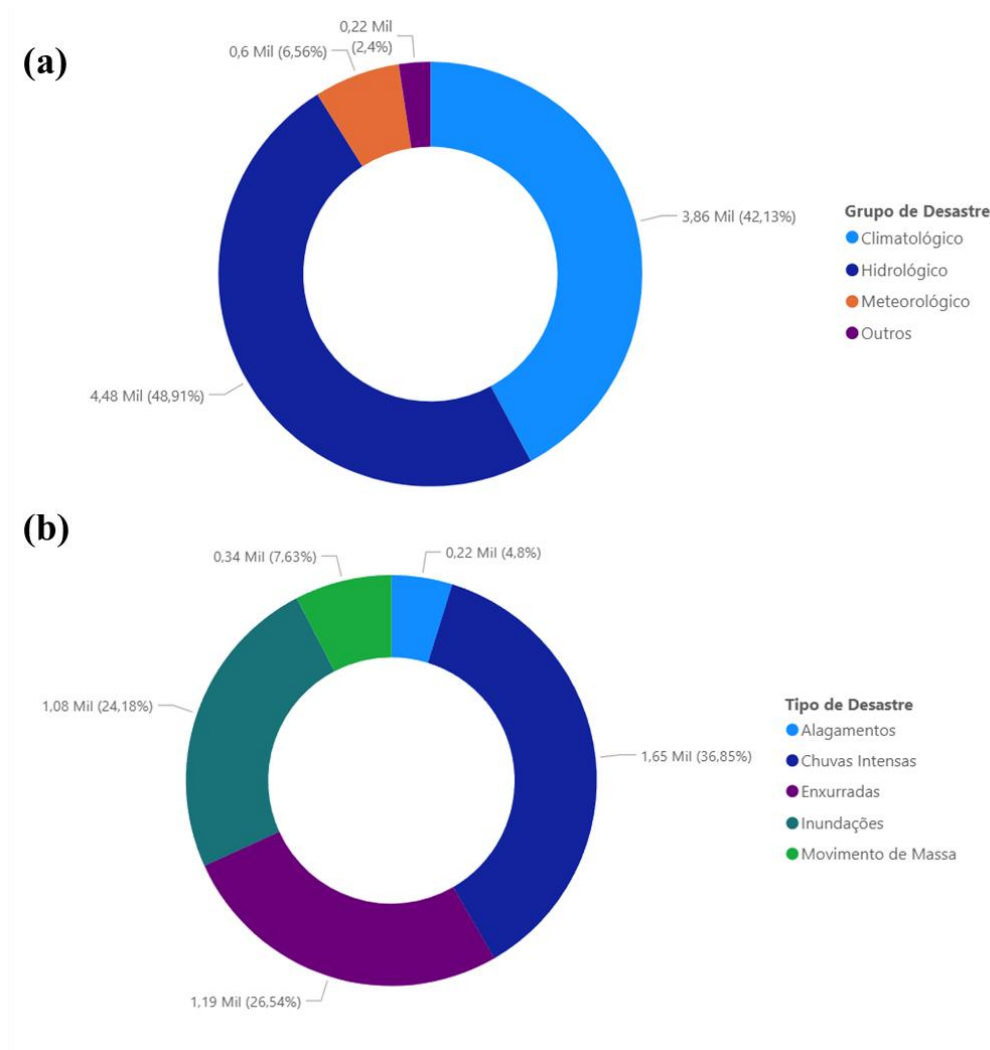
Fonte: Fonte: Ministério da Integração e Desenvolvimento Regional/MIDR. Elaboração técnica: CNM (2025).

As principais vulnerabilidades de Minas Gerais estão relacionadas à ocorrência de eventos hidrológicos, como chuvas intensas, inundações, enxurradas e alagamentos, conforme

apresentado na Figura 3. Tais eventos têm se tornado recorrentes ao longo da última década. Entre 1991 e 2024, os desastres hidrológicos afetaram aproximadamente 893 mil pessoas, resultando em 374 mortes no período, o que demonstra o elevado potencial de risco humano associado a esses eventos.

Do ponto de vista econômico, os prejuízos também foram expressivos: os danos públicos totalizaram cerca de R\$ 2,94 bilhões, enquanto os prejuízos privados somaram R\$ 7,19 bilhões (BRASIL, 2025). Além das perdas materiais, esses desastres acarretaram sérios transtornos à infraestrutura urbana, ao abastecimento de água e energia, à mobilidade e às atividades econômicas, ressaltando a vulnerabilidade do território mineiro frente a eventos hidrológicos extremos.

Figura 3 - Número de Protocolos registrados por tipo de desastre em Minas Gerais - (a) Distribuição de protocolos por grupo de desastres; (b) Detalhamento do grupo hidrológico por tipo de desastre

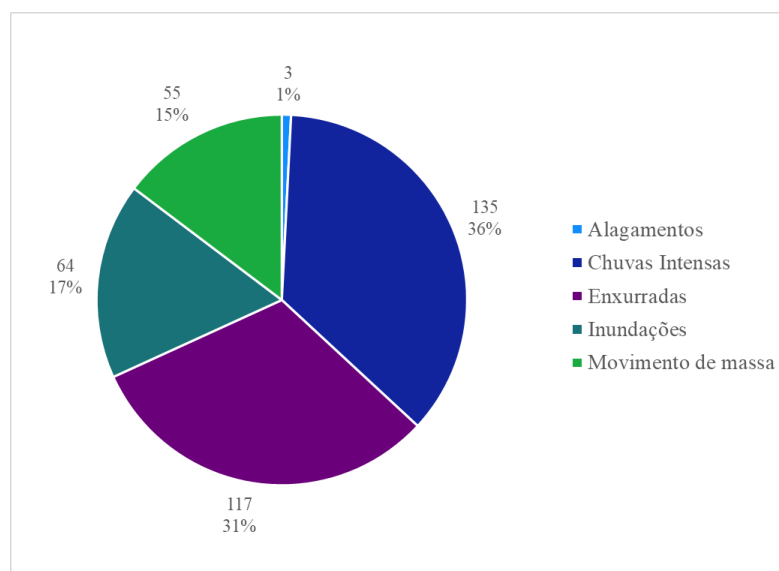


Fonte: Atlas Digital (BRASIL, 2025).

A análise dos desastres hidrológicos em Minas Gerais evidencia a predominância das chuvas intensas e das enxurradas como os principais eventos responsáveis por perdas humanas registradas. Conforme apresentado na Figura 4, esses dois tipos de ocorrência concentram o maior número de óbitos registrados, superando significativamente outros eventos como inundações, alagamentos e movimentos de massa. Observa-se, ainda, que as mortes associadas às inundações e às enxurradas representam, em conjunto, aproximadamente 50% do total de casos registrados, o que evidencia a elevada capacidade desses tipos de desastres causarem danos à população mineira.

Cabe destacar, entretanto, que a classificação desses eventos nem sempre reflete com precisão a natureza dos desastres. Observa-se que, embora parte das mortes esteja registrada sob a categoria de chuvas intensas, algumas dessas ocorrências apresentam, em suas descrições, danos e óbitos decorrentes de enxurradas e do transbordamento de rios. Isso indica que há certa sobreposição entre as tipologias, o que pode levar à subestimação dos impactos atribuídos às enxurradas e inundações e evidencia a necessidade de aperfeiçoamento na padronização e no detalhamento dos registros oficiais.

Figura 4 - Número de óbitos por tipo de desastre hidrológico

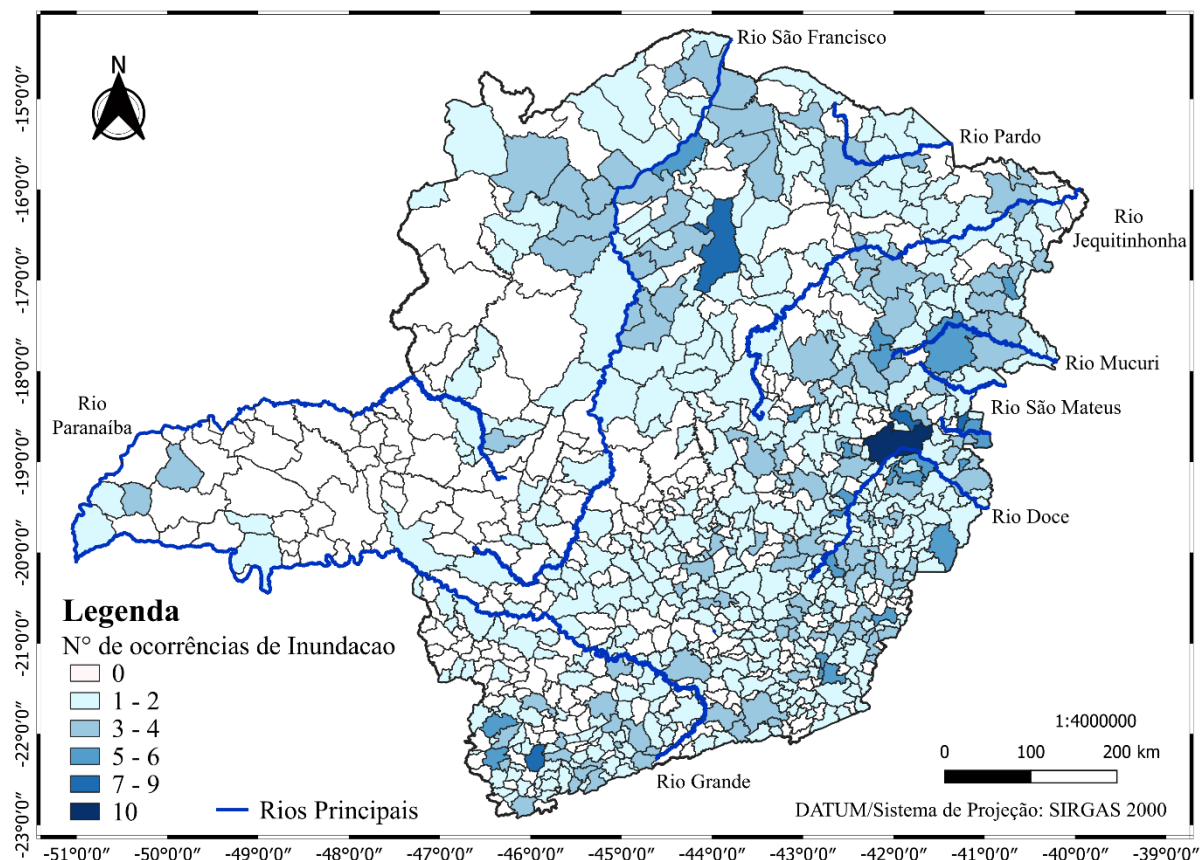


Fonte: Elaborado pela autora com base em dados do Atlas Digital do Brasil de 2025.

A Figura 5 indica que as inundações se concentram principalmente nas regiões Sul e Sudeste do estado, e no Leste, acompanhando o curso do rio Doce e Mucuri. Além disso, observa-se a presença de registros significativos na região Centro-Norte, abrangendo áreas da bacia do rio São Francisco, o que indica a influência dos principais sistemas hidrográficos na ocorrência desses eventos. Destaca-se o município de Governador Valadares, situado no Vale

do Rio Doce, como o local com o maior número de registros de inundações (dez ocorrências), o que demonstra sua alta suscetibilidade a esse tipo de desastre.

Figura 5 - Registros de inundações por município no Estado de Minas Gerais de 1991 a 2024.

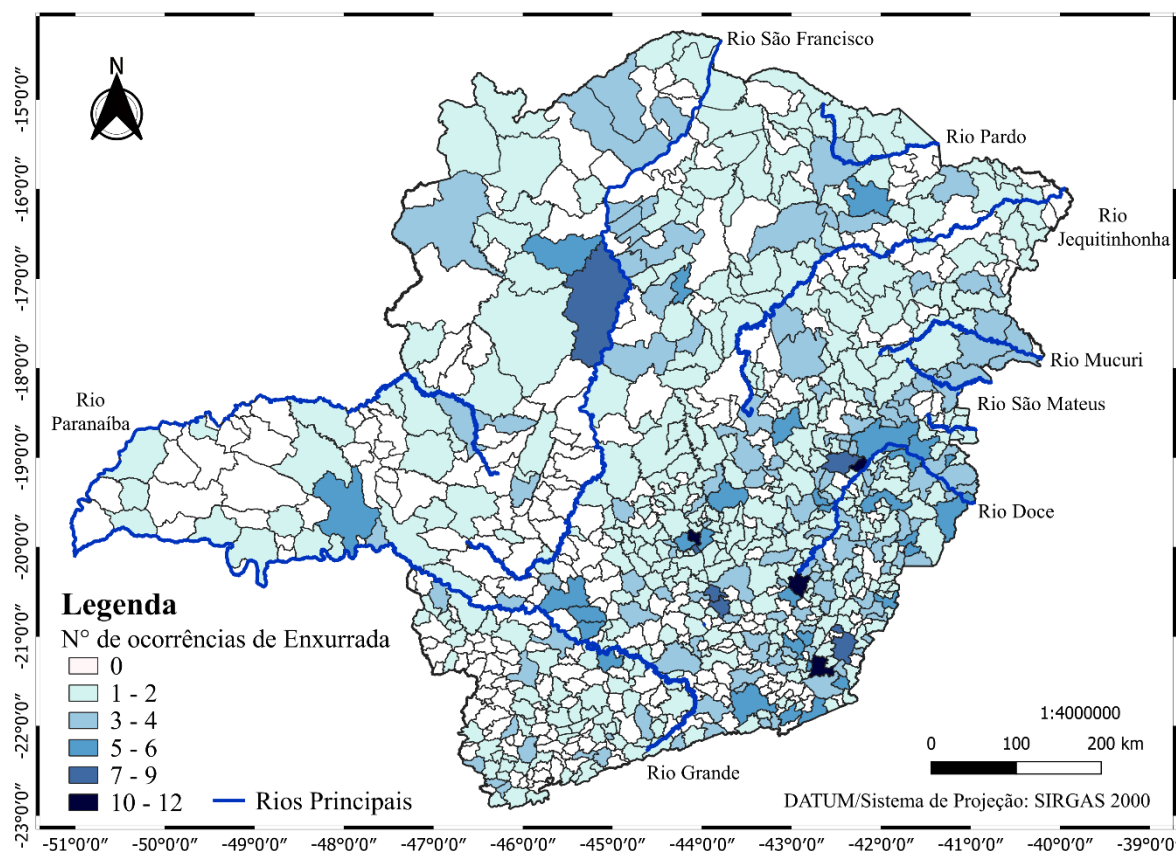


Fonte: Elaborado pela autora com base em dados do Atlas Digital do Brasil de 2025.

Já a Figura 6, referente às enxurradas, mostra uma maior dispersão dos registros em relação às inundações, com concentrações mais expressivas nas porções Sudeste e Leste do estado, especialmente nas proximidades do rio Doce, e em áreas da bacia do rio São Francisco. Destaca-se o município de Cataguases, que registrou 12 ocorrências, seguido de Contagem, com 11 registros, e de Periquito e Ponte Nova, ambos com 10 ocorrências. Segundo a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres – COBRADE (BRASIL,2012), a enxurrada trata-se de um tipo de escoamento superficial rápido e energético, causado por chuvas intensas e normalmente em áreas pequenas e com relevo acidentado. Esse processo provoca aumento súbito da vazão dos cursos d'água, levando ao transbordamento repentino dos rios. É um evento com alto potencial destrutivo. Já a inundação é a submersão gradual de áreas fora do limite

normal do curso d'água, causado pelo transbordamento de rios devido às chuvas prolongadas, especialmente em regiões de planície.

Figura 6 - Registros de enxurradas por município no Estado de Minas Gerais de 1991 a 2024.



Fonte: Elaborado pela autora com base em dados do Atlas Digital do Brasil de 2025.

Alguns episódios divulgados na mídia ilustram a gravidade desses desastres. Conforme reportado pelo portal Globo Notícias, um dos eventos mais recentes e de grandes proporções ocorreu na Região Metropolitana de Belo Horizonte, em janeiro de 2020, quando uma chuva intensa provocou o transbordamento do Córrego do Arrudas, Córrego do Onça e o Ribeirão da Pampulha, causando destruição na região. Segundo o boletim da Defesa Civil, as chuvas resultaram em 55 óbitos em Minas Gerais, com 44.929 pessoas desalojadas e 8.259 desabrigadas, incluindo uma vítima arrastada pela enxurrada. A Figura 7 ilustra a situação da cidade durante o evento. De acordo com dados do Atlas Digital do Brasil, 2020 registrou o maior número de óbitos por desastres hidrológicos no estado.

Figura 7: Registros do evento hidrológico ocorrido em 2020 na região Metropolitana de Belo Horizonte



Fonte: (Chuva destrói parte de BH..., 2020)

Além desse episódio, outro evento de destaque ocorreu em 2000, no sul de Minas Gerais, em decorrência de uma precipitação extremamente rara para a região (Reboita *et al.*, 2017). Esse episódio, considerado uma das maiores tragédias relacionadas a enchentes no sul do estado, causou a destruição de cidades, resultou na morte de doze pessoas e obrigou cerca de oitenta mil pessoas a deixarem suas residências. Na ocasião, o governo de Minas Gerais decretou estado de calamidade pública em 22 municípios (Peixoto, 2025). A Figura 8 ilustra a situação de Itajubá, uma das cidades afetadas durante esse evento.

Figura 8 - Alagamento registrado no dia 02/01/2000 na cidade de Itajubá (MG)



Fonte: Prefeitura Municipal de Itajubá – MG (<http://www.itajuba.mg.gov.br/>)

Embora Minas Gerais apresente elevada vulnerabilidade a eventos hidrológicos, sobretudo inundações, enxurradas e chuvas intensas, o Estado dispõe de uma ampla rede de monitoramento composta por 547 estações fluviométricas e pluviométricas distribuídas em seu território, além de estações dedicadas à medição da qualidade da água. Recentemente, houve um importante avanço tecnológico com o lançamento do Monitoramento Remoto Integrado das Águas (MIRA), ferramenta que possibilita o acompanhamento em tempo real da demanda e da disponibilidade hídrica, por meio da transmissão telemétrica de dados dos corpos d'água monitorados (IGAM, 2023). Apesar disso, o estado ainda não dispõe de um sistema de previsão de vazões que contemple integralmente sua área, o que limita a capacidade de antecipação e mitigação de impactos em eventos críticos.

3.3. Sistemas de alerta

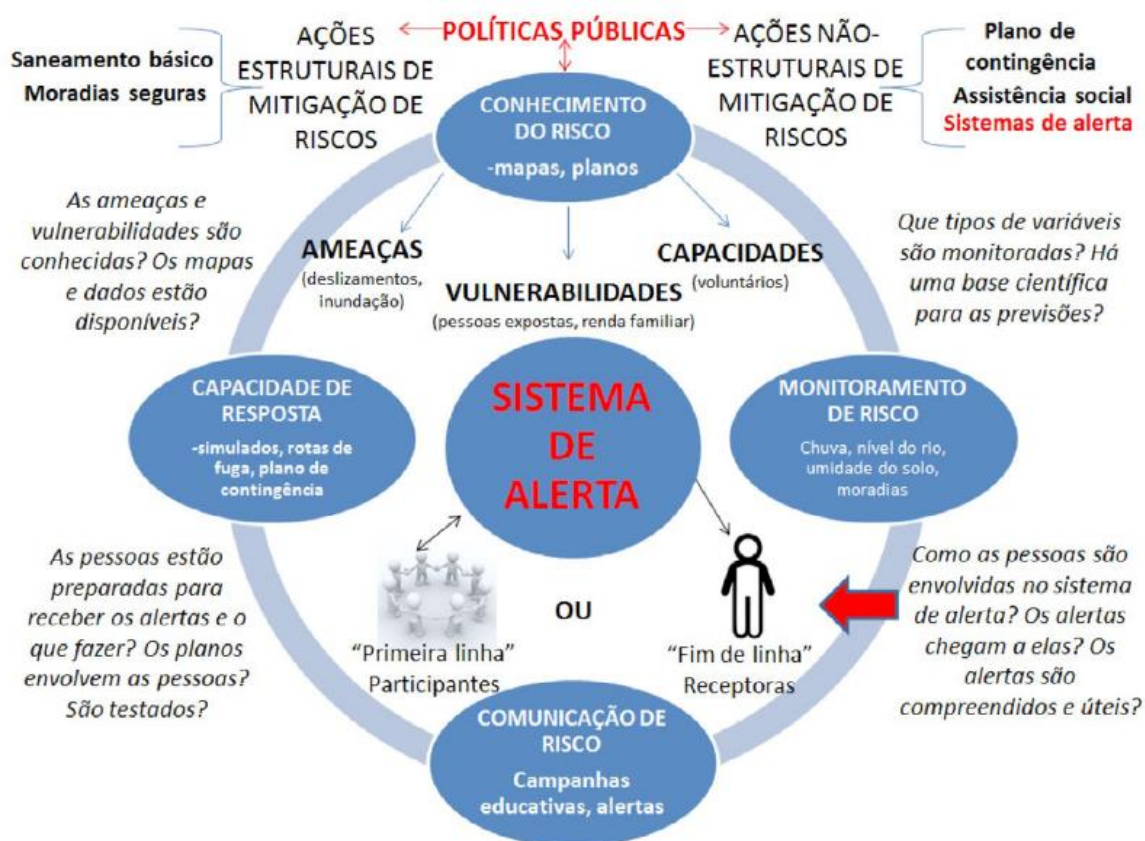
Um sistema de alerta de inundação é um sistema de informação concebido para agilizar a tomada de decisão, permitindo que comunidades e instituições vulneráveis mitiguem danos e perdas potenciais decorrentes de perigos de inundação iminentes (Moisés; Kunguma, 2023). Sistemas de alerta, em geral, integram monitoramento, previsão/indicadores de risco, procedimentos de emissão de aviso e canais de disseminação para assegurar que as ações preventivas e de resposta possam ser executadas com tempo hábil para reduzir a possibilidade de sofrer danos e/ou perdas (UNISDR, 2005; Salgado; Nájera, 2022).

Diversos trabalhos na literatura apontam que um sistema de alerta completo e eficaz deve ser estruturado em torno de quatro eixos fundamentais, conforme apresentado na Figura 9, integrados entre si: (1) conhecimento dos riscos, (2) monitoramento e alerta, (3) divulgação e comunicação, e (4) capacidade de resposta (Basher, 2006; Marchezini *et al.*, 2017; Oktaria; Munadi; Ridhab, 2014).

Conforme o Escritório das Nações Unidas para a Redução do Risco de Desastres (UNDRR), risco corresponde à probabilidade de que um evento desastroso produza impactos adversos sobre populações, sistemas ou bens. Em geral, o risco é representado como o resultado da interação entre o perigo, os elementos expostos a ele e o grau de vulnerabilidade desses elementos (Moraes *et al.*, 2022; Domínguez-Calle; Lozano-Báez, 2014). A identificação dos riscos envolve investigar os perigos, as vulnerabilidades, as capacidades existentes e as estratégias de mitigação, utilizando métodos de coleta e análise de dados e informações com o objetivo de produzir conhecimento. O monitoramento de risco envolve a coleta e análise de dados para identificar ameaças e situações de risco iminente, permitindo a emissão de alertas antecipados. A comunicação de riscos consiste em informar atores públicos, comunidades e

organizações sobre potenciais ameaças em diferentes escalas espaciais e temporais. Já a capacidade de resposta refere-se à organização local e às estratégias adotadas para enfrentar o risco anunciado, dependentes das condições econômicas, sociais, culturais e institucionais (Marchezini *et al.*, 2020; Moraes *et al.*, 2022).

Figura 9 - Quatro eixos do sistema de alerta e abordagens primeira linha e fim de linha

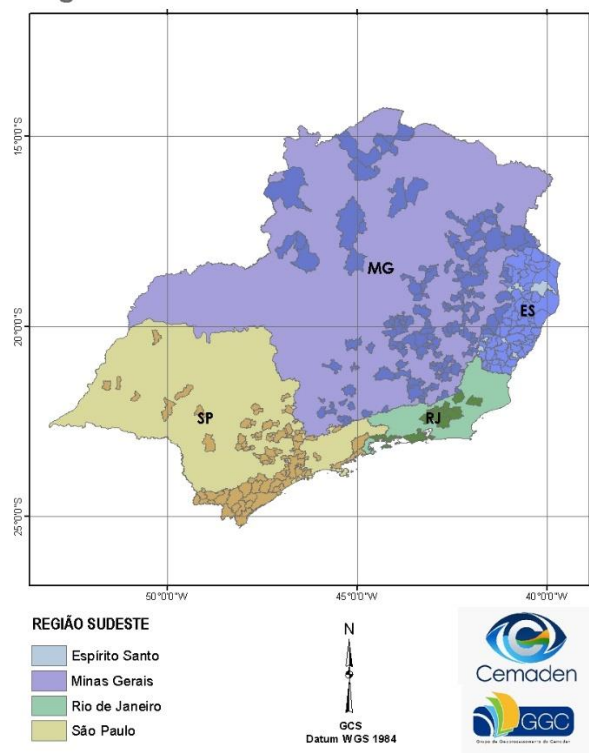


Fonte: Marchezini *et al.*, 2020

No Brasil, o Cemaden é a instituição responsável pela criação e operação do sistema de monitoramento e alertas. O monitoramento ocorre em regime permanente, 24 horas por dia, com foco em municípios prioritários sujeitos a eventos hidrológicos e geológicos, conforme apresentado na Figura 10.

Figura 10 - Municípios monitorados pelo CEMADEN

Municípios monitorados Região Sudeste



Fonte: CEMADEN (2025).

O processo central na operação do sistema é o estabelecimento dos cenários de risco que se inicia pela estimativa da probabilidade de ocorrência (P) do evento geo-hidrológico em análise. No caso de inundações, essa probabilidade é inferida considerando cenários representativos de eventos de pequeno, médio e grande porte, definidos a partir de condições críticas associadas a cada tipologia. Para essa estimativa, os operadores da Sala de Situação do Cemaden utilizam diferentes fontes de informação, incluindo dados observados de precipitação registrados pela rede de pluviômetros do Cemaden, com atualização a cada 10 minutos, e por instituições parceiras, com atualização horária; dados indiretos de precipitação derivados de produtos como estimativas de radar meteorológico, Hidroestimador e MERGE (CPTEC/INPE); além de previsões meteorológicas em horizontes de minutos, horas ou dias, obtidas por meio da extrapolação da evolução de imagens de radar, previsões numéricas e técnicas de nowcasting, câmeras em tempo real, detecção de descargas elétricas e análise especializada do meteorologista. Em seguida, procede-se à estimativa do impacto potencial, entendido como as possíveis perdas humanas e prejuízos econômicos decorrentes da concretização da ameaça considerada, cuja severidade e magnitude já foram previamente definidas. Por fim, a

probabilidade e o impacto são correlacionados por meio de uma matriz de risco, conforme apresentado na Figura 11, que resulta na classificação qualitativa em três níveis: Risco Moderado, Risco Alto e Risco Muito Alto (Moraes *et al.*, 2022).

Figura 11 - Matriz de Risco utilizada pelo Cemaden e os respectivos níveis de alertas

EXEMPLOS DE CATEGORIAS DE RISCO	Probabilidade	Impacto Potencial		
		Médio (Moderado)	Alto (Crítico)	Muito Alto (Extremo)
MUITO ALTO				
ALTO	Muito Alta (Quase certa)	Moderado	Alto	Muito Alto*
MODERADO	Alta (Provável)	Moderado*	Alto*	Alto
OBSERVAÇÃO	Moderada (Possível)	Observação	Moderado	Moderado

Fonte: Moraes et al., 2022.

Para o monitoramento contínuo das condições hidro-meteorológicas e a elaboração de análises de risco de desastres, o Cemaden recebe e integra informações provenientes de diversas instituições federais, como a CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), Agência Nacional de Águas (ANA), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e IBGE, além de órgãos estaduais e municipais. Com base nessas informações, são produzidos alertas referentes ao risco de desastres hidrológicos e geodinâmicos, os quais são encaminhados ao Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD), vinculado à Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC). O CENAD, por sua vez, redistribui esses alertas às defesas civis estaduais e municipais, que, em geral, realizam a comunicação com a população por meio de mensagens SMS, aplicativos e redes sociais. Em situações nas quais o município recebe o alerta e declara situação de emergência, podem ser acionados sistemas de alarme – como sirenes e outros mecanismos sonoros e visuais – com o objetivo de orientar a evacuação de moradores em áreas de risco e mobilizar demais secretarias municipais para apoio às ações de resposta (Marchezini *et al.*, 2020).

Figura 12 - Estratégia brasileira para sistema de monitoramento e alerta



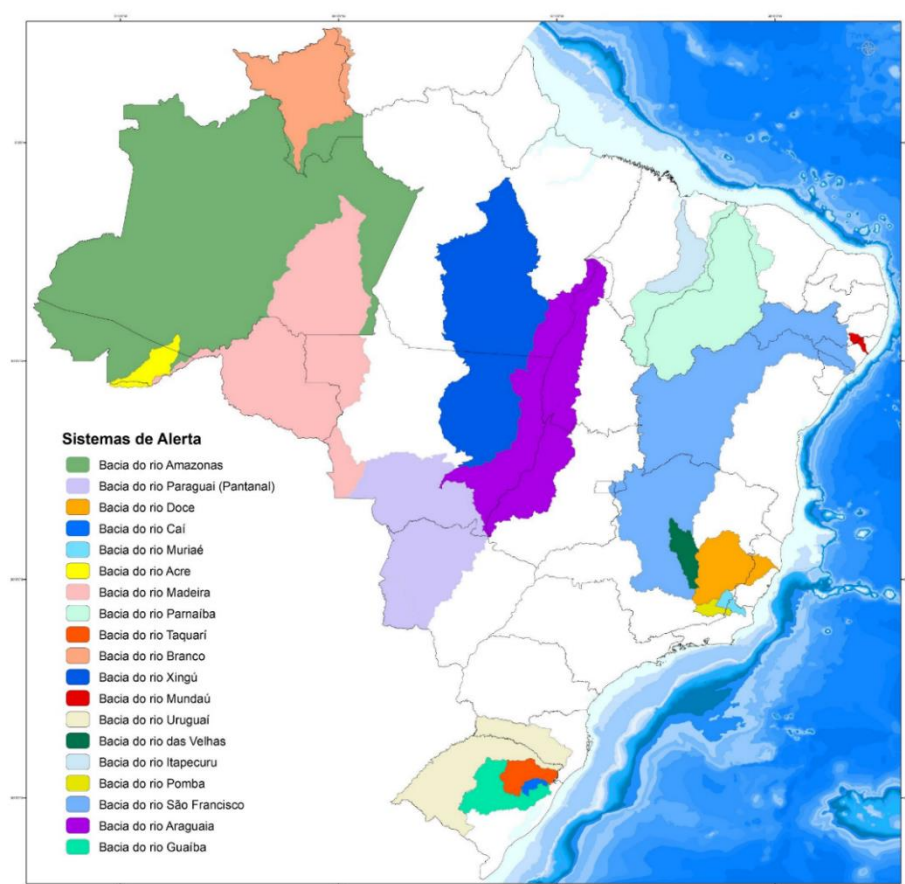
Fonte: Marchezini *et al.*, (2020)

O risco de inundações constitui a ameaça natural mais recorrente entre os desastres e a severidade das inundações é reconhecida como superior à de outros desastres de origem climatológica, em função de sua frequência, extensão dos danos e capacidade de provocar perdas humanas e materiais (Hammood *et al.*, 2021). Nesse sentido, diversos países têm adotado estratégias eficazes para reduzir os riscos associados a inundações, especialmente diante do aumento da frequência e severidade desses eventos. Nos Estados Unidos, combinam-se medidas estruturais e não estruturais, como a construção de reservatórios e diques, sistemas de previsão e mecanismos de seguro voltados à gestão de cenários de inundação. Na Itália, foram implantados sistemas de proteção civil com monitoramento em tempo real e alerta precoce para fluxos de detritos em torrentes. No Japão, a gestão de desastres articula governos locais e nacionais para operar sistemas comunitários de alerta antecipado. Já na União Europeia, foi desenvolvido um guia para previsão em tempo real, integrando modelos numéricos de precipitação, modelos hidrológicos e ferramentas de previsão de inundações (Hammood *et al.*, 2021; Domínguez-Calle; Lozano-Báez, 2014).

No contexto brasileiro, observam-se diversos exemplos de sistemas de alerta hidrológico implementados com finalidades distintas. Os Sistemas de Alerta Hidrológico

(SAHs), por exemplo, constituem uma iniciativa desenvolvida pelo SGB, com o propósito de realizar o monitoramento e a previsão dos níveis dos rios, bem como de gerar e disseminar informações hidrológicas. Essas informações visam subsidiar a tomada de decisões por parte da população e de instituições responsáveis pela mitigação dos impactos decorrentes de eventos hidrológicos extremos. Atualmente, o SGB é responsável pela operação de 19 SAHs, distribuídos em diferentes bacias hidrográficas do território nacional, especialmente nas regiões mais suscetíveis à ocorrência de inundações, conforme ilustrado na Figura 13 (Oliveira; Matos, 2023; SGB, s.d.).

Figura 13- Bacias contempladas pelos Sistemas de Alerta Hidrológico do Serviço Geológico do Brasil

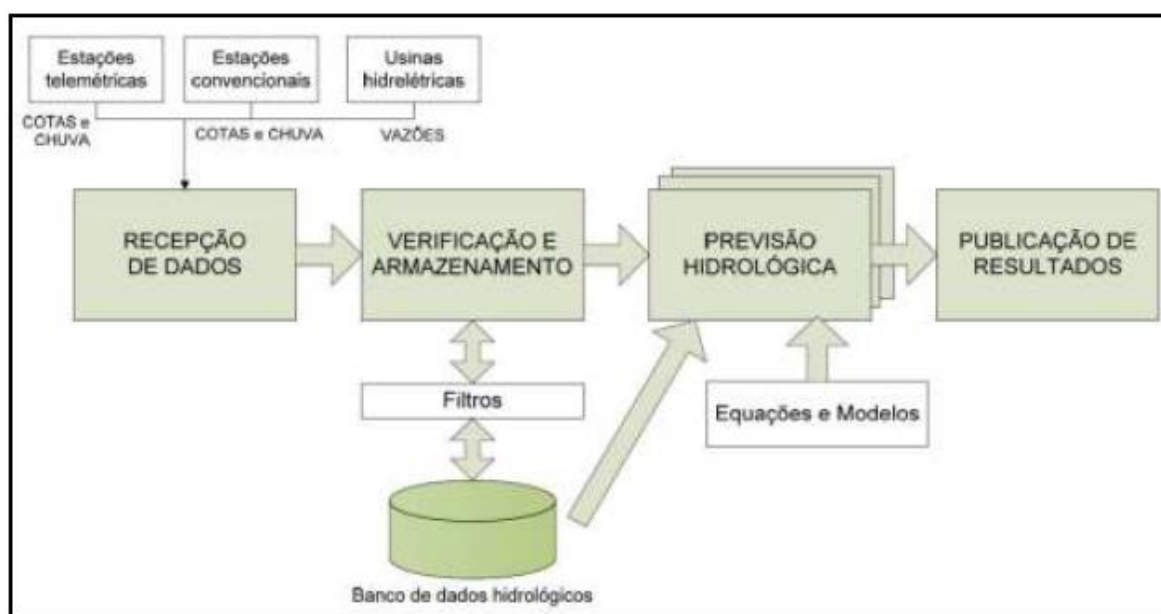


Fonte: (SBG/CPRM)

O SAHs opera com base em dados hidrometeorológicos coletados por estações automáticas da Rede Hidrometeorológica Nacional, gerenciada pela ANA e operada pela CPRM. Esses dados, transmitidos via satélite ou GSM, incluem níveis dos rios e índices de precipitação. As informações são analisadas e divulgadas diariamente por meio de Boletins

Técnicos enviados a órgãos públicos, contendo os níveis observados, cotas de alerta e de inundação. As previsões são geradas por modelos hidrológicos e hidráulicos, permitindo alertas com até 12 horas de antecedência, embora eventos de chuvas intensas e localizadas possam limitar a precisão. O sistema segue etapas de coleta, processamento e divulgação, utilizando a plataforma SACE para análise e acesso público aos dados, conforme apresentado na Figura 14. O site disponibiliza também informações complementares sobre o sistema, estudos técnicos e recomendações operacionais (Coelho Filho *et al.*, 2021).

Figura 14 - Fluxograma das etapas de operação do Sistema de Alerta Hidrológico (SAHs).



Fonte: (Coelho Filho *et al.*, 2021)

Há sistemas que, embora não gerencie diretamente sistemas de alerta hidrológico voltados à população, são utilizados para o planejamento e operação do setor elétrico. O ONS realiza, de forma periódica, a elaboração e o uso de previsões de vazões naturais para os pontos de aproveitamento hidrelétrico integrantes do Sistema Interligado Nacional (SIN), abrangendo seus quatro subsistemas: Sudeste/Centro-Oeste, Sul, Nordeste e Norte. Essas projeções têm como finalidade apoiar a tomada de decisões relacionadas ao planejamento e à programação da operação do sistema elétrico, no contexto do Programa Mensal de Operação (PMO) e de suas revisões semanais, além de viabilizar o despacho centralizado das usinas de maneira eficiente e coordenada (Maciel *et al.*, 2021).

A operação de reservatórios hidrelétricos depende de previsões de vazão em diferentes horizontes temporais. No curto prazo, estimativas precisas de afluência são essenciais para

otimizar o uso da água armazenada, evitar vertimentos turbináveis e planejar manutenções programadas. Na programação diária, com horizonte de até sete dias, utiliza-se modelos chuva-vazão baseados em previsões meteorológicas e condições hidrológicas recentes, exigindo alta precisão devido ao impacto direto na segurança operacional das usinas. Já nos modelos de planejamento de curto e longo prazo, com projeções de até cinco anos, as previsões de vazão são utilizadas para fins energéticos, visando a otimização dos custos de operação do sistema. Diferentemente da programação diária, esses modelos trabalham com séries históricas ou sintéticas e têm menor exigência de precisão imediata, pois não afetam diretamente a operação física dos reservatórios (Pereira Filho *et al.*, 2020).

Por fim, o Hydroview é uma plataforma desenvolvida pelo Cemaden em parceria com o programa SERVIR-Amazônia, voltada à previsão de inundações em rios de bacias hidrográficas brasileiras. A ferramenta integra dados de sensoriamento remoto, modelos hidrológicos e meteorológicos para gerar previsões, em até 15 dias de antecedência, mais precisas e acessíveis. O Hydroview permite visualizações interativas e fornece suporte técnico para gestores públicos, pesquisadores e comunidades vulneráveis, contribuindo para a redução dos impactos de desastres naturais relacionados a eventos hidrológicos extremos (Cemaden, 2022).

3.4. Previsão de Vazão

A previsão de vazão é um método que torna possível realizar uma estimativa do escoamento com antecedência no tempo (Silva; Tucci; Collischonn, 2006), ou seja, gera um cálculo aproximado do volume de água que irá passar em um ponto da bacia hidrográfica no futuro. Tal prática faz parte dos sistemas de alerta porque permite antecipar possíveis cenários críticos e iniciar ações preventivas antes que o evento aconteça. Além disso, as previsões hidrológicas são importantes para diminuir os impactos, pois ajudam a acionar ações de mitigação dos possíveis danos sociais, materiais e ambientais causados pelos eventos extremos. Também apoiam a tomada de decisão, aumentando a segurança de estruturas como barragens e contribuindo para diminuir os danos causados por cheias (Finck, 2020; Pereira Filho *et al.*, 2020).

Segundo Georgakakos e Krysztofowicz (2001), a previsão hidrológica pode ser elaborada em curto prazo — variando de poucas horas até aproximadamente 14 dias — ou em longo prazo, alcançando antecedências de até nove meses. A definição do horizonte de previsão a ser adotado está diretamente relacionada ao objetivo da aplicação. As previsões de curto prazo são empregadas principalmente no controle de inundações, na gestão da disponibilidade hídrica

para irrigação, no abastecimento de água e na operação de sistemas energéticos, entre outros usos. Por sua vez, as previsões de longo prazo são amplamente utilizadas em estudos voltados à gestão eficiente dos recursos hídricos, como aqueles relacionados à alocação de água em bacias com múltiplos e potenciais usos conflitantes (Silva; Tucci; Collischonn, 2006; Souza Filho; Lall, 2004; Welerson, 2020).

A previsão hidrológica de curto prazo pode ser contínua, quando ocorre de forma permanente, ou eventual, quando é realizada apenas em períodos críticos, como enchentes ou estiagens. Alertas de inundação, por exemplo, são emitidos quando os níveis do rio se aproximam dos valores críticos, enquanto previsões para navegação são feitas na estiagem, devido ao risco de calado insuficiente. A previsão eventual pode focar tanto em cheias quanto em secas, conforme o objetivo (Silva; Tucci; Collischonn, 2006; Tucci e Collischonn, 2003).

A antecedência da previsão de curto prazo depende do tipo da bacia e do tempo que a água leva para escoar dentro dela. Em bacias pequenas ou com um tempo de concentração pequeno, — e nas quais geralmente se aplicam modelos chuva-vazão —, não é possível obter previsões com grande antecedência, visto que o intervalo entre a ocorrência da chuva e a resposta no curso d'água é bastante curto. Por outro lado, em bacias com um tempo de concentração maior, é possível prever com maior antecedência, usando dados de estações que ficam a montante. Esse procedimento é eficaz porque a água leva tempo para chegar até o ponto onde se quer prever. Segundo Tucci e Collischonn (2003) ao se utilizar um posto a montante há a vantagem de ter erros de previsão menores do que aqueles de um modelo chuva-vazão (Silva; Tucci; Collischonn, 2006).

Segundo Tucci (2005) a previsão de vazão pode ser realizada por diferentes alternativas, definidas a partir da análise dos objetivos da previsão, da disponibilidade de dados na bacia, dos recursos disponíveis para investimento na coleta dessas informações e do tempo de antecedência necessário para minimizar os impactos. As diferentes alternativas de previsão de vazão distinguem-se principalmente pelo tipo de informação utilizada como dado de entrada e pela antecedência que podem fornecer, sendo elas:

- (a) **Previsão meteorológica da precipitação, integrada a um modelo precipitação vazão, para estimar a vazão ou o nível:** As previsões de precipitação permitem estimar a resposta hidrológica da bacia antes mesmo da ocorrência da chuva e, conseqüentemente, alcançar maior horizonte de previsão, embora apresente maiores incertezas em razão dos erros associados tanto à previsão da precipitação quanto ao processo de transformação da mesma em vazão. Segundo Silva (2005) alguns

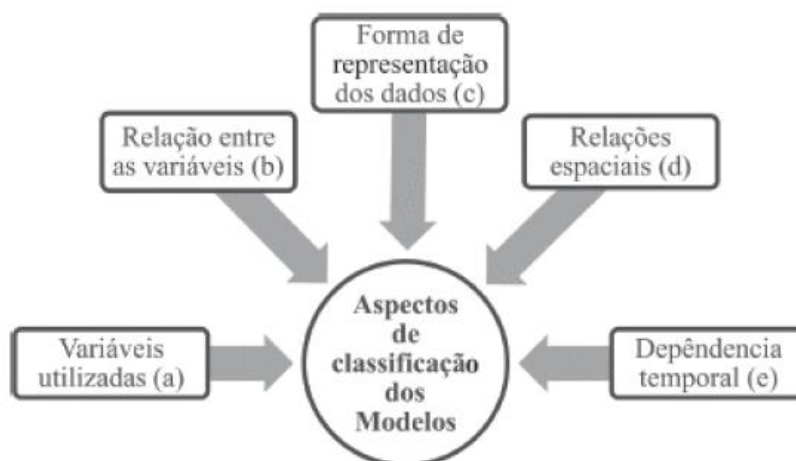
exemplos são aplicados no rio São Francisco entre as Usinas de Três Marias e Sobradinho (ONS, 2001a) e no sistema de alerta contra cheias do rio Doce (CPRM, 2004);

- (b) **Estimativa da precipitação com base em radar e rede telemétrica de pluviógrafos integrada a um modelo precipitação-vazão:** é utilizado a precipitação observada em tempo real, obtida por radar meteorológico e redes telemétricas de pluviômetros. Nesses casos, a previsão de vazão baseia-se no tempo de resposta da bacia hidrográfica, uma vez que a água precipitada continua se propagando até a seção de interesse mesmo após o término da chuva, possibilitando previsões de curto prazo com menor incerteza, porém com menor antecedência.
- (c) **Estimativa da precipitação com base em rede telemétrica e transformação em vazão através de modelo hidrológico:** é uma alternativa semelhante a anterior, porém utiliza apenas pluviômetros. Como a chuva é medida apenas em pontos específicos, a representação espacial é menos precisa que a obtida com radar. Mas em bacias com uma rede telemétrica bem distribuída pode permitir bons resultados.
- (d) **Previsão da vazão com base em níveis ou vazões do rio a montante e dos seus afluentes:** fundamenta-se no monitoramento dos níveis ou das vazões observadas em estações localizadas a montante e em seus afluentes, explorando o tempo de propagação da onda de cheia ao longo do rio. Só é uma alternativa possível, quando existe antecedência e a contribuição lateral é pequena.
- (e) **Previsão da vazão com base em níveis ou vazões a montante** e com uma das alternativas a, b ou c para a bacia de contribuição lateral: Essa alternativa contempla a defasagem do deslocamento de montante e a rapidez da contribuição lateral mais próxima à seção principal da bacia.

3.4.1. Modelos Hidrológicos

A previsão hidrológica pode ser realizada por meio de modelos hidrológicos, cujo objetivo é representar o comportamento de uma bacia hidrográfica ao longo de um determinado período, utilizando equações e procedimentos constituídos por variáveis e parâmetros (Collischonn *et al.*, 2014). A escolha do modelo adequado considera diversos aspectos que, segundo Moreira (2005), permitem classificá-los de acordo com o tipo de variável empregada na modelagem, com a natureza das relações estabelecidas entre essas variáveis, entre outros critérios, conforme ilustrado na Figura 15. A Figura 16, por sua vez, ilustra a conceituação das classificações dos modelos hidrológicos.

Figura 15 - Aspectos de classificação de modelos hidrológicos



Fonte: Marinho Filho *(et al. 2012)*

Figura 16 - Conceituação da classificação dos modelos hidrológicos

Estocástico	Determinístico
Pelo menos uma das variáveis envolvidas tem comportamento aleatório.	Não trabalha com incertezas. Ele parte do princípio de que, dadas certas condições, o resultado será sempre o mesmo.
Conceituais	Empíricos
Baseiam-se na representação dos processos físicos que envolvem o fenômeno estudado.	Não apresentam nenhuma relação com os processos físicos envolvidos.
Concentrados	Distribuídos
Todas as variáveis do sistema são avaliadas em termos da média espacial, não consideram a variabilidade espacial.	Consideram a variabilidade espacial das variáveis hidrológicas.
Estacionários	Dinâmicos
Os parâmetros não variam com o tempo.	Os parâmetros podem variar no tempo.
Discreto	Contínuo
Objetiva a modelagem de períodos isolados da série (ex.: cheia).	Representam longos períodos da série, muitas vezes, contemplando épocas de comportamentos hidrológicos diferentes.

Fonte: Marinho Filho *(et al. 2012)*

Além disso os modelos podem ser classificados quanto ao sistema simulado em: (i) modelos de propagação que simulam somente os rios e utilizam apenas níveis e vazões dentro do rio principal ou afluentes; (ii) modelos precipitação-vazão que simulam a partir da

precipitação; (iii) modelos precipitação-vazão com propagação em rios, que simulam o rio e as subbacias (Tucci, 2005).

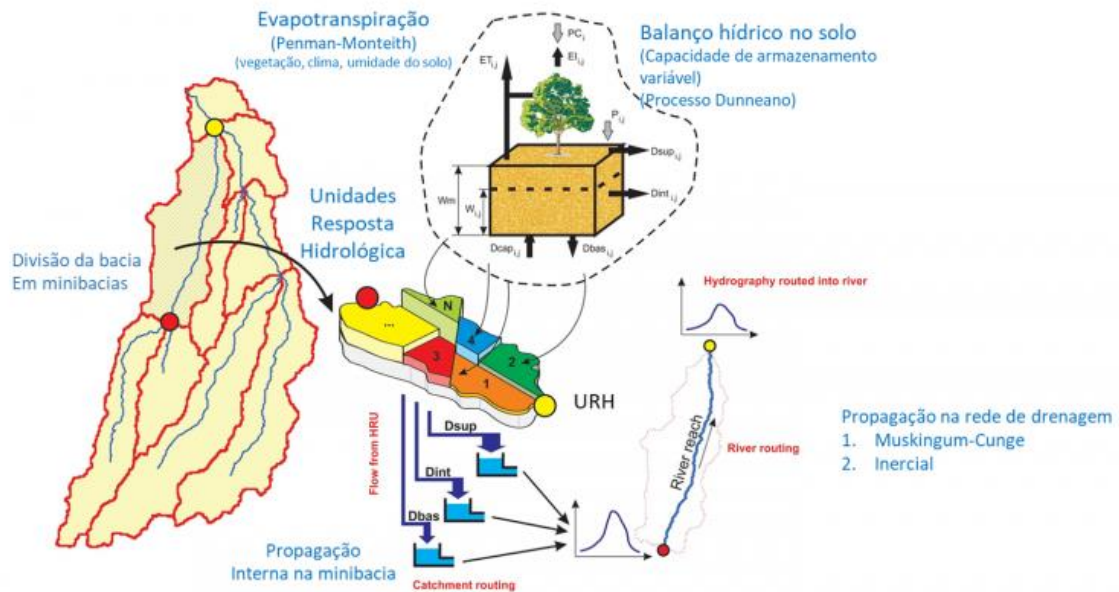
3.4.2. Modelo de Grandes Bacias (MGB-IPH)

Entre os modelos hidrológicos amplamente utilizados em bacias brasileiras, destaca-se o modelo distribuído de caráter semi-conceitual desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), conhecido como Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB-IPH). O modelo foi desenvolvido por Collischonn *et al.* (2007) para ser capaz de simular os processos hidrológicos em bacias de grande escala (dimensões acima de alguns milhares de km²), com foco nas bacias da América do Sul. Esse modelo faz uma discretização da bacia de interesse em pequenas unidades, as mini-bacias. Assim, para cada mini-bacia é preciso identificar o uso e o tipo de solo e o tipo de vegetação para fazer uma interação entre eles e gerar a Unidade de Resposta Hidrológica (URH), onde é realizado o balanço hídrico (Araujo, 2017).

Para fazer uma simulação do ciclo hidrológico da bacia, com intervalo de tempo diário ou horário dos processos hidrológicos na superfície terrestre, o modelo utiliza-se de equações físicas e conceituais. Assim sendo, o modelo possui três módulos principais, balanço de água e energia no solo, escoamento interno na mini-bacia e escoamento na rede de drenagem. No primeiro módulo são realizados cálculos referentes aos fluxos de água verticais (água da atmosfera para o solo, água do solo para o aquífero, água do solo e da vegetação para a atmosfera). Já o módulo de escoamento interno representa os fluxos de água pelas vias superficial, subsuperficial e subterrânea. Por fim, o escoamento da rede de drenagem consiste no fluxo de água que ocorre ao longo dos principais rios (Collischonn *et al.* 2020).

Este modelo emprega dois tipos de parâmetros relacionados ao tipo de uso do solo: fixos e calibráveis. Os parâmetros fixos podem ser medidos ou estimados com base no tipo de vegetação e são considerados fixos devido à sua influência limitada nas variações do modelo. Por outro lado, os parâmetros calibráveis são ajustados durante a calibração, ou seja, são modificados a cada aplicação do modelo até que ocorra uma boa correspondência entre os dados observados e calculados (Collischonn, 2001; Siqueira, 2017). A Figura 17 apresenta um esquema geral do modelo.

Figura 17 - Representação esquemática do ciclo hidrológico simulado pelo Modelo de Grandes Bacias – MGB



Fonte: (Hidrologia de Grande escala, 2020)

3.5. Previsão de Precipitação

A previsão de tempo e clima constitui uma ferramenta que possibilita estimar o estado futuro da atmosfera por meio de equações físicas, métodos matemáticos e técnicas computacionais, considerando diferentes horizontes de antecedência. Desde quando a previsão numérica de tempo foi proposta pela primeira vez, essa área da meteorologia tem apresentado avanços significativos, impulsionados tanto pelo aprimoramento contínuo das técnicas numéricas quanto, sobretudo, pela evolução dos computadores, permitindo o uso de modelos complexos e, conseqüentemente, uma melhor representação da atmosfera (Ynoue *et al.* 2017, Silva; Tucci; Collischonn, 2006).

Na meteorologia existe uma importante distinção entre tempo e clima. Conforme Ynoue *et al.* (2017), o tempo corresponde ao estado momentâneo da atmosfera — como uma manhã ensolarada ou uma tarde chuvosa —, enquanto o clima se refere ao estado médio da atmosfera, calculado a partir da média de diversos eventos de tempo ao longo de um período prolongado. Nesse contexto, a previsão de tempo, geralmente realizada com três a seis dias de antecedência, consiste em um prognóstico sobre condições específicas, como a ocorrência ou não de chuva. Por sua vez, a previsão de clima fornece informações, por exemplo, sobre se determinada estação tenderá a ser mais quente ou mais fria em relação à média climatológica.

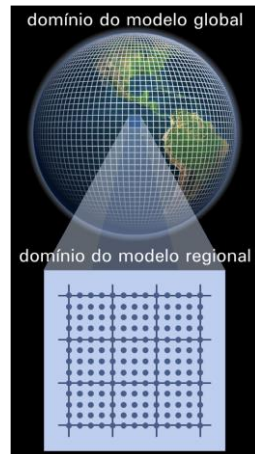
Apesar dos avanços, a precipitação continua sendo uma dos variáveis mais difíceis de prever, uma vez que ela sofre forte influência da variabilidade temporal e espacial. Sendo assim, Golding (2000) afirma que as previsões realizadas entre 6 horas a 2 dias são as que possuem maior nível de precisão e, portanto, maior utilidade. Já previsões com antecedências menores do que 6 horas tendem a conter baixa confiabilidade, por possuírem elevada dependência das condições iniciais e a evolução da precipitação ser extremamente rápida, função dos processos convectivos (Silva, 2005).

Os modelos de previsão de tempo e clima podem ser globais ou regionais, Figura 18. Os modelos globais (ou de circulação geral) representam toda a atmosfera terrestre e utilizam grades com resolução horizontal de aproximadamente 200 km e cerca de 28 níveis verticais, sendo alimentados com condições iniciais do globo inteiro. Eles são eficazes para descrever padrões de circulação em grande escala, mas não conseguem representar fenômenos locais, como brisas de vale e de montanha, visto que possui uma resolução espacial baixa (Ynoue *et al.* 2017, Silva; Tucci; Collischonn, 2006). Assim, a fim de se estudar uma região específica com maior detalhamento, deve-se recorrer ao uso de modelos climáticos regionais (Marengo *et al.*, 2014; Welerson, 2020).

Entre o final dos anos 1960 e 2000, os modelos atmosféricos evoluíram principalmente graças ao avanço do conhecimento sobre os elementos climáticos e a dinâmica da atmosfera, o que melhorou sua capacidade de simulação, sendo desenvolvidos os chamados modelos numéricos regionais (Sampaio; Dias, 2014). Os modelos regionais (“downscaling”) são utilizados para simular as condições atmosféricas em porções menores do planeta, operando com resolução espacial mais alta que os modelos globais, em torno de 20 a 40 km, o que permite uma representação mais detalhada da superfície e dos fenômenos meteorológicos locais.

Por abrangerem apenas uma parte limitada do globo, os modelos regionais precisam, além das condições iniciais, de informações adicionais que descrevam como a atmosfera se comporta ao redor da área simulada. Essas informações são chamadas de condições de fronteira lateral que são fornecidas pelos modelos globais, cujas saídas descrevem o estado da atmosfera nas bordas externas da região estudada. Esse processo, consiste em usar o modelo global como um guia que impõe limites e fornece a evolução das variáveis atmosféricas, enquanto o modelo regional, com sua resolução mais alta, detalha os processos internos à área de interesse (Ynoue *et al.* 2017, Silva; Tucci; Collischonn, 2006).

Figura 18 - Representação esquemática do domínio de um modelo global e de um modelo regional.



Fonte: Ynoue *et al.* (2017)

Além da distinção entre modelos globais e regionais, um avanço fundamental na previsão numérica do tempo e do clima é a técnica de previsão por conjunto (“ensemble”). Estudos mostravam que erros pequenos nas condições iniciais podem levar a grandes erros na previsão futura, mesmo que os modelos sejam perfeitos Lorenz (1973). Nesse contexto, na previsão por conjunto, em vez de produzir uma única previsão determinística, são geradas diferentes simulações a partir de condições iniciais levemente perturbadas. O conjunto resultante permite estimar uma distribuição de probabilidade para o estado futuro da atmosfera, sendo que a média dos membros tende a representar melhor o comportamento observado do que uma previsão isolada. Além dos ensembles baseados em um único modelo, alguns centros de previsão adotam conjuntos multimodelo, combinando simulações de diferentes modelos globais para ampliar a representação das incertezas e melhorar o desempenho das previsões (Silva; Tucci; Collischonn, 2006).

Quanto a classificação da antecedência de tempo, assim como na previsão de vazão, a previsão de precipitação pode ser classificada. De forma resumida são realizadas previsões de curto prazo (0 a 14 dias) e de longo prazo (até 9 meses) (Collier e Krzysztofowicz, 2000 e Golding, 2000).

Segundo Sampaio e Dias (2014) o Brasil começou a utilizar modelos rotineiramente para realizar previsões numéricas de tempo a partir do final de 1994 com a implantação do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). O primeiro modelo utilizado pelo Brasil foi o Modelo de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA) do “Center for Ocean-Land Atmosphere Studies (COLA) – EUA que

posteriormente foi renomeado como MCGA CPTEC/INPE. Em 2016, o MCGA do CPTEC/INPE foi substituído pelo BAM (Brazilian Global Atmospheric Model), que funciona até hoje, com uma resolução horizontal de 20 X 20 Km e 96 camadas verticais, cobrindo o globo inteiro e produzindo previsões para até 264 horas (11 dias). Outros modelos atmosféricos regionais utilizados são o ETA, primeiro regional a tornar-se operacional no CPTEC, o Weather Research and Forecasting (WRF) com uma resolução horizontal de 5 km e o sistema de Modelagem Atmosférica Regional Brasileiro (BRAMS) (Marques; Dereczynski, 2021).

O modelo regional ETA (Estimated Time of Arrival) foi originalmente desenvolvido pela Universidade de Belgrado. Desde então, vem sendo continuamente aprimorado pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), vinculado ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), com o objetivo de adaptar e otimizar sua aplicação às condições meteorológicas específicas do território brasileiro (Chou *et al.*, 2014; Bandeli; Heuminski, 2024).

Diversos estudos utilizaram previsões de precipitação provenientes do modelo ETA para a geração de previsões de vazão por meio de modelos precipitação-vazão. De modo geral, esses estudos obtiveram resultados satisfatórios, embora tenham sido identificadas algumas limitações (Anderson *et al.*, 2002; Bozzini 2019; Cataldi *et al.*, 2007; Collischonn *et al* 2007; Negrão *et al.*, 2017; Silva, 2005).

Collischonn *et al.* (2007) avaliaram o uso das previsões de precipitação do modelo ETA como dado de entrada para o modelo hidrológico de grande escala MGB-IPH, com o objetivo de prever as vazões afluentes a reservatórios hidrelétricos em parte da bacia do rio Paraná. Os resultados obtidos foram comparados aos do modelo estatístico ARMA. Os autores destacaram como uma das principais vantagens do modelo ETA a utilização de coordenadas verticais que representam melhor a topografia, especialmente em regiões montanhosas, reduzindo os erros associados aos cálculos nessas áreas. Como principal conclusão, verificaram que o acoplamento do modelo hidrológico às previsões de precipitação do ETA apresentou desempenho significativamente superior ao do modelo estatístico ARMA. Além disso, o uso das chuvas previstas pelo ETA proporcionou redução dos erros nas previsões de vazão tanto durante os períodos secos quanto nos chuvosos.

Silva (2005) utilizou as previsões de precipitação do modelo ETA como dados de entrada para o modelo hidrológico MGB-IPH, com o objetivo de gerar previsões de vazão de curto e longo prazo para a bacia do rio São Francisco. Os resultados indicaram que o modelo ETA conseguiu representar as vazões nas previsões de curto prazo. Entretanto, para as previsões

de longo prazo, foram observadas grandes variabilidades, com erros excessivos de sub e superestimativa. Dessa forma, o autor concluiu que, à época do estudo, as previsões de longo prazo ainda não apresentavam precisão suficiente para substituir os métodos estatísticos e estocásticos tradicionalmente utilizados.

Um importante viés nas previsões do modelo ETA foi relatado por Cataldi *et al.* (2007) e Collischonn *et al.* (2007). Segundo esses autores, o modelo tende a superestimar eventos de precipitação de baixa intensidade e a subestimar eventos de chuva intensa, geralmente superiores a 10 mm. Além disso, foi identificada uma tendência de subestimativa das precipitações na região central da América do Sul. Bozzini (2019) complementa que a correlação entre as previsões do modelo e os dados observados é mais elevada nos primeiros dias de antecedência, diminuindo progressivamente nos dias subsequentes. Apesar dessas limitações, o autor destaca que as previsões do modelo ETA apresentam potencial para subsidiar a tomada de decisão em aplicações hidrológicas e de gestão de recursos hídricos.

Coelho (2020) analisou a previsibilidade de eventos extremos que alteram a disponibilidade hídrica da bacia do São Francisco, a partir da integração do modelo atmosférico Eta e do modelo hidrológico MGB. Os resultados demonstraram que essa abordagem apresentou bom desempenho na previsão hidrológica sazonal da bacia, com melhores resultados nas sub-bacias do Alto e do Baixo São Francisco. A autora destaca que os desenvolvimentos e atualizações ocorridos nas previsões de precipitação do modelo ETA ao longo dos anos ajudaram a melhorar a correlação entre as vazões previstas e observadas em relação a estudos mais antigos, embora o aprimoramento para a detecção de eventos com alta variabilidade ainda seja necessário. Para algumas regiões, do estudo ainda há uma necessidade de correções das precipitações previstas.

Machado *et al.* (2022) analisaram as previsões de vazão por conjunto no horizonte subsazonal para a bacia do rio Paracatu, localizada no bioma Cerrado, região central do Brasil, por meio da integração do modelo atmosférico Eta e do modelo hidrológico MGB, com horizonte de 60 dias. Os resultados foram bastante satisfatórios para o início do período chuvoso (avaliado nos meses de janeiro, fevereiro e abril). Em contrapartida, para os meses de transição ou início da estiagem (maio, setembro e outubro), os modelos não geraram bons resultados e apresentaram uma forte tendência de superestimar as vazões. Além disso, ao justificar os motivos que levaram a falhas e limitações na simulação final das vazões pelo MGB, os autores mencionam diretamente que os resultados foram comprometidos pela qualidade dos dados de chuva originados nas previsões do modelo atmosférico Eta.

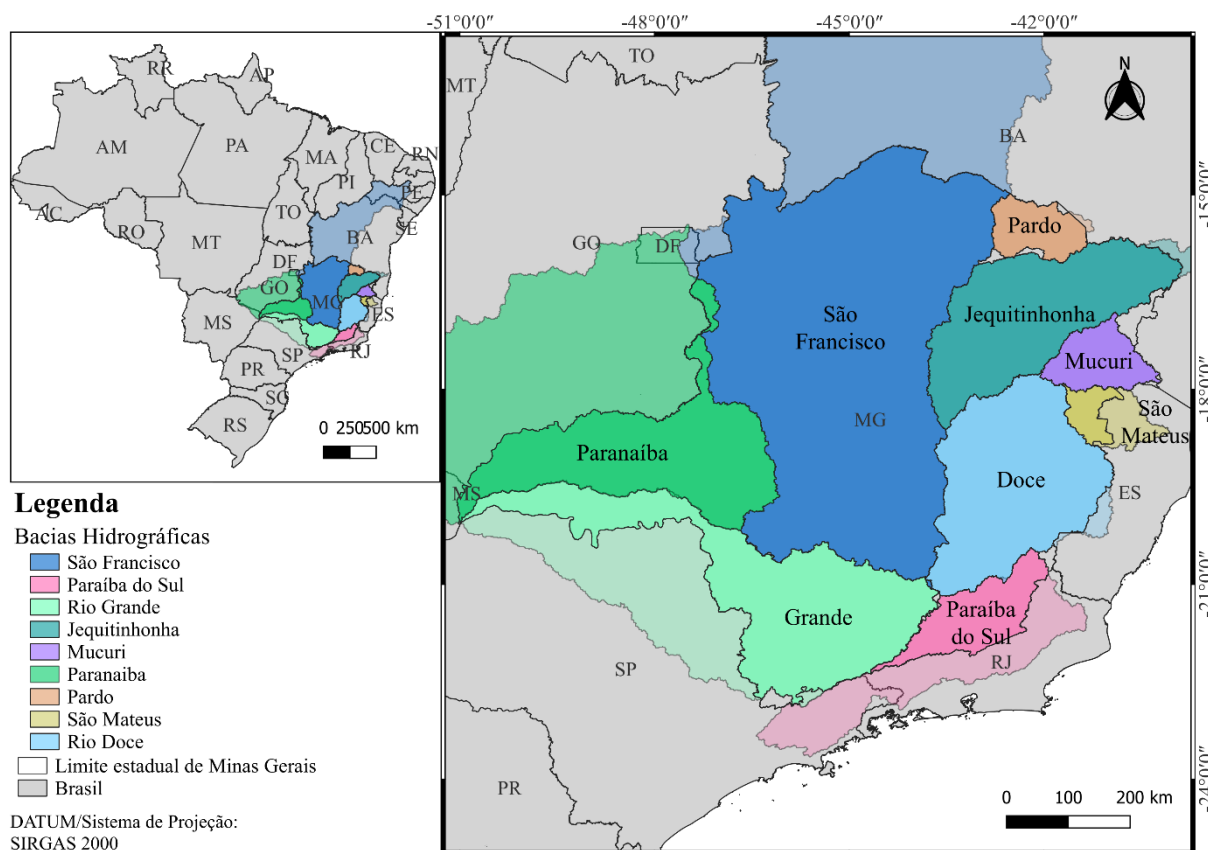
4. METODOLOGIA

O desenvolvimento deste trabalho foi estruturado em três etapas principais. A primeira consistiu na caracterização da área de estudo, com a coleta e análise de informações físicas, climáticas e hidrológicas relevantes. A segunda etapa envolveu o refinamento do modelo hidrológico, com ajustes específicos às bacias selecionadas, visando à melhoria da representação dos processos hidrológicos. Por fim, a terceira etapa abrangeu a obtenção de previsões provenientes do modelo atmosférico e a subsequente geração das previsões de vazão. Nos itens a seguir, será descrito de forma detalhada cada uma das etapas do estudo.

4.1. Localização e caracterização da área de Estudo

Para desenvolvimento do trabalho, o Estado foi segmentado em suas nove principais bacias hidrográficas, conforme representado na Figura 19. A escolha dessas bacias foi motivada considerando a aplicação do Modelo de Grandes Bacias (MGB), que possui um desempenho melhor com as bacias com área superior a 1.000 km². Dessa forma, foram escolhidas apenas as bacias cuja área excede 1.000 km² dentro dos limites do estado, ou seja, aquelas que possuem extensão significativa em território mineiro. Vale destacar que algumas dessas bacias se estendem para além dos limites de Minas Gerais — como é o caso da bacia do rio São Francisco, que também abrange os estados da Bahia, Pernambuco, Alagoas e Sergipe. No entanto, para fins deste estudo, foi considerada apenas a porção da bacia localizada dentro do território mineiro.

Figura 19 – Mapa de localização com a definição das bacias hidrográficas do estudo.



Fonte: Elaborado pela autora

Após delimitado a área de estudo foi feita uma caracterização da área com dados secundários extraídos de banco de dados oficiais. Essa caracterização é importante porque permite contextualizar o local onde o estudo será realizado e entender as condições específicas que podem influenciar os resultados. O tratamento dos dados foi realizado em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), utilizando-se o software QGIS, onde os dados secundários adquiridos eram recortados para a área de interesse e posteriormente manipulados para confecção dos mapas.

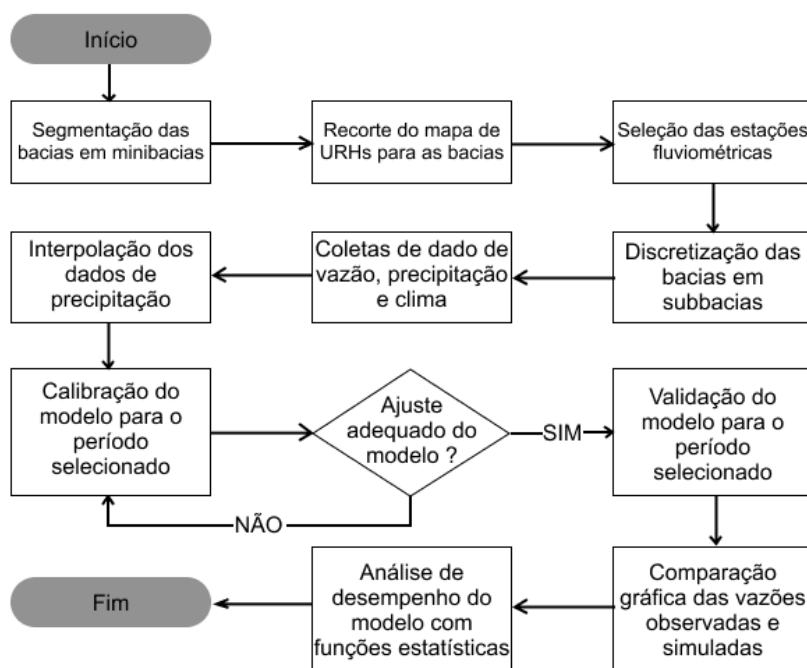
Para as informações do tipo de clima foi utilizado a classificação climática do Brasil segundo o sistema de Köppen, que possui resolução espacial de 1 hectare, permitindo observar variações climáticas em escala local e regional (Alvares, 2013). Para analisar as informações referente ao tipo de solo e uso de solo foi utilizado o modelo de Unidades de Resposta Hidrológica (URHs) que possui resolução de 400m. Um mapa de URHs é, geralmente, definido a partir da combinação de mapas de tipo e de uso do solo, podendo ainda incluir outras informações como geologia e topografia (Fan *et al.*, 2015). Adicionalmente, foram coletados dados sobre usinas hidrelétricas existentes a partir do banco de dados do Operador Nacional do

Sistema Elétrico (ONS), bem como informações sobre postos fluviométricos existentes, disponíveis na plataforma Hidroweb da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

4.2. Calibração e validação do modelo hidrológico

O processo de ajuste e calibração do modelo hidrológico MGB está ilustrado na Figura 20. A etapa inicial da modelagem, correspondente ao ajuste, foi conduzida em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), utilizando-se o software QGIS. Para tal, empregaram-se os plugins IPH Hydro Tools e MGB-IPH, desenvolvidos pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS).

Figura 20 - Processo metodológico de ajuste do modelo hidrológico.



Fonte: Elaborado pela autora

Para a representação espacial da bacia hidrográfica, foi utilizado um Modelo Digital de Elevação (MDE). A partir desse produto, procedeu-se à delimitação da bacia e de suas respectivas sub-bacias, considerando-se a localização dos postos fluviométricos para a definição dos exutórios de interesse. A caracterização do uso e do tipo de solo nas bacias foi realizada por meio da incorporação do modelo de URHs, que agrupa áreas com comportamento hidrológico semelhante, com base em atributos físicos e de uso do solo.

Na sequência, para a inserção das variáveis climatológicas e hidrológicas no modelo, foram utilizadas séries históricas de dados de vazão observada, obtidas por meio da plataforma Hidroweb da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), os postos fluviométricos selecionados estão apresentados no Apêndice 1. Além disso, foi obtido séries de precipitação provenientes do produto MERGE, disponibilizado pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE). Os parâmetros físicos do modelo foram inicialmente estimados e atribuídos conforme as características fisiográficas de cada sub-bacia e as propriedades específicas de cada URH mapeada. A Tabela 1 apresenta a descrição dos dados utilizados no processo de ajuste do modelo.

Tabela 1 – Principais informações dos dados utilizados no ajuste do modelo hidrológico

Dado	Fonte	Resolução
Modelo Digital de Elevação (MDE)	Embrapa	90 m
Mapa de Unidade de resposta hidrológica (URH)	IPH-UFRGS	400m
Precipitação do MERGE/CPTEC	INPE	10 km x 10 km
Série de Vazões de postos fluviométricos	HIDROWEB - ANA	-

Fonte: Elaborado pela autora

O modelo hidrológico foi calibrado com base em dados observados no período compreendido entre 01/01/2010 e 31/12/2020. Para a realização dessa etapa, empregaram-se algoritmos genéticos, por meio dos quais os parâmetros físicos iniciais do modelo, como capacidade de armazenamento de água no solo (W_m), relação entre o armazenamento e saturação (b), drenagem subterrânea (K_{bas}) e sub-superficial (K_{int}) e outros, foram sistematicamente ajustados até que se obtivesse um desempenho satisfatório.

O desempenho das calibrações foi verificado através das funções objetivos Nash-Sutcliffe (NS) e Nash-Sutcliffe do logaritmo das vazões e (NSlog) e do erro relativo de volume baseado na integração das vazões diárias (ΔV). A função Nash-Sutcliffe (NS) mostra a eficiência do modelo de realizar previsões mais acertadas nas cheias, ou seja, as vazões máximas (Guilhon; Rocha; Moreira, 2007). Seu índice é limitado a 1, e segundo Moriasi (2007), quando o valor de NS resultar maior que 0,75, o desempenho do modelo é considerado muito bom. Para valores de NS entre 0.65 e 0,75, o desempenho é considerado bom, enquanto valores de NS entre 0.50 e 0,65 o desempenho é satisfatório e valores inferiores a 0,50 fazem com que o modelo seja considerado inadequado. Já o Nash-Sutcliffe do logaritmo das vazões (NSlog) representa mais as vazões baixas, sendo menos sensível a cheias. Da mesma forma, seu índice

é limitado a 1 e quanto mais próximo a esse valor, melhores as previsões (Guilhon; Rocha; Moreira, 2007). As Equações 1, 2 e 3 apresentam as funções objetivos NS e NSlog e ΔV .

$$NS = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (Q_{OBS} - Q_{CAL})^2}{\sum_{t=1}^n (Q_{OBS} - \overline{Q_{OBS}})^2} \quad (1)$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (\log Q_{OBS} - Q_{CAL})^2}{\sum_{t=1}^n (Q_{OBS} - \overline{Q_{OBS}})^2} \quad (2)$$

$$\Delta V = \frac{\sum_{t=1}^n (Q_{CAL}) - \sum_{t=1}^n (Q_{OBS})}{\sum_{t=1}^n (Q_{OBS})} \quad (3)$$

onde: t indica o intervalo de tempo; n é o número de intervalos de tempo; Qcal é a vazão calculada no posto; Qobs é a vazão observada; $\overline{Q_{OBS}}$ é a média das vazões observadas; V é o volume; e ΔV é o erro relativo adimensional deste volume.

Como o objetivo do ajuste é a previsão de vazões de cheia, optou-se por dar preferência ao maior ao Coeficiente de Nash-Sutcliffe das vazões diárias (Equação 1), por proporcionar um melhor ajuste das vazões mais elevadas.

Após a calibração, o modelo foi submetido à etapa de validação para o período de 01/01/2021 a 31/12/2024. O desempenho foi avaliado por meio das mesmas métricas empregadas na etapa de calibração.

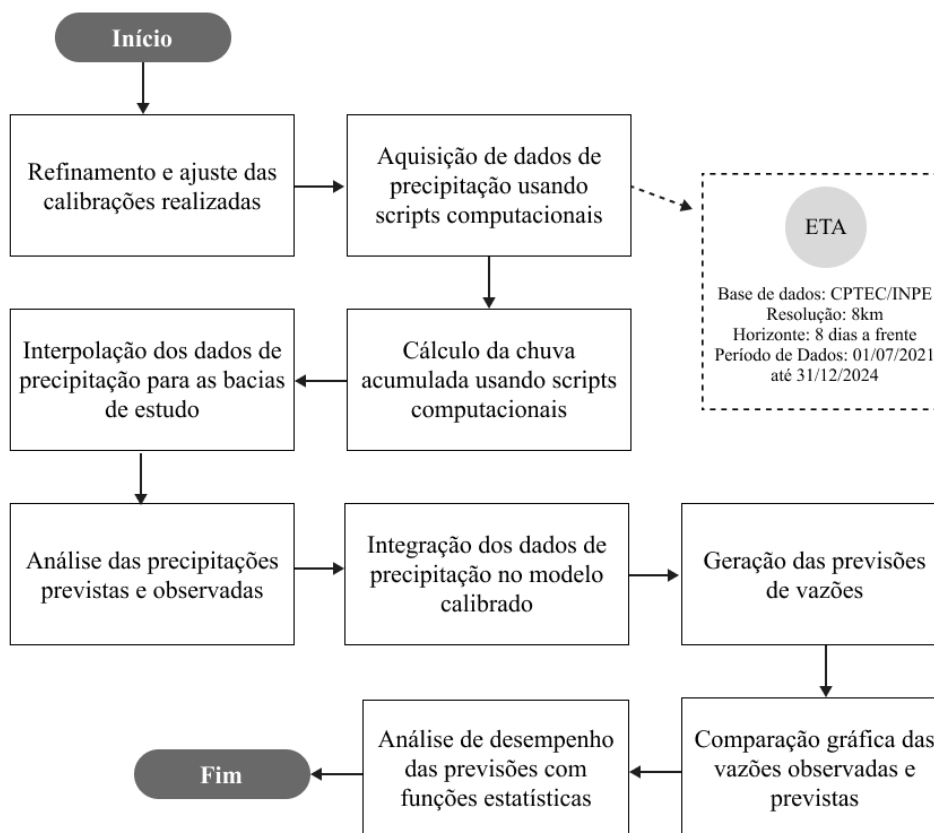
4.3. Previsões de vazão

Com o modelo hidrológico devidamente calibrado e validado para todas as bacias, torna-se possível a incorporação de previsões provenientes de modelos atmosféricos. Essa integração permite a simulação de cenários hidrológicos futuros com base em dados meteorológicos previstos. Embora existam diversas opções de modelos atmosféricos disponíveis atualmente, este estudo adotará o modelo regional ETA. A metodologia empregada seguirá as etapas descritas no hidrograma apresentado na Figura 21.

A versão do modelo ETA utilizada neste estudo, disponibilizada pelo CPTEC/INPE, apresenta resolução horizontal de 8 km e 40 km, fornecendo previsões com horizonte de até

168 horas (7 dias), com frequência diária às 00 UTC. Adicionalmente, os dados de precipitação são disponibilizados de forma acumulada em intervalos de uma hora.

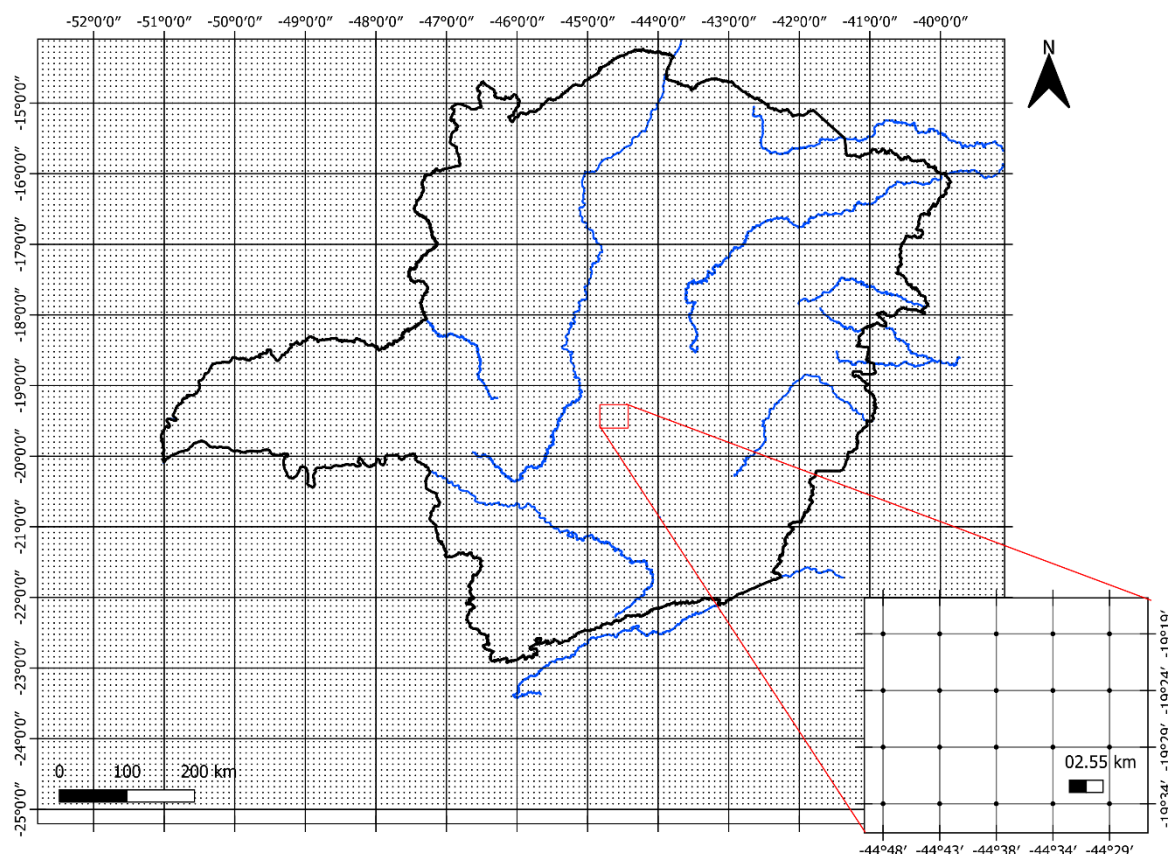
Figura 21 - Fluxograma das etapas realizadas na geração de previsão de vazão.



Fonte: Elaborado pela autora

A região abrangida pelas previsões é definida pelas seguintes coordenadas: latitude mínima 25° S; latitude máxima: 14° S; longitude mínima: 53° W; e longitude máxima: 39° W. Os dados do modelo ETA foram disponibilizados pelo CPTEC/INPE em uma grade de pontos distanciados de 5 minutos de arco de latitude e longitude (aproximadamente 8x8 km), mostrados na Figura 22.

Figura 22 - Pontos de grade do modelo ETA de resolução 8 km, sobre os limites do Estado de Minas Gerais.



Fonte: Elaborado pela autora

Os arquivos de previsão de precipitação do modelo ETA, referentes ao período de janeiro de 2021 a dezembro de 2024, foram obtidos por meio de scripts computacionais desenvolvidos para automatizar a aquisição dos dados. Para a comparação entre as precipitações previstas e observadas e para a geração das previsões hidrológicas, os dados do modelo ETA foram interpolados para os pontos de grade do modelo hidrológico, utilizando o método de ponderação pelo inverso do quadrado da distância.

As previsões hidrológicas serão geradas para o período de 2021 a 2024, considerando horizontes de previsão de 1 a 8 dias de antecedência. Assim, serão avaliados, individualmente, os desempenhos das previsões com 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 dias de antecedência. Para isso, serão realizadas análises visuais e estatísticas das vazões observadas e previstas, com o objetivo de avaliar o desempenho da integração entre o modelo atmosférico e o modelo hidrológico MGB-IPH.

As análises visuais compreenderão comparações gráficas entre os hidrogramas observados e previstos, bem como gráficos de dispersão entre as vazões observadas e estimadas. Para as análises estatísticas, serão considerados os seguintes índices de desempenho: Erro Médio Relativo – EMR (Equação 4) e Erro Médio Absoluto – EMA (Equação 5).

$$EMR = \frac{\sum_{i=1}^n |Q_{prev} - Q_{obs}|}{n} \quad (4)$$

$$EMA = \frac{\sum_{mes=1}^n \frac{|Q_{prev} - Q_{obs}|}{Q_{obs}}}{n} \quad (5)$$

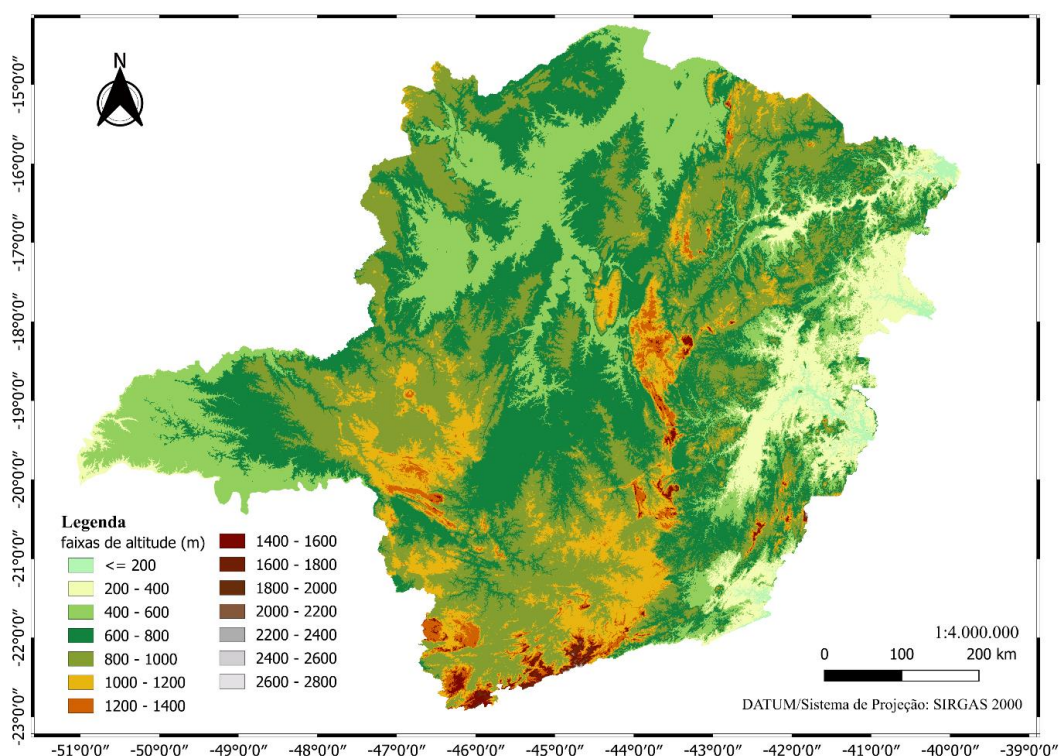
onde, n é o número de meses; Q_{prev} é a vazão prevista; Q_{obs} é a vazão observada e $Q_{obs}(t_0)$ é a última vazão observada antes da previsão.

O Erro Médio Relativo (EMR), expresso em porcentagem, quantifica a diferença média entre os valores previstos e observados, podendo assumir valores positivos ou negativos. Quanto mais próximo de zero for o seu valor, menor será o erro médio e, consequentemente, maior será a acurácia do modelo. O Erro Médio Absoluto (EMA), por sua vez, representa a magnitude média dos erros, independentemente do seu sinal, sendo expresso em m³/s. Assim como o EMR, valores mais próximos de zero indicam menor erro de previsão (Coelho, 2019; Cruz *et al.*, 2017; Wilks, 2006).

5. RESULTADOS

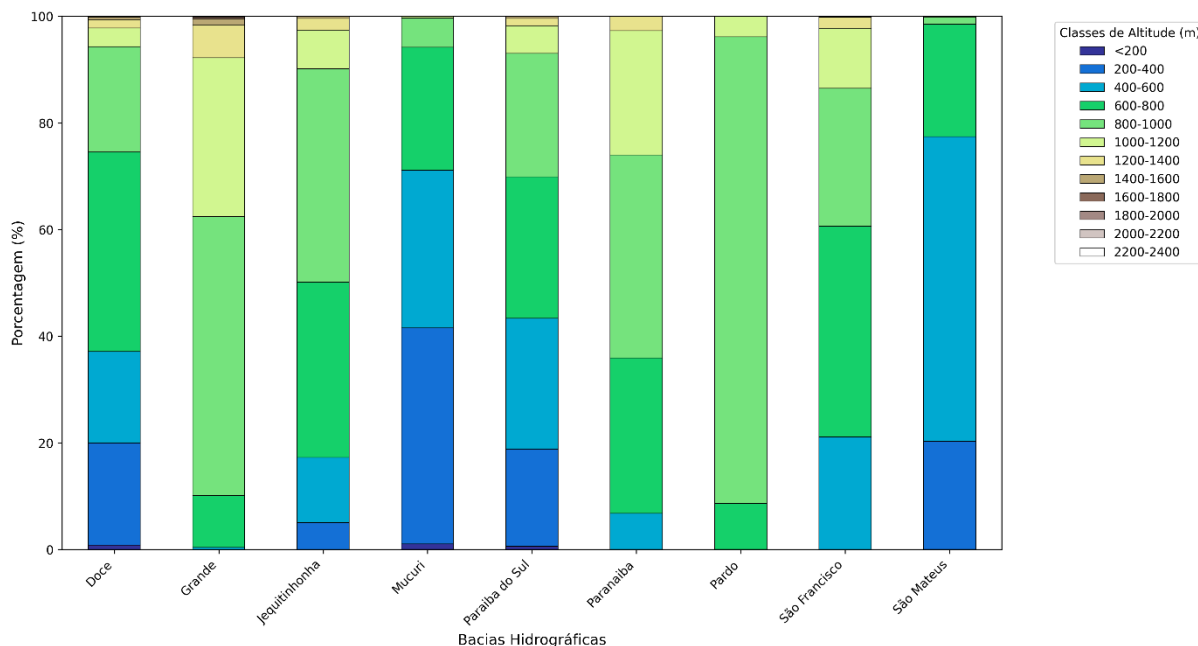
Minas Gerais apresenta uma expressiva variação altimétrica, conforme ilustrado na Figura 23, com áreas de menor altitude — inferiores a 200 m — concentradas predominantemente na porção norte do estado, e regiões que alcançam até 2.800 m, especialmente no sul. Apesar dessa amplitude altimétrica, observa-se que, na maioria das bacias hidrográficas, predominam áreas situadas entre 600 e 1.000 m de altitude. A Figura 24 apresenta a distribuição percentual das classes de altitude em cada bacia hidrográfica do estado.

Figura 23 - Mapa altimétrico de Minas Gerais



Fonte: Elaborado pela autora com base no MDE da Embrapa.

Figura 24 - Porcentagem de faixas de altitudes por Bacia Hidrográfica

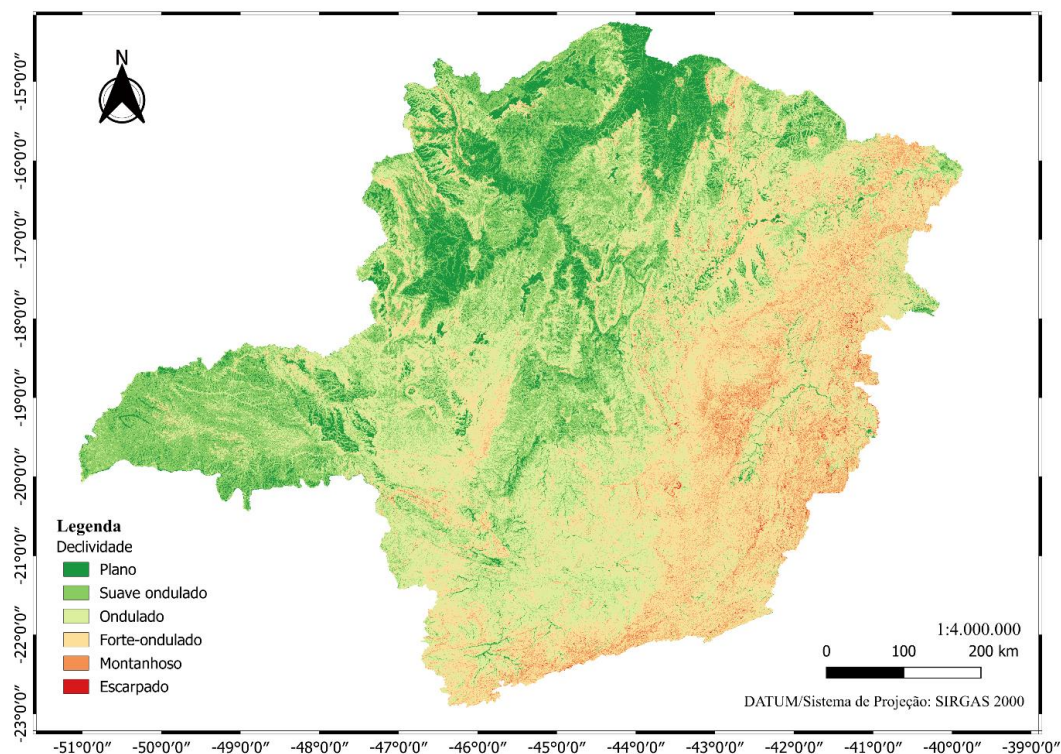


Fonte: Elaborado pela autora com base no MDE da Embrapa

As porções sul e leste caracterizam-se pela presença de relevo montanhoso e escarpado, conforme apresentado a Figura 25, onde se destaca a Serra da Mantiqueira, localizada na divisa entre MG, SP e RJ, que reúne o maior número de picos acima de 2.000 metros. Observa-se que, na maioria das bacias hidrográficas, predominam as classes ondulado e forte ondulado, embora algumas bacias apresentem predominância da classe suave ondulado. A Figura 26 apresenta a distribuição percentual das classes de declividade em cada bacia hidrográfica do estado.

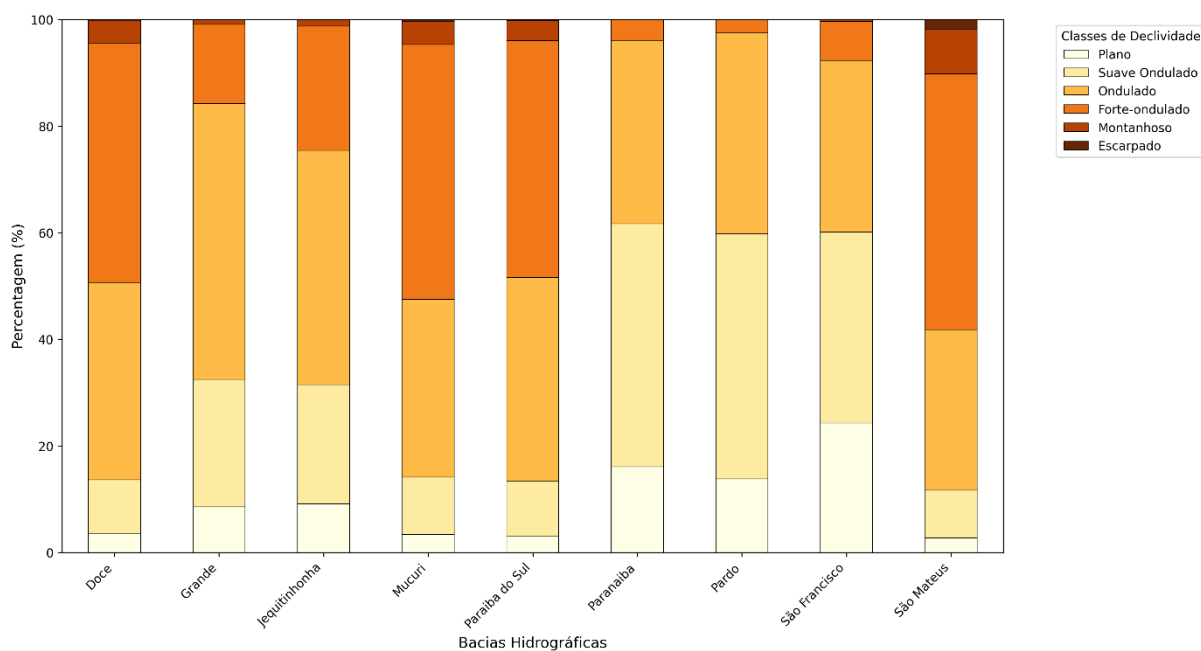
As regiões de maior altitude e com predominância de terrenos montanhosos exercem forte influência sobre o escoamento superficial, uma vez que o fluxo de água tende a ser mais rápido. Nessas áreas, eventos como enxurradas tornam-se mais propensos a ocorrer. Por outro lado, em regiões mais planas — como no norte e no oeste do estado — a tendência é que haja maior ocorrência de inundações em áreas de planície.

Figura 25 - Mapa de declividades de Minas Gerais conforme classificação da EMBRAPA



Fonte: Elaborado pela autora com base no MDE da Embrapa

Figura 26 - Porcentagem de faixas de declividade por Bacia Hidrográfica

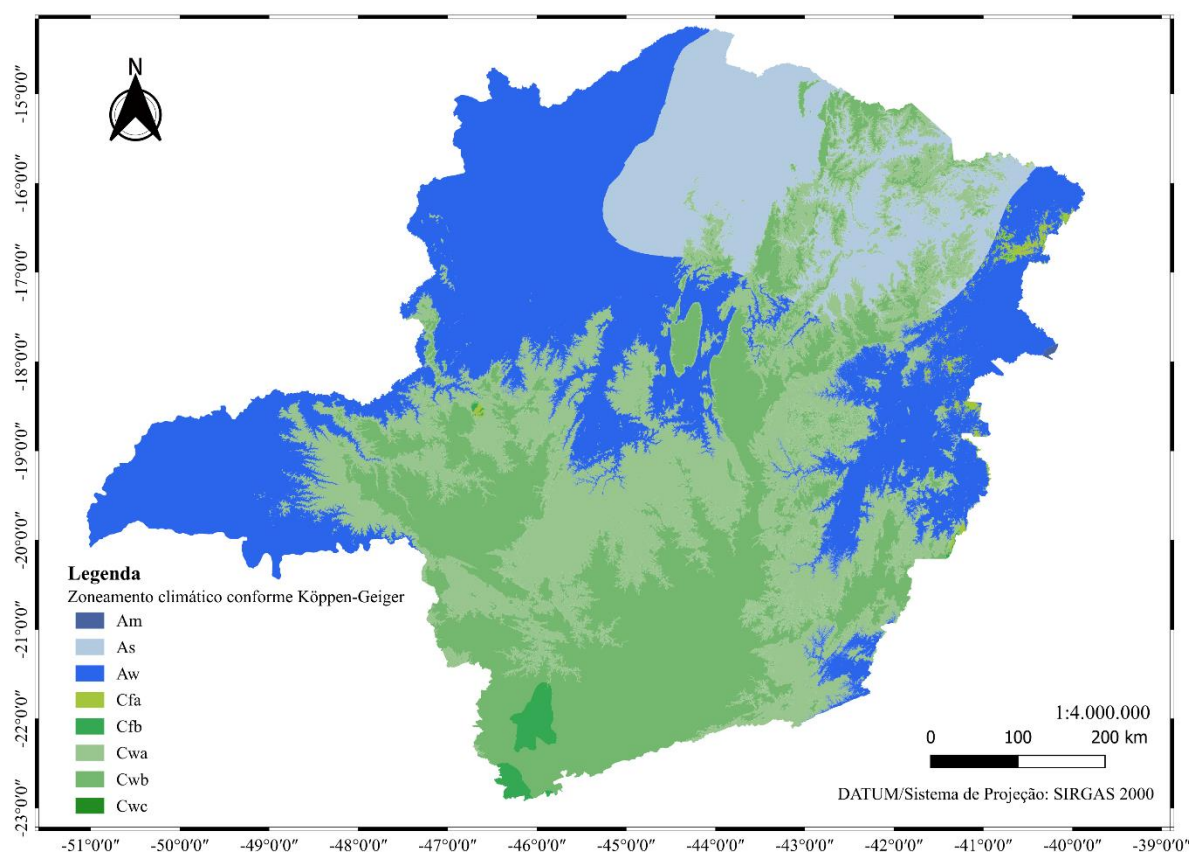


Fonte: Elaborado pela autora com base no MDE da Embrapa

O estado apresenta um clima bastante diverso, conforme ilustrado na Figura 27, que mostra a classificação climática de Köppen-Geiger para Minas Gerais. O estado é marcado por

um regime típico de clima tropical, no qual a precipitação é fortemente sazonal: o período chuvoso se concentra principalmente entre outubro e março, enquanto os meses de abril a setembro são caracterizados por estiagem prolongada. Essa sazonalidade exerce influência direta sobre o regime hidrológico, resultando em vazões elevadas durante o verão e valores reduzidos ao longo do inverno. Na porção norte, predomina um clima de características semiáridas, resultando em um regime hidrológico significativamente distinto das demais regiões. Nessa área, observam-se vazões muito reduzidas durante o período seco e picos de vazão bastante elevados na estação chuvosa, o que impõe maior dificuldade para que o modelo hidrológico reproduza adequadamente esses extremos.

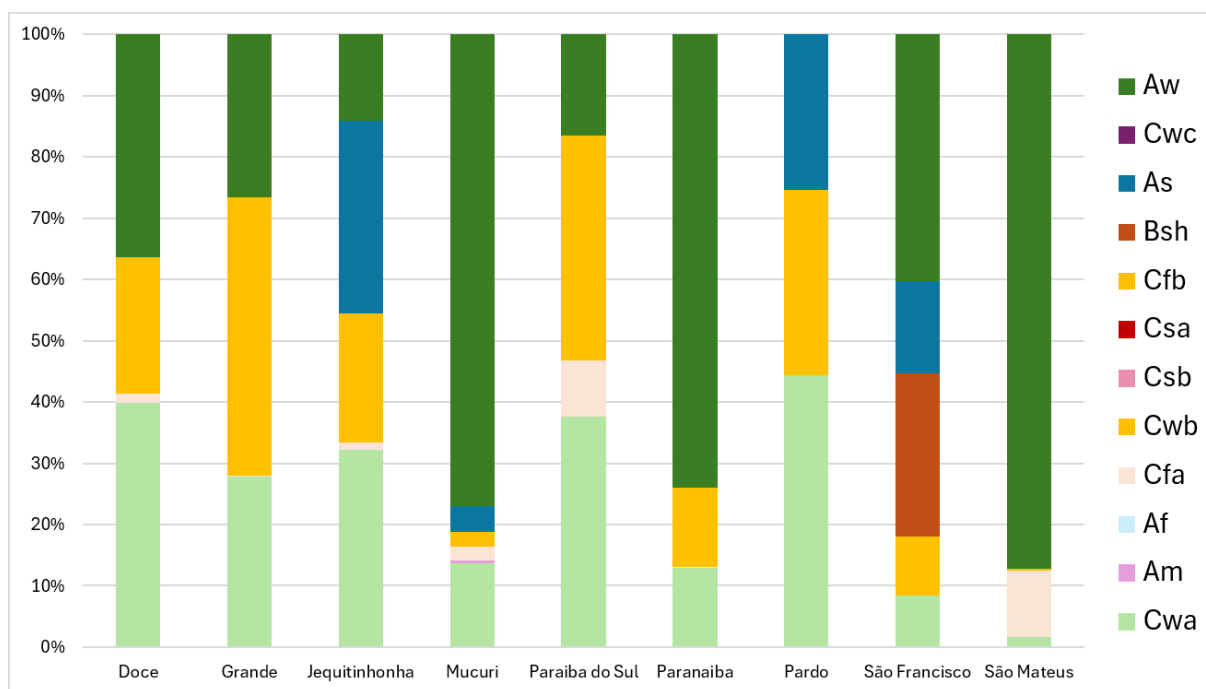
Figura 27 - Classificação climática conforme Köppen-Geiger



Fonte: Elaborado pela autora adaptado de (Alvares, 2013)

A Figura 28 evidencia a heterogeneidade climática entre as bacias hidrográficas do estado. Enquanto algumas bacias apresentam uma distribuição mais diversificada das classes climáticas, como as bacias do Paraíba do Sul e do Grande, outras são caracterizadas pelo predomínio de uma única classe climática, como a bacia do São Mateus.

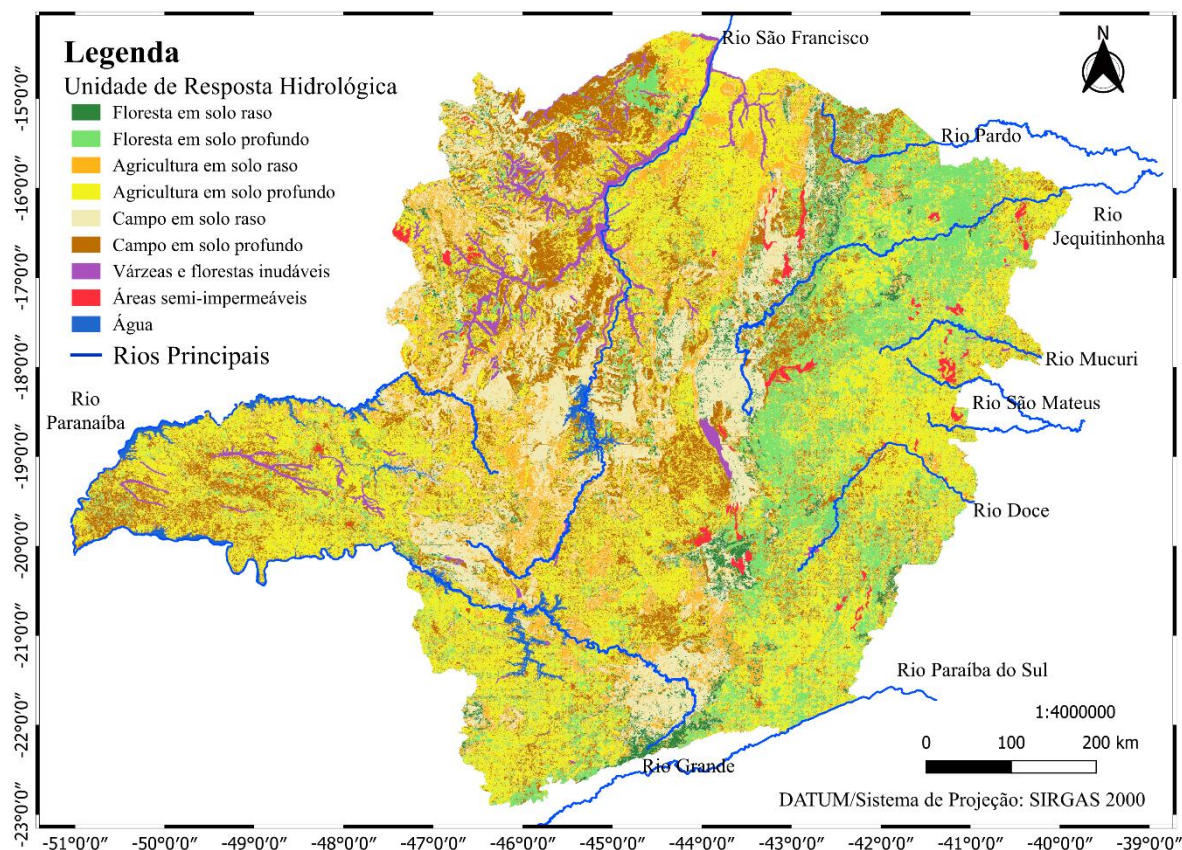
Figura 28 - Porcentagem de classes de clima por Bacia Hidrográfica



Fonte: Elaborado pela autora adaptado de (Alvares, 2013)

O mapa de URHs foi obtido do resultado da sobreposição de mapas de tipo de solo e uso do solo (ou vegetação). Os solos foram classificados em termos de potencial de geração de escoamento superficial, definindo-se, então, cinco classes (Água, Solos Rasos, Solos Profundos, Solos Saturados e solos Semi-impermeáveis). O uso do solo também foi reclassificado tendo suas classes agrupadas por semelhança hidrológica em seis classes (Agricultura, Campos, Florestas, Várzeas e florestas inundáveis, Água e Áreas Semi-impermeáveis) (Fan *et al.*, 2015). A Figura 29 apresenta o mapa de URHs recortado para o estado de Minas Gerais.

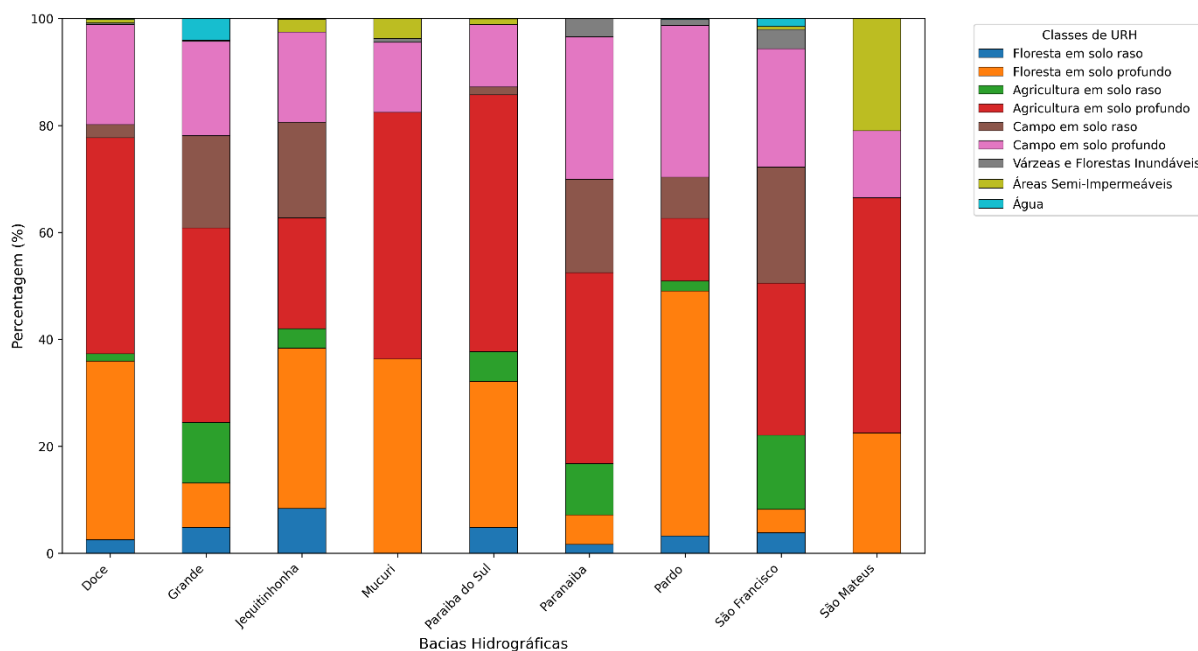
Figura 29 - Mapa de Unidade de Resposta Hidrológica de Minas Gerais



Fonte: Elaborado pela autora adaptado de (Fan *et al.*, 2015)

O mapa anterior e a Figura 30 evidenciam que, de modo geral, as bacias hidrográficas apresentam maior predominância das classes agricultura em solo profundo, floresta em solo profundo e campo em solo profundo. As áreas classificadas como solo profundo possuem baixo potencial de geração de escoamento superficial, favorecendo uma maior infiltração da água no solo. A classe agricultura engloba áreas de agricultura intensiva e demais coberturas com características semelhantes, incluindo pastagens. A classe campo compreende formações arbustivas, estepes, diferentes fitofisionomias de cerrado e campos naturais, bem como suas subclasses. Já a classe floresta abrange todas as formações florestais, com exceção das florestas inundáveis.

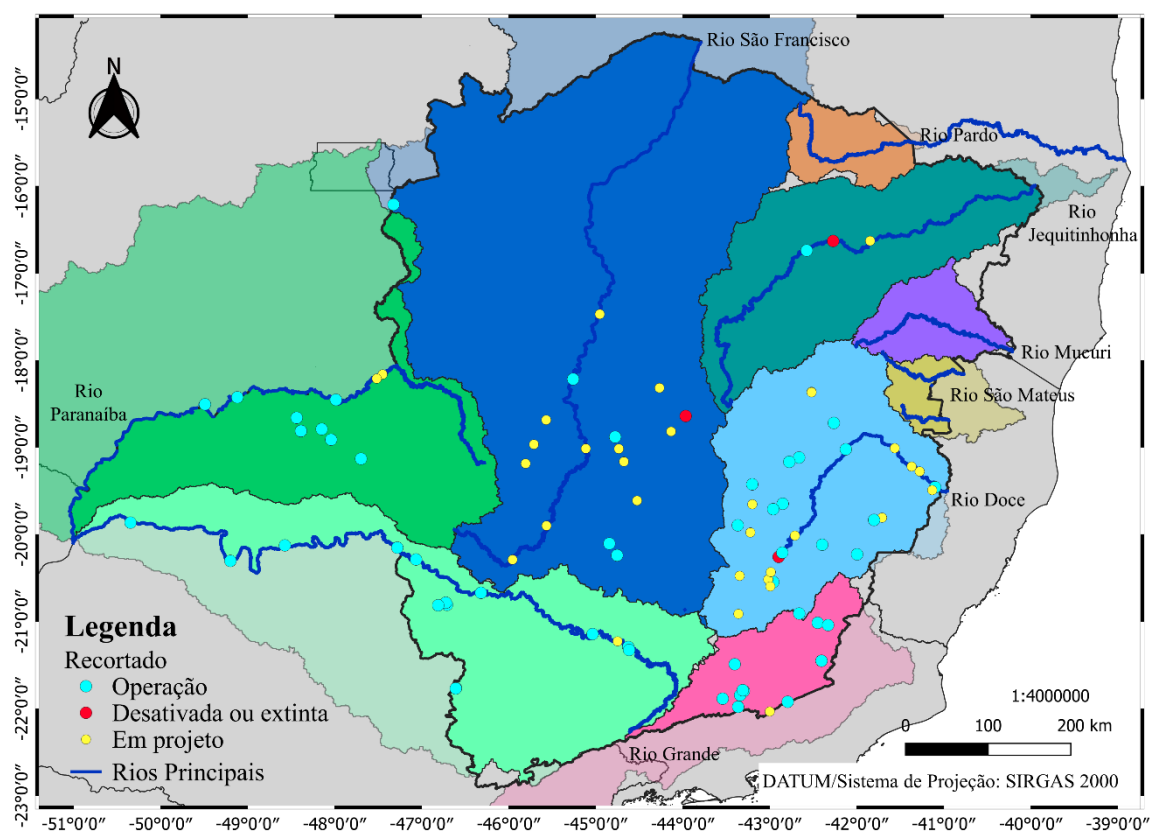
Figura 30 - Porcentagem de classes de URHs por Bacia Hidrográfica



Fonte: Elaborado pela autora adaptado de (Fan *et al.*, 2015)

Minas Gerais possui um expressivo conjunto de usinas hidrelétricas distribuídas ao longo de seu território, conforme ilustrado na Figura 31. O estado registra 89 empreendimentos hidrelétricos em operação, sendo a maior concentração observada na bacia do rio Doce, que abriga 30 usinas. A usina com a maior área de drenagem encontra-se na bacia do rio Grande, cuja área contribuinte alcança aproximadamente 139.900 km². As usinas modificam de forma expressiva o regime natural dos rios ao realizar a regularização, o armazenamento e o controle das vazões. Esses processos afetam diretamente o comportamento hidrológico da bacia, alterando, por exemplo, a frequência e a magnitude dos picos de cheia. Isso representa um grande desafio para os modelos hidrológicos. Tabela 2 apresenta informações das usinas existentes em Minas Gerais.

Figura 31 - Usinas Hidrelétricas registradas na Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, dentro do estado mineiro.



Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL

Tabela 2 - Usinas hidrelétricas de Minas Gerais

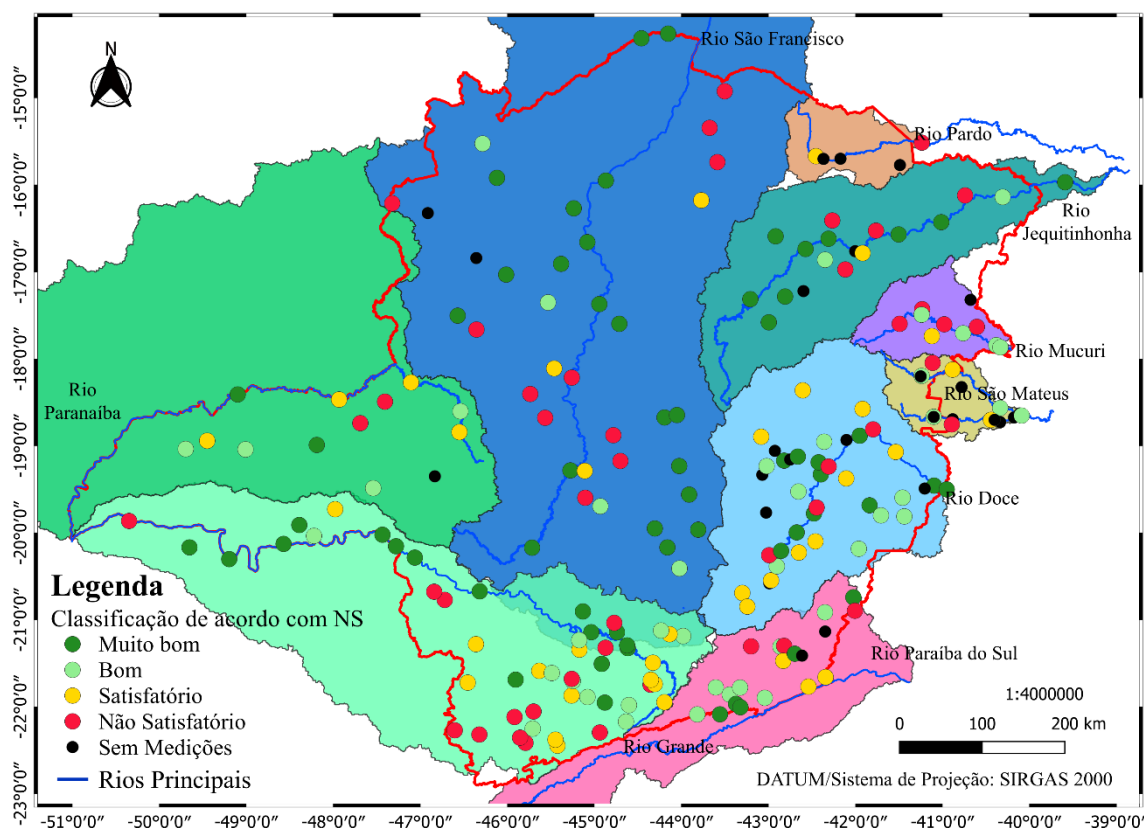
Aproveitamento Hidrelétrico	Potência [KW]	Rio	Município	Área de drenagem [km²]	Bacia
Água Vermelha (Antiga José Ermírio de Moraes)	1396200	Rio Grande	Ouroeste	139900	Grande
Aimorés	330000	Rio Doce	Aimorés	62167	Doce
Amador Aguiar I (Antiga Capim Branco I)	243090	Rio Araguari	Araguari	18635	Paranaíba
Amador Aguiar II (Antiga Capim Branco II)	211470	Rio Araguari	Araguari	19100	Paranaíba
Baguari	140000	Rio Doce	Alpercata	38350	Doce
Barra do Braúna	39000	Rio Pomba	Recreio	0	Paraíba do Sul
Brecha	17000	Rio Piranga	Guaraciaba	5720	Doce
Cachoeira Dourada	658000	Rio Paranaíba	Cachoeira Dourada	98.97	Paranaíba
Cajuru	7200	Rio Pará	Carmo do Cajuru	2230	São Francisco
Camargos	46000	Rio Grande	Itutinga	6280	Grande
Coronel Domiciano	5040	Rio Fumaça	Muriáé	195	Paraíba do Sul
Dona Rita	2408	Rio Tanque	Santa Maria de Itabira	754	Doce
Ervália	6970	Rio dos Bagres	Guiricema	0	Paraíba do Sul
Estreito (Luiz Carlos Barreto de Carvalho)	1050000	Rio Grande	Pedregulho	61942	Grande
Funil	180000	Rio Grande	Lavras	15153	Grande
Furnas	1216000	Rio Grande	São João Batista do Glória	50464	Grande
Gafanhoto	14000	Rio Pará	Divinópolis	2596	São Francisco
Glória	13800	Rio Glória	Muriáé	0	Paraíba do Sul
Guilman Amorim	140000	Rio Piracicaba	Antônio Dias	0	Doce
Irapé	399000	Rio Jequitinhonha	Berilo	0	Jequitinhonha
Itumbiara	2082000	Rio Paranaíba	Araporã	0	Paranaíba
Itutinga	52000	Rio Grande	Itutinga	0	Grande
João Camilo Penna (Antiga Cachoeira do Emboque)	21600	Rio Matipó	Raul Soares	1333	Doce
Joasal	8400	Rio Paraibuna	Juiz de Fora	1070	Paraíba do Sul
Marechal Mascarenhas de Moraes (Antiga Peixoto)	476000	Rio Grande	Ibiraci	59600	Grande
Marimondo	1440000	Rio Grande	Fronteira	116700	Grande
Marmelos	4000	Rio Paraibuna	Juiz de Fora	1000	Paraíba do Sul
Martins	7700	Rio Uberabinha	Uberlândia	1660	Paranaíba
Miranda	408000	Rio Araguari	Indianópolis	17800	Paranaíba
Monte Alto	7360	Rio São João	Passos	1248	Grande
Nebliña	6468	Rio Manhuaçu	Ipanema	2092	Doce
Nova Ponte	510000	Rio Araguari	Nova Ponte	0	Paranaíba
Paciência	4080	Rio Paraibuna	Matias Barbosa	1102	Paraíba do Sul
Pedro Afonso Junqueira (Antiga Antas I)	8780	Rio das Antas	Poços de Caldas	450	Grande
Peti	9400	Rio Santa Bárbara	São Gonçalo do Rio Abaixo	708	Doce
Piau	18012	Rio Piau	Piau	0	Paraíba do Sul
Picada	50000	Rio do Peixe	Juiz de Fora	1702	Paraíba do Sul
Porto Colômbia	320000	Rio Grande	Guaíra	78400	Grande
Porto Estrela	112240	Rio Santo Antônio	Açucena	0	Doce
Queimado	105000	Rio Preto	Unai	3930	São Francisco
Retiro Baixo	83657	Rio Paraopeba	Curvelo	11160	São Francisco
Risoleta Neves (Antiga Candonga)	140000	Rio Doce	Santa Cruz do Escalvado	8919	Doce
Sá Carvalho	78000	Rio Piracicaba	Antônio Dias	4369	Doce
Salto Grande	102000	Rio Santo Antônio	Braúnas	0	Doce
Santana	650	Rio Santana	Fortaleza de Minas	0	Grande
São João	3200	Rio São João	Itaú de Minas	1227	Grande
Simplicio	333700	Rio Paraíba do Sul	Além Paraíba	0	Paraíba do Sul
Sinceridade	1416	Rio Manhuaçu	Manhuaçu	621	Doce
Sobragi	60000	Rio Paraibuna	Belmiro Braga	0	Paraíba do Sul
Theodomiro Carneiro Santiago (Antiga Emborcação)	1192000	Rio Paranaíba	Catalão	0	Paranaíba
Três Marias	396000	Rio São Francisco	Três Marias	50560	São Francisco
Tronqueiras	8500	Rio Tronqueiras	Coroaci	510	Doce
Walter Rossi (Antiga Antas II)	16500	Rio Lambari	Poços de Caldas	450	Grande

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL

5.1. Calibração e Validação do Modelo

A calibração do modelo abrangeu o período de 01/01/2010 a 31/12/2020. Como o foco do ajuste é a previsão de vazões de cheia, optou-se por priorizar o Coeficiente de Nash-Sutcliffe (NS) calculado a partir das vazões diárias, pois esse indicador oferece melhor representação dos valores mais elevados de vazão. Para a etapa de verificação do modelo, foi utilizado o período de 01/01/2021 a 31/12/2024. A Figura 32 apresenta os resultados dos valores de NS para o estado de Minas Gerais. Os valores de cada estatística de desempenho do modelo estão apresentados no Apêndice A.

Figura 32 - Classificação dos valores de NS na calibração do MGB para os postos fluviométricos de Minas Gerais

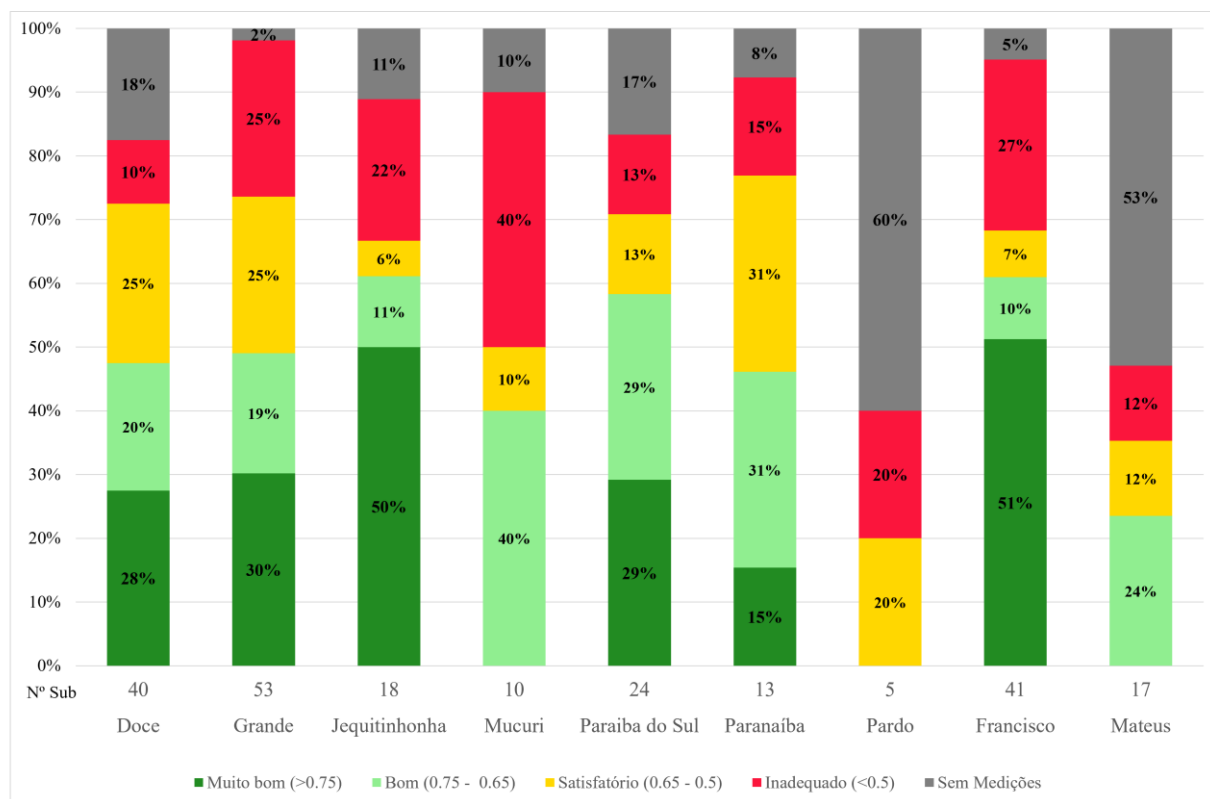


Fonte: Elaborado pela autora

O modelo hidrológico apresentou, de modo geral, um bom desempenho, uma vez que a maior parte dos postos alcançou classificações entre satisfatório e muito bom, conforme apresentado no gráfico da Figura 33. Algumas bacias não possuíam séries de dados suficientes para a calibração; ainda assim, seus postos foram mantidos devido à localização estratégica, especialmente por estarem próximos a áreas urbanas, onde é fundamental dispor de informações

de vazão. Em outras bacias, embora houvesse dados disponíveis, os resultados de calibração não foram plenamente satisfatórios em alguns casos, seja em razão da pequena extensão da bacia, seja devido às características específicas do regime hidrológico da região.

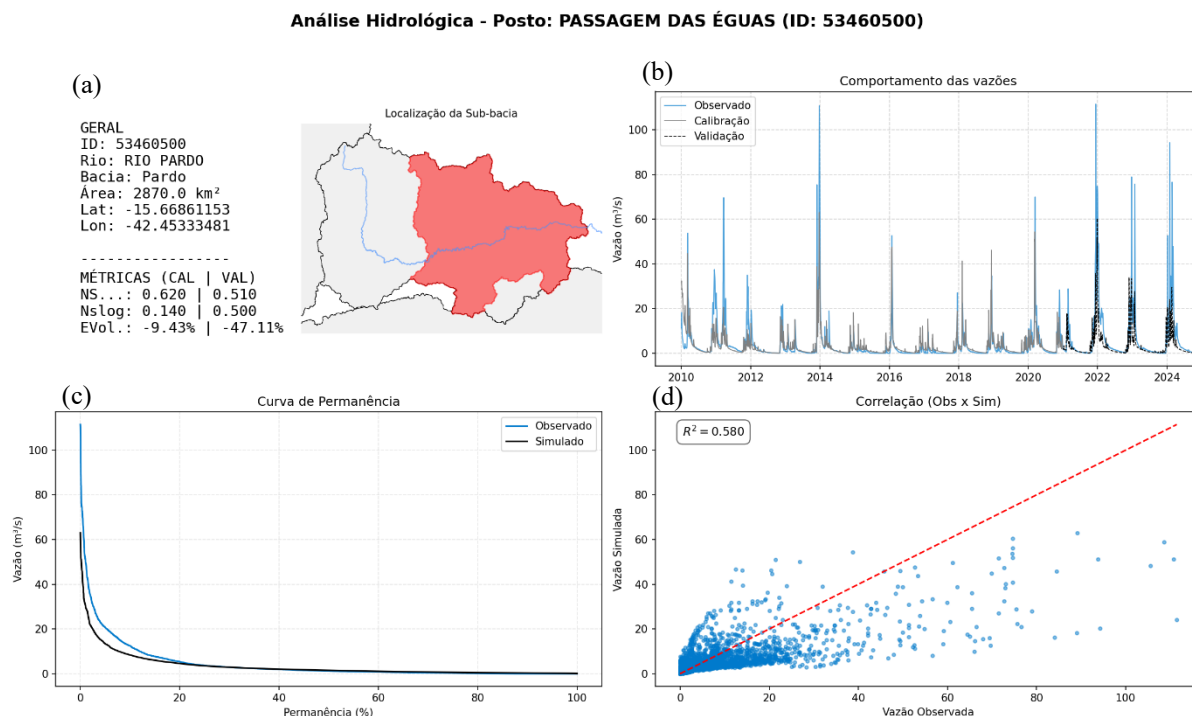
Figura 33 - Porcentagem da classificação do NS, na calibração, por bacia hidrográfica.



Fonte: Elaborado pela autora

A Figura 34 apresenta o hidrograma do posto 53460500, localizado na bacia do rio Pardo. Observa-se que o desempenho do modelo foi bom para esse ponto. Apesar disso, o hidrograma e a curva de permanência tiveram comportamentos ligeiramente distintos. Isso ocorre, em parte, porque se trata de uma bacia de pequena dimensão, o que geralmente aumenta a sensibilidade do modelo. Além disso, a região está inserida em área de clima semiárido, onde o regime hidrológico é altamente irregular, o que dificulta a representação dos processos hidrológicos. Soma-se a isso a presença de numerosos açudes e pequenos reservatórios sem controle operacional ou dados registrados, cuja atuação altera significativamente as vazões naturais e prejudica o desempenho da modelagem.

Figura 34 - Resultados da calibração para o posto 53460500 (Bacia do Rio pardo) - (a) informações gerais da bacia e as métricas de desempenho do MGB para calibração e validação; (b) hidrograma das vazões observadas e calibradas; (c) curva de permanência das vazões observadas e simuladas; (d) correlação entre vazão simulada e observada.

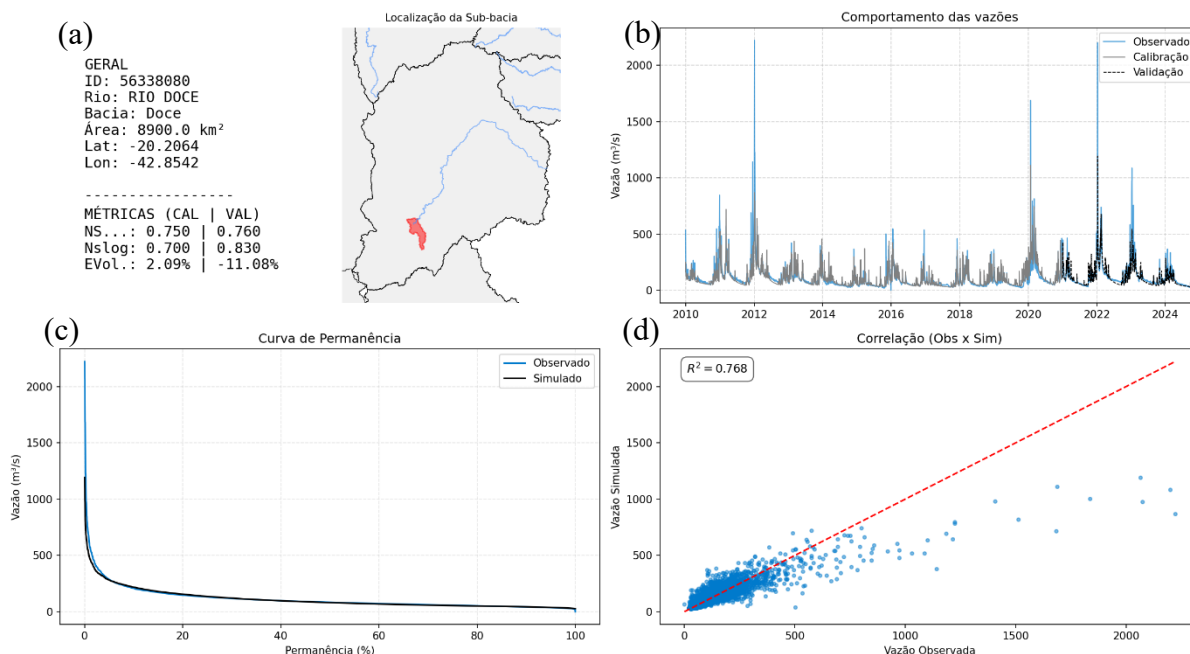


Fonte: Elaborado pela autora

Para as sub-bacias com a presença de UHE, foi necessário a incluir a vazão defluente da usina no modelo, para representar da melhor forma a sua influência na vazão do rio. A Figura 35 apresenta o resultado da calibração em uma sub-bacia em que há a presença da UHE Risoleta Neves Barramento, na bacia do Rio Doce. Embora a presença da usina altere significativamente o regime hidrológico, representando um desafio adicional à modelagem, o desempenho obtido foi classificado como muito bom. As vazões simuladas acompanharam de forma satisfatória as vazões observadas, demonstrando boa correlação e adequada representação do comportamento hidrológico da sub-bacia.

Figura 35 - Resultados da calibração para o posto 56338080 (Bacia do Rio Doce)) - (a) informações gerais da bacia e as métricas de desempenho do MGB para calibração e validação; (b) hidrograma das vazões observadas e calibradas; (c) curva de permanência das vazões observadas e simuladas; (d) correlação entre vazão simulada e observada.

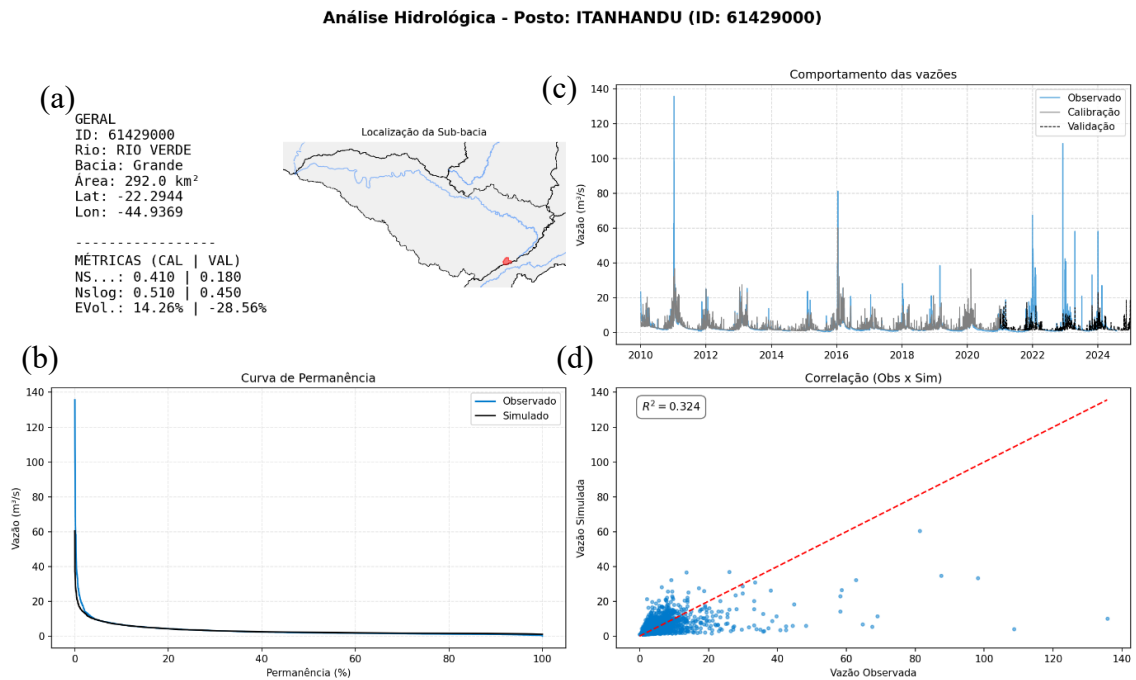
Análise Hidrológica - Posto: UHE RISOLETA NEVES BARRAMENTO (ID: 56338080)



Fonte: Elaborado pela autora

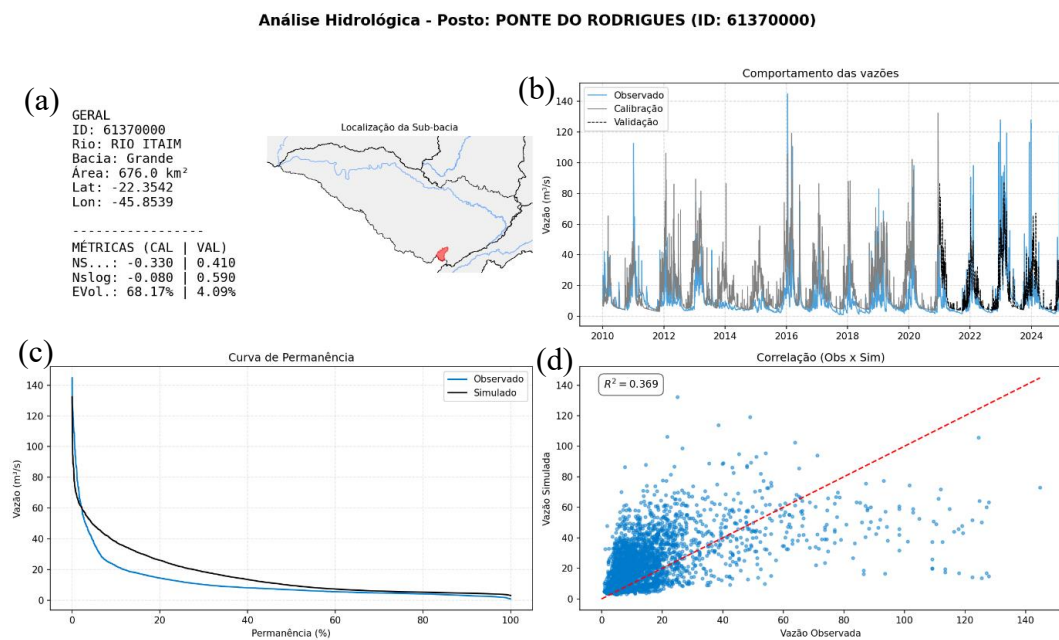
Na porção sul de Minas Gerais, na bacia do rio Grande, encontram-se sub-bacias de menor extensão, como a do rio Itanhandu (61429000), com 292 km², apresentada na Figura 36, e a do rio Itaim (61370000), com 676 km², ilustrada na Figura 37. Nesses casos, o desempenho do modelo não foi satisfatório. Isso ocorre porque o MGB foi concebido para aplicação em bacias de grande escala, preferencialmente acima de 1.000 km². Além dessa limitação estrutural, trata-se de uma região montanhosa, onde o relevo acidentado favorece um escoamento superficial rápido e concentrado, elevando a velocidade do escoamento. Assim, as vazões médias diárias observadas nem sempre capturam adequadamente os picos de cheia, uma vez que os volumes passam rapidamente pelo posto e podem não ser registrados, o que compromete a representação hidrológica e influencia negativamente o desempenho do modelo.

Figura 36 - Resultados da calibração para o posto 61429000 (Bacia do Rio Grande) - (a) informações gerais da bacia e as métricas de desempenho do MGB para calibração e validação; (b) hidrograma das vazões observadas e calibradas; (c) curva de permanência das vazões observadas e simuladas; (d) correlação entre vazão simulada e observada.



Fonte: Elaborado pela autora

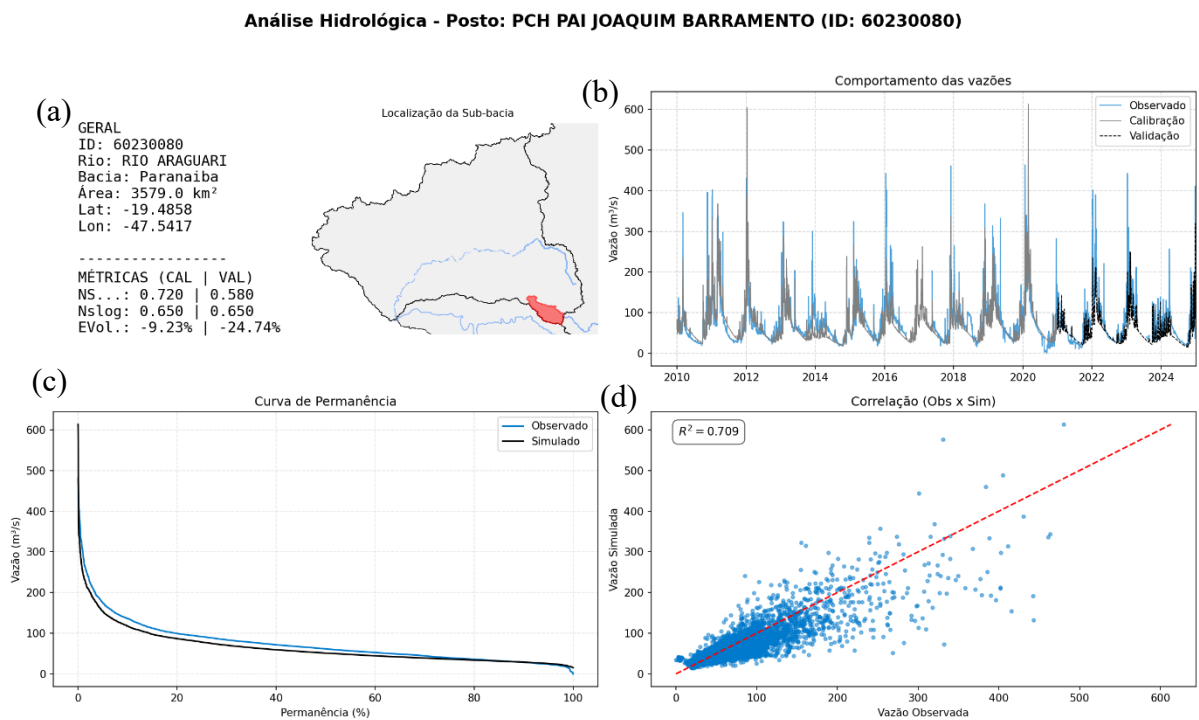
Figura 37 - Resultados da calibração para o posto 61370000 – Bacia do Rio Grande



Fonte: Elaborado pela autora

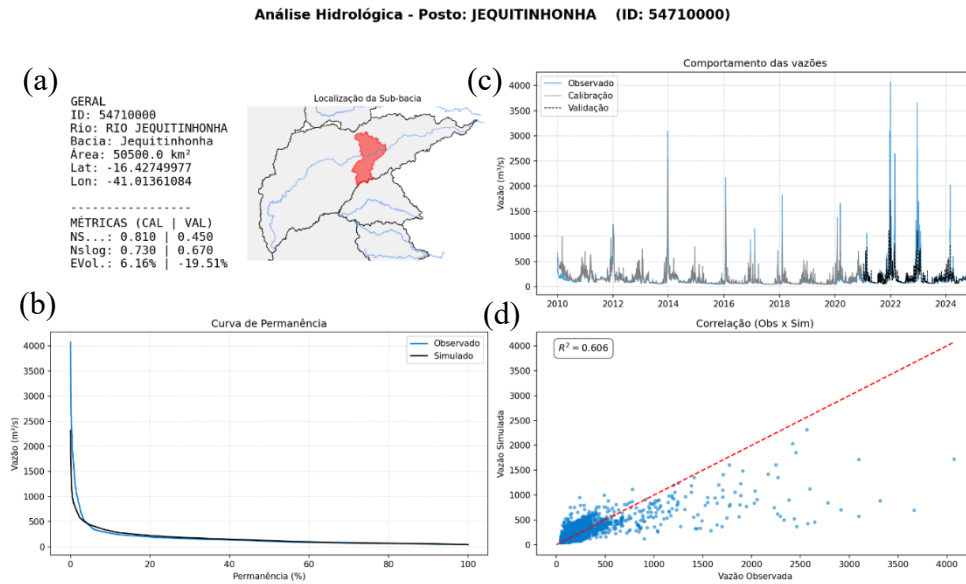
As Figura 38 a Figura 42 apresentam o resultado da calibração para outras sub bacias com um bom desempenho. Em alguns casos se observa uma maior diferença na representação dos picos de vazão, que tendem a ser superestimados pelo modelo. A causa pode estar na dificuldade de modelar o transbordamento do rio e inundação das áreas de planície alagável da bacia. Quando o rio transborda há um amortecimento dos picos de vazão.

Figura 38 - Resultados da calibração para o posto 60230080 (Bacia do Rio Paranaíba) - (a) informações gerais da bacia e as métricas de desempenho do MGB para calibração e validação; (b) hidrograma das vazões observadas e calibradas; (c) curva de permanência das vazões observadas e simuladas; (d) correlação entre vazão simulada e observada.



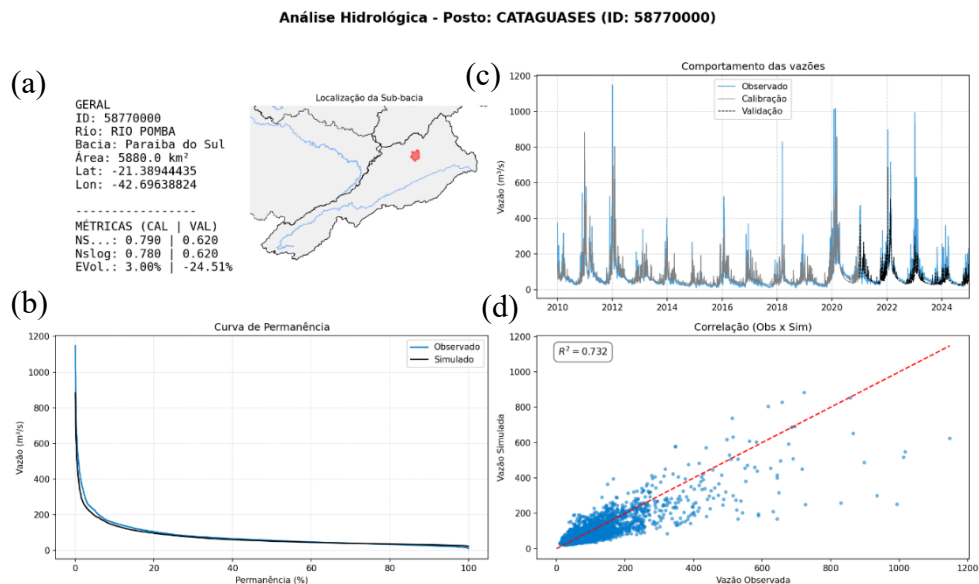
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 39 - Resultados da calibração para o posto 54710000 (Bacia do Rio Jequitinhonha) -
 (a) informações gerais da bacia e as métricas de desempenho do MGB para calibração e validação; (b) hidrograma das vazões observadas e calibradas; (c) curva de permanência das vazões observadas e simuladas; (d) correlação entre vazão simulada e observada.



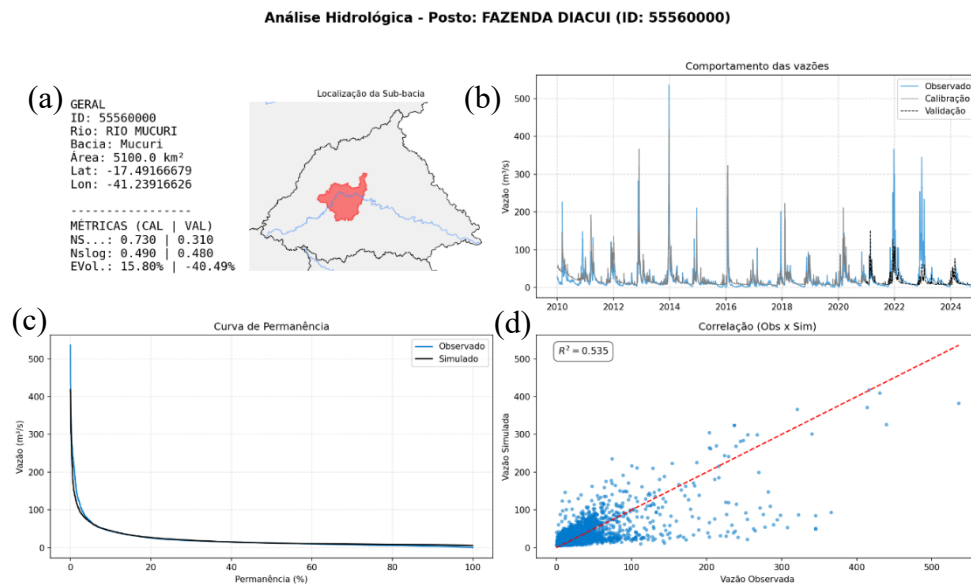
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 40 - Resultados da calibração para o posto 58770000 (Bacia do Rio Paraíba do Sul) -
 (a) informações gerais da bacia e as métricas de desempenho do MGB para calibração e validação; (b) hidrograma das vazões observadas e calibradas; (c) curva de permanência das vazões observadas e simuladas; (d) correlação entre vazão simulada e observada.



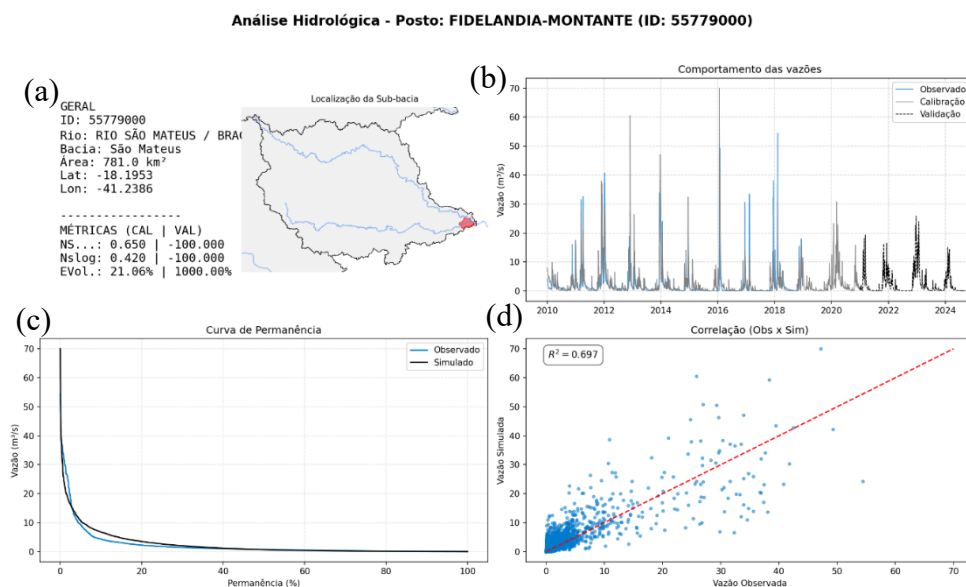
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 41 - Resultados da calibração para o posto 55560000 (Bacia do Rio Mucuri) - (a) informações gerais da bacia e as métricas de desempenho do MGB para calibração e validação; (b) hidrograma das vazões observadas e calibradas; (c) curva de permanência das vazões observadas e simuladas; (d) correlação entre vazão simulada e observada.



Fonte: Elaborado pela autora

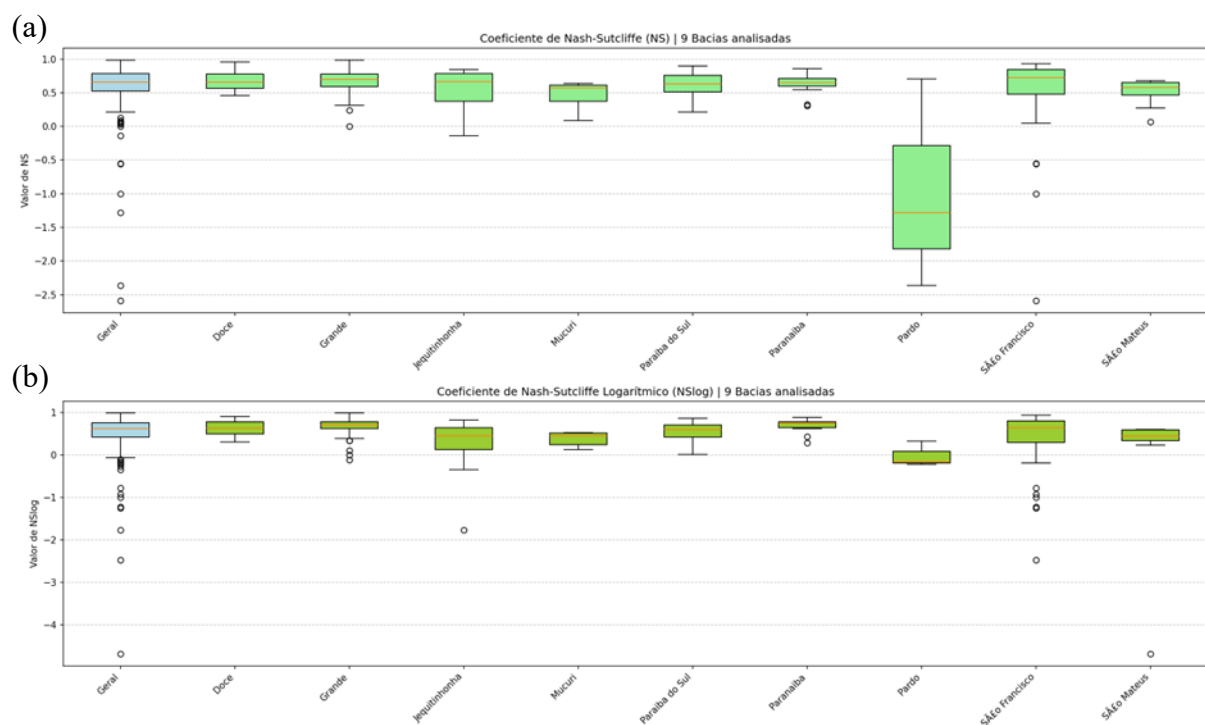
Figura 42 - Resultados da calibração para o posto 55779000 (Bacia do Rio São Mateus) - (a) informações gerais da bacia e as métricas de desempenho do MGB para calibração e validação; (b) hidrograma das vazões observadas e calibradas; (c) curva de permanência das vazões observadas e simuladas; (d) correlação entre vazão simulada e observada.



Fonte: Elaborado pela autora

A análise de desempenho do modelo hidrológico por bacia, apresentada na Figura 43, representada pelos coeficientes de Nash-Sutcliffe (NS) e sua versão logarítmica (NSlog), revela variações significativas na capacidade preditiva do modelo entre diferentes regiões. As bacias do rio Doce, Grande, Jequitinhonha, Mucuri, Paranaíba, São Francisco, São Mateus possuem mediana perto de 0.8 e há uma baixa variabilidade no desempenho do modelo nessas bacias, o que indica que o modelo apresenta um desempenho consistentemente alto e satisfatório na maioria dessas bacias. Já a bacia do Rio Pardo foi a que apresentou o pior desempenho dentre os resultados de NS. O modelo teve comportamento satisfatório na simulação de vazões baixas na maioria das bacias. O ponto fraco continua sendo a bacia do Pardo, onde a simulação de vazões baixas é insatisfatória.

Figura 43 – (a) Valores de NS; (b) valores de NSlog, para cada bacia hidrográfica de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora

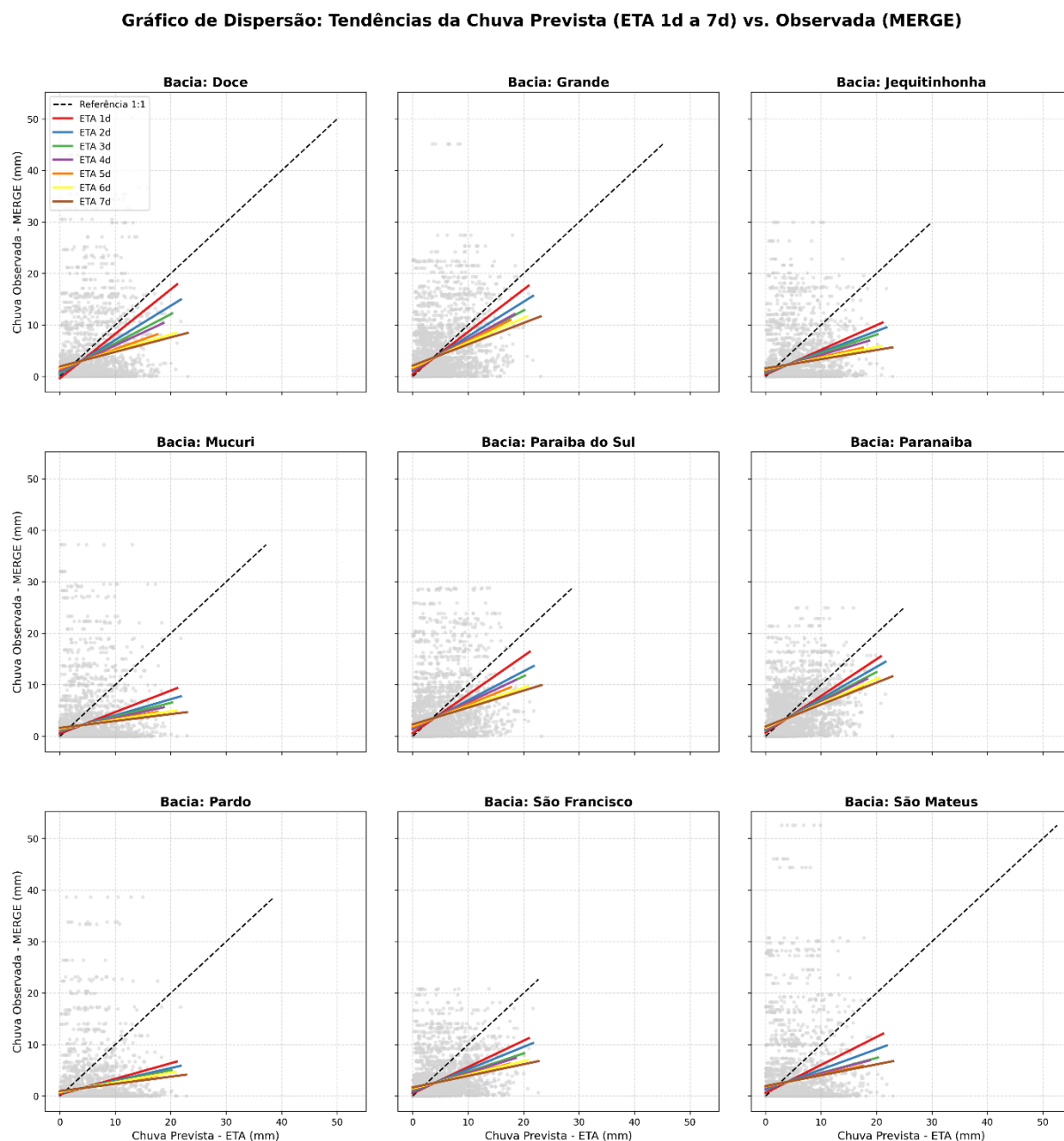
Como material complementar, o repositório (disponível em: < <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19317.33766> >) disponibiliza um painel específico para cada sub bacia analisada. Esses painéis apresentam informações gerais da sub bacia, as métricas de desempenho da etapa de ajuste do modelo hidrológico, os hidrogramas de vazão gerada e observada e os gráficos de correlação e curva de permanência, fornecendo uma visão detalhada do desempenho do modelo em cada unidade de análise.

5.2. Previsões de Precipitação de Curto Prazo do Modelo ETA

Para a análise e comparação entre as precipitações previstas e observadas, ambos os conjuntos de dados foram interpolados para os pontos de grade do modelo hidrológico. Esse procedimento foi realizado para todas as previsões disponíveis no período de 2021 a 2024, considerando cada horizonte de previsão de forma independente e em escala diária. Com o objetivo de facilitar a avaliação do desempenho das previsões, foram calculadas as precipitações médias, tanto previstas quanto observadas, sobre a área de cada bacia hidrográfica.

De maneira geral, observou-se que, nas nove bacias hidrográficas analisadas, os picos de precipitação foram predominantemente subestimados pelas previsões. A Figura 44 apresenta a relação entre a precipitação prevista e a observada, evidenciando esse comportamento em todas as bacias, uma vez que as linhas de tendência permaneceram abaixo da linha de referência (1:1). Além disso, verifica-se que, à medida que aumenta a antecedência da previsão, intensifica-se a tendência de subestimação da precipitação observada.

Figura 44 - Correlação entre chuvas observadas e previstas pelo modelo Eta para todas as bacias, com antecedência de 1 a 7 dias



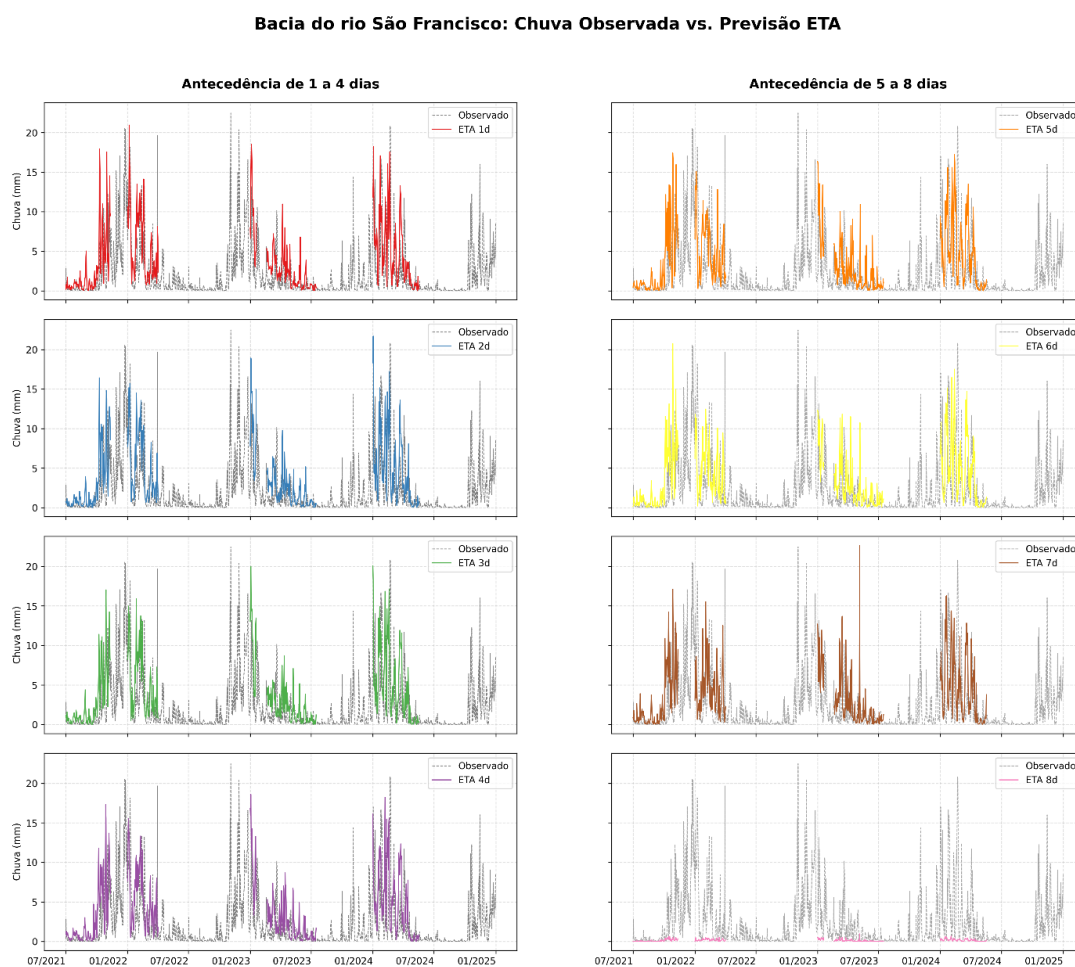
Fonte: Elaborado pela autora

A análise visual das séries temporais de precipitação prevista e observada também evidencia diferenças no desempenho do modelo entre as bacias. Nas bacias em que os eventos máximos de precipitação situam-se em torno de 20 mm, o modelo apresenta melhor capacidade de representar a variabilidade das chuvas. Esse comportamento pode ser observado na bacia do rio São Francisco (Figura 45), onde há maior concordância entre os picos previstos e observados. Em contrapartida, nas bacias que registram eventos mais intensos, com

precipitações próximas de 60 mm, o desempenho do modelo é significativamente inferior. Na bacia do rio Pardo (Figura 46), por exemplo, embora tenham sido observados eventos dessa magnitude, as previsões raramente ultrapassaram 20 mm, evidenciando uma limitação do modelo em representar precipitações mais intensas. De forma geral, em todas as bacias analisadas, os valores máximos previstos permaneceram próximos de 20 mm, independentemente da intensidade dos eventos observados.

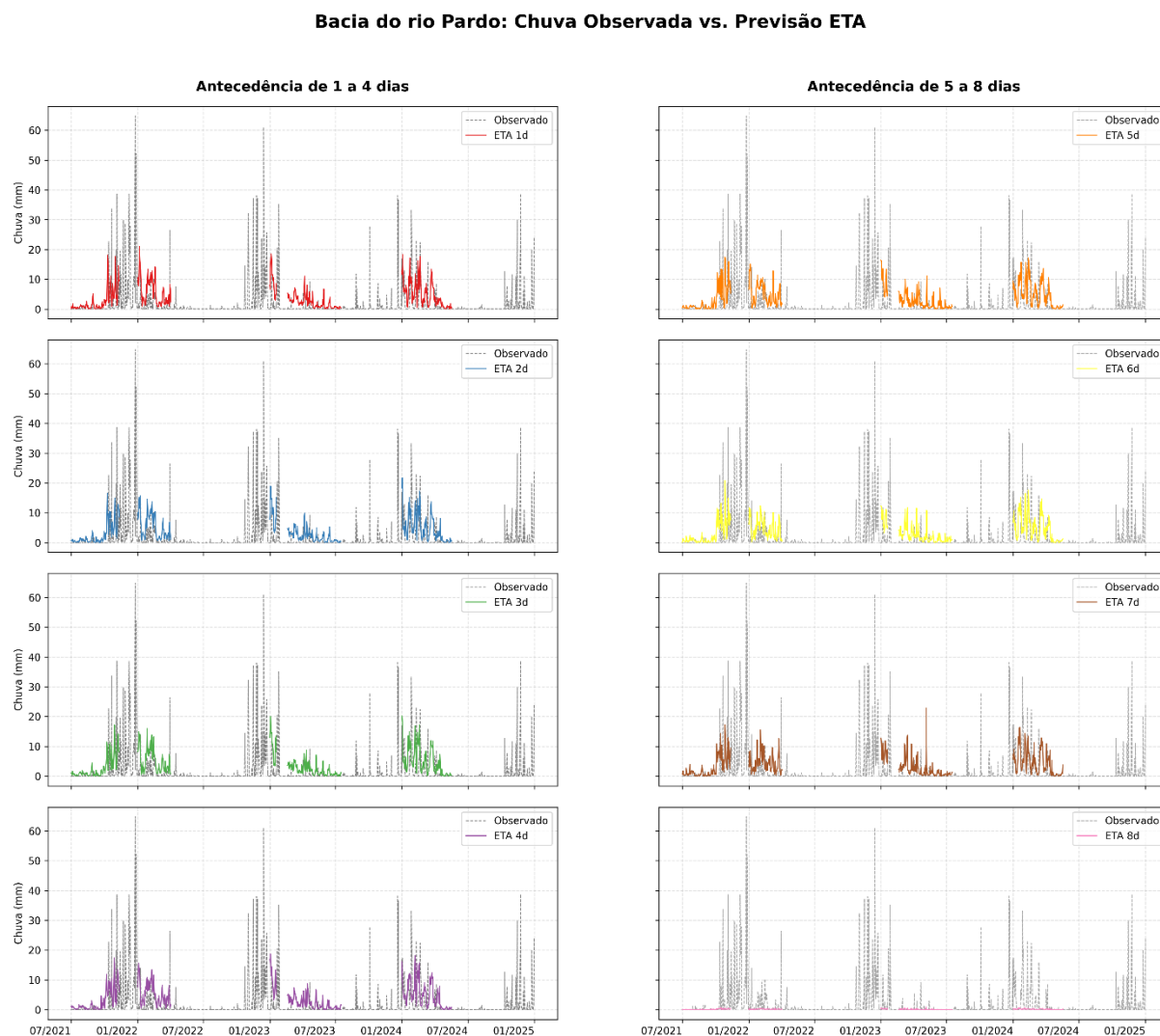
As previsões com oito dias de antecedência apresentaram o pior desempenho entre todos os horizontes avaliados. Esse resultado é coerente com as características operacionais do modelo ETA, cujas previsões são disponibilizadas para horizontes de até sete dias. Assim, a previsão de oito dias corresponde a uma extrapolação além do intervalo para o qual o modelo foi originalmente desenvolvido, o que tende a aumentar as incertezas e reduzir a qualidade das estimativas.

Figura 45 - Comparação entre as chuvas previstas pelo modelo ETA e observadas. Valores médios para a bacia do rio São Francisco, com 1 dia até 8 dias de antecedência



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 46 - Comparação entre as chuvas previstas pelo modelo ETA e observadas. Valores médios para a bacia do rio Pardo, com 1 dia até 8 dias de antecedência



Fonte: Elaborado pela autora

5.3. Previsão de Vazão

Neste item são apresentados os resultados das previsões hidrológicas de curto prazo obtidas com o modelo MGB-IPH, utilizando como entrada as previsões de precipitação fornecidas pelo modelo regional ETA. Os valores obtidos para as estatísticas para cada bacia estão disponíveis no Apêndice C. A análise das Figuras 54 a 63 evidencia elevada variabilidade e dispersão dos resultados para o EMA na maior parte das bacias hidrográficas, sem um comportamento homogêneo entre os postos fluviométricos de uma mesma bacia. Em diversos casos, alguns postos apresentaram erros reduzidos, enquanto outros registraram erros significativamente maiores, resultando em ampla dispersão dos indicadores de desempenho. As bacias dos rios São Francisco, Doce e Grande destacaram-se pela presença de um número expressivo de valores discrepantes (outliers). Além disso, com exceção da bacia do rio Pardo, observou-se uma tendência de aumento dos erros à medida que o horizonte de previsão se ampliava, indicando uma degradação gradual do desempenho das previsões com o aumento da antecedência.

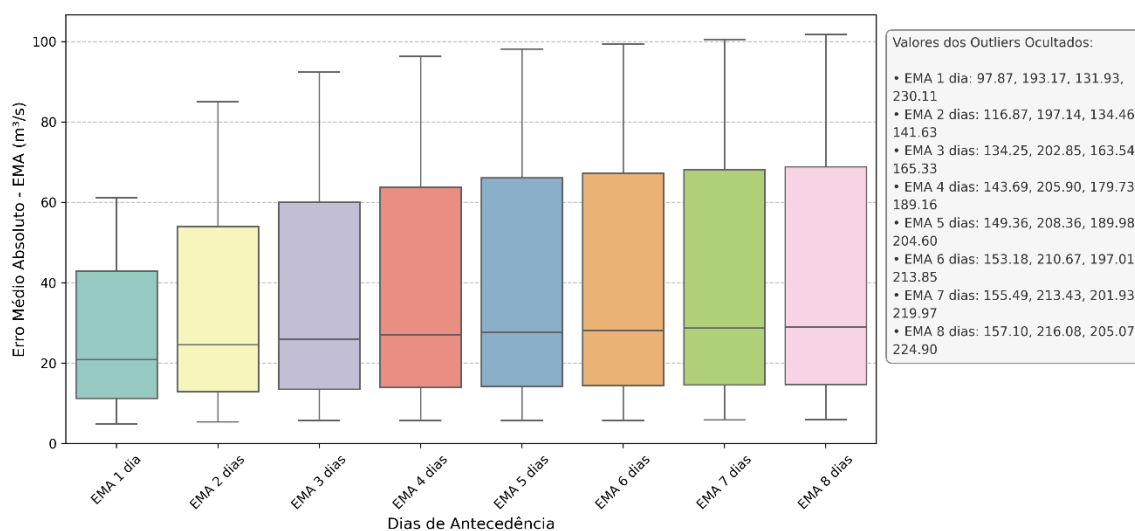
A análise isolada do EMA apresenta algumas limitações, uma vez que esse indicador é influenciado pela magnitude das vazões. Dessa forma, a comparação direta entre postos localizados em diferentes bacias ou em cursos d'água com regimes hidrológicos distintos pode conduzir a interpretações equivocadas. Por exemplo, em rios de grande porte, mesmo pequenos erros relativos podem resultar em elevados valores de erro absoluto médio (EMA), em razão da magnitude das vazões envolvidas. Em contrapartida, em rios de menor porte, erros relativos substancialmente maiores podem produzir valores reduzidos de EMA, apesar de representar um desempenho significativamente inferior.

Nesse contexto, a interpretação do EMA deve ser realizada considerando a ordem de grandeza das vazões, sendo mais apropriado comparar postos com faixas de vazão semelhantes.

Além disso, seria pertinente calcular o EMA utilizando como entrada a precipitação observada, em substituição à precipitação prevista pelo modelo ETA. Essa comparação permitiria isolar a contribuição das incertezas associadas ao modelo atmosférico e ao modelo hidrológico, possibilitando verificar se valores elevados de EMA decorrem predominantemente dos erros na previsão de precipitação do modelo ETA ou das limitações do próprio modelo hidrológico MGB-IPH.

Figura 47 - Distribuição do Erro Médio Absoluto por dia de antecedência para a bacia do rio

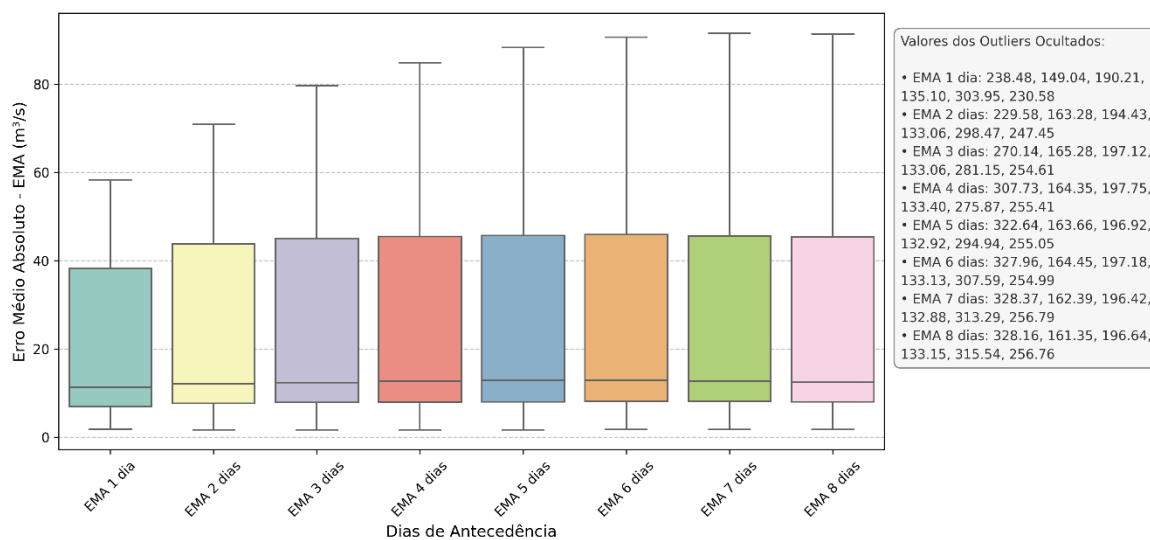
Doce



Fonte: Elaborado pela autora

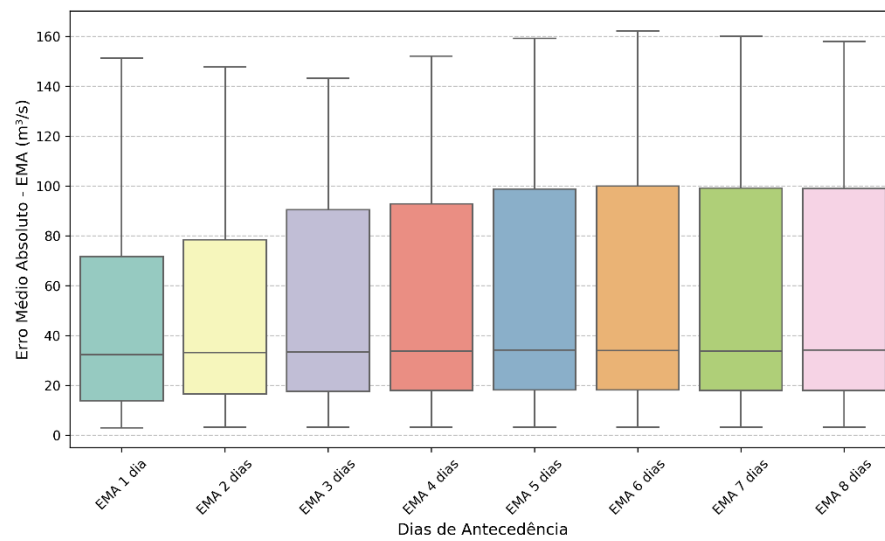
Figura 48 -Distribuição do Erro Médio Absoluto por dia de antecedência para a bacia do rio

Grande



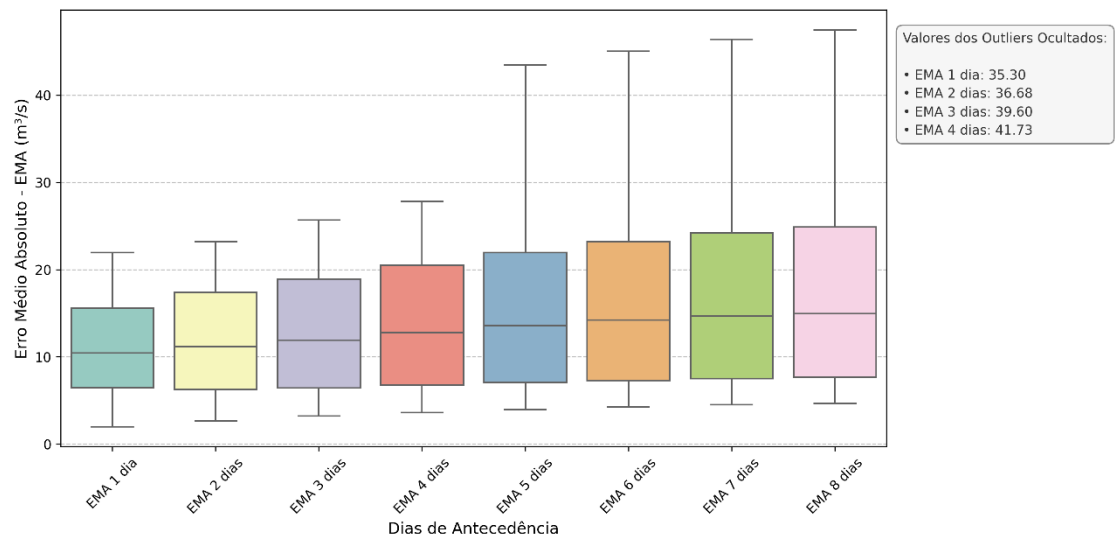
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 49 - Distribuição do Erro Médio Absoluto por dia de antecedência para a bacia do rio Jequitinhonha



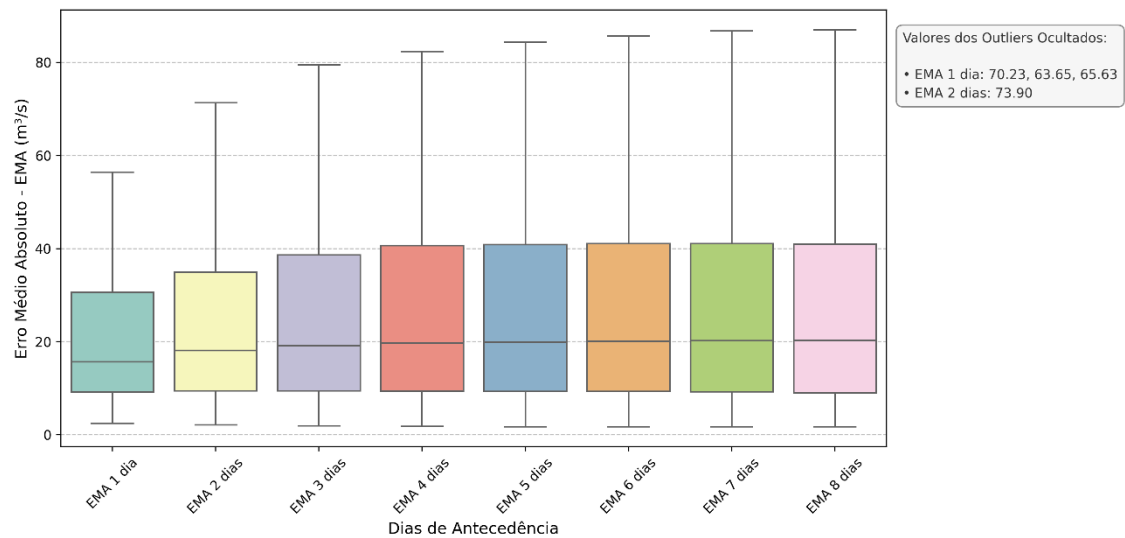
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 50 - Distribuição do Erro Médio Absoluto por dia de antecedência para a bacia do rio Mucuri



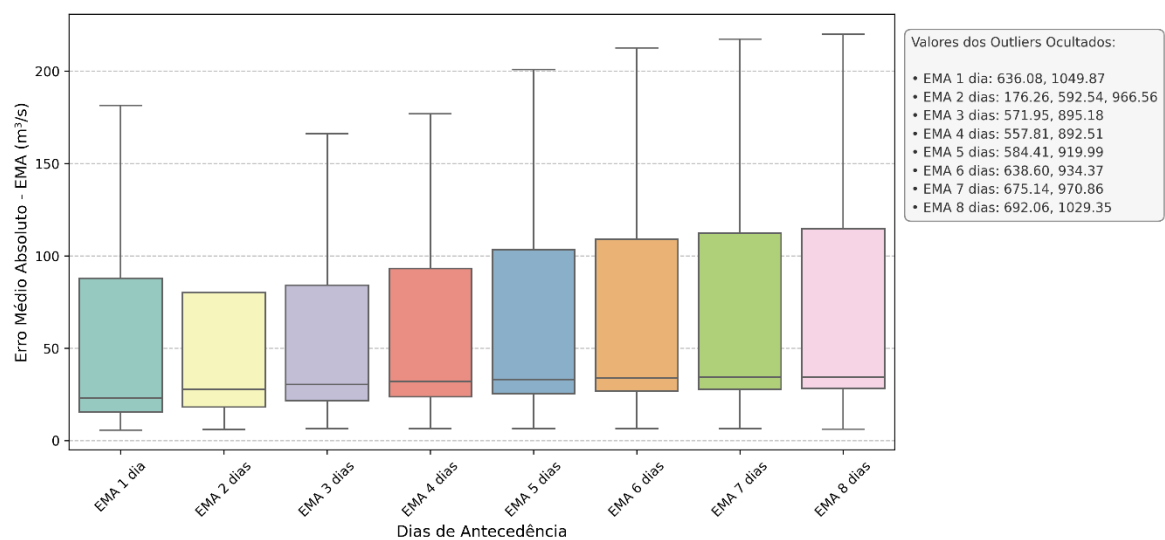
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 51 - Distribuição do Erro Médio Absoluto por dia de antecedência para a bacia do rio Paraíba do Sul



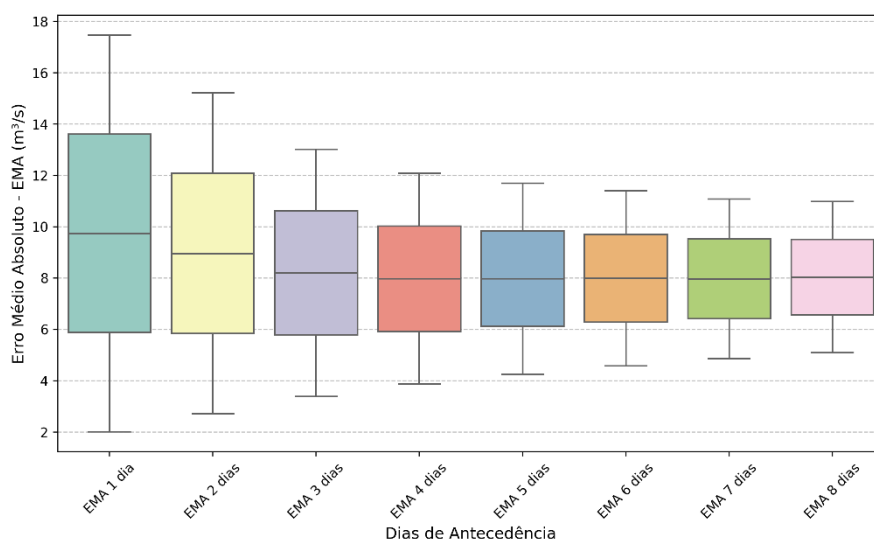
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 52 - Distribuição do Erro Médio Absoluto por dia de antecedência para a bacia do rio Paranaíba



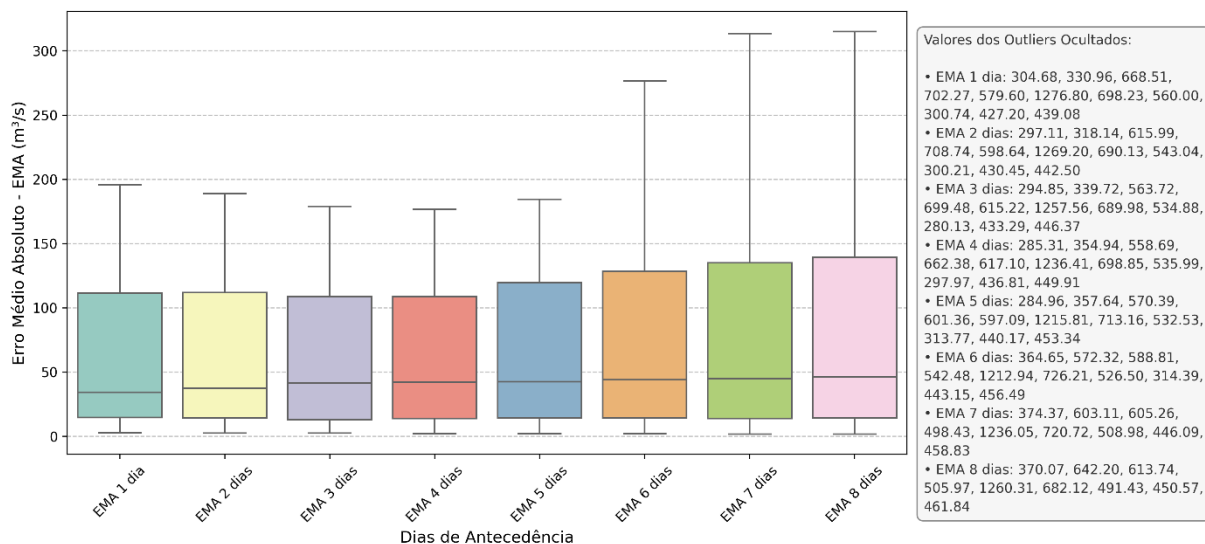
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 53 - Distribuição do Erro Médio Absoluto por dia de antecedência para a bacia do rio Pardo



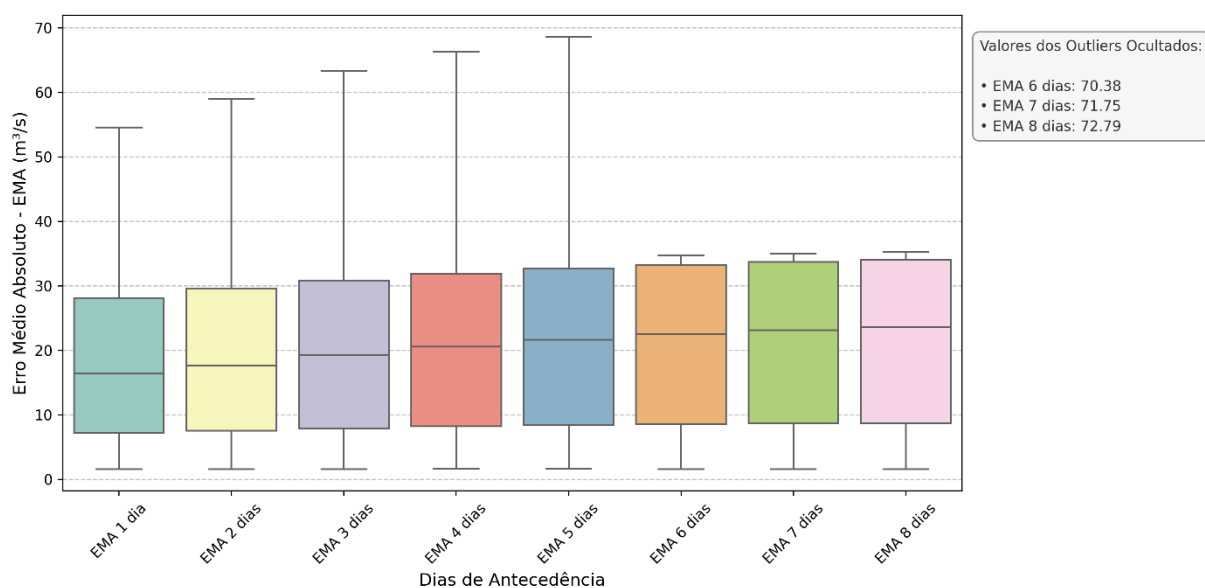
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 54 - Distribuição do Erro Médio Absoluto por dia de antecedência para a bacia do rio São Francisco



Fonte: Elaborado pela autora

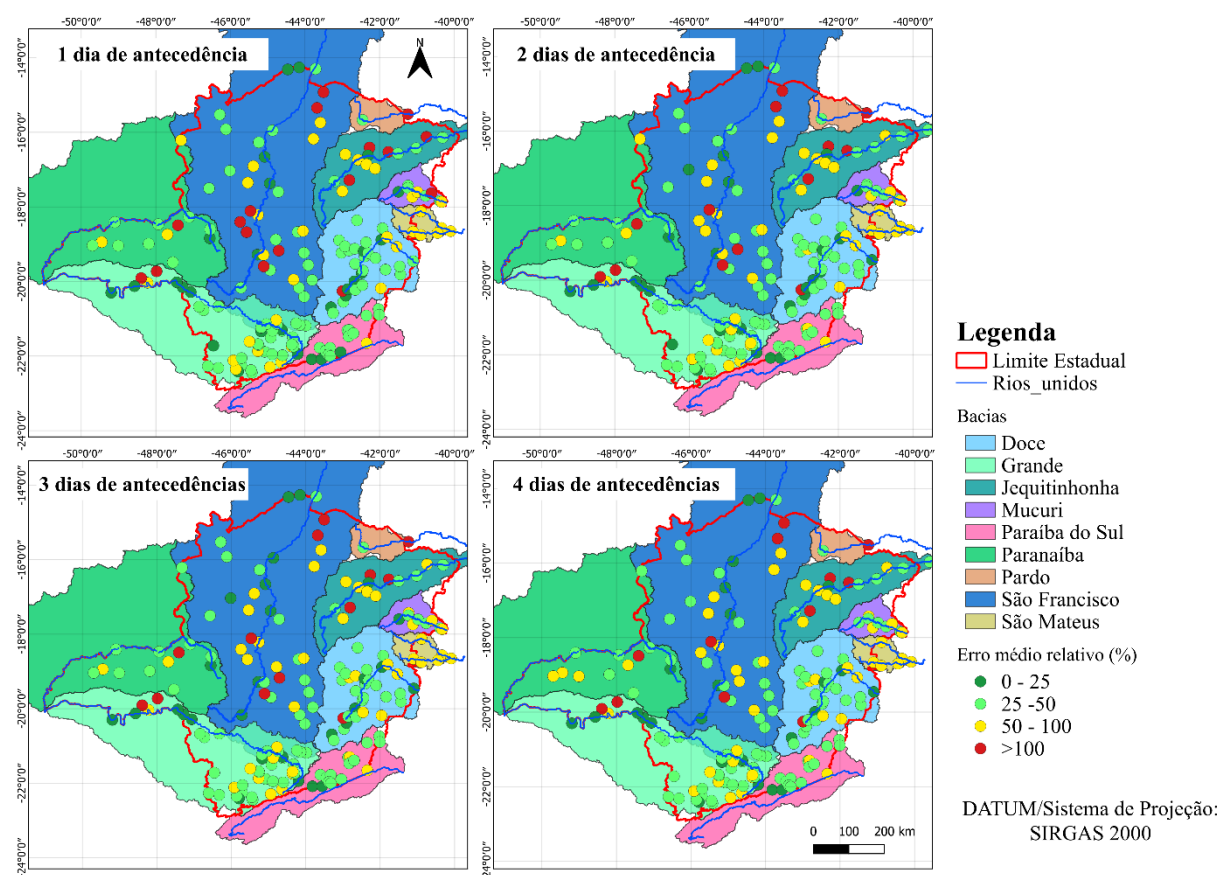
Figura 55 - Distribuição do Erro Médio Absoluto por dia de antecedência para a bacia do rio São Mateus



Fonte: Elaborado pela autora

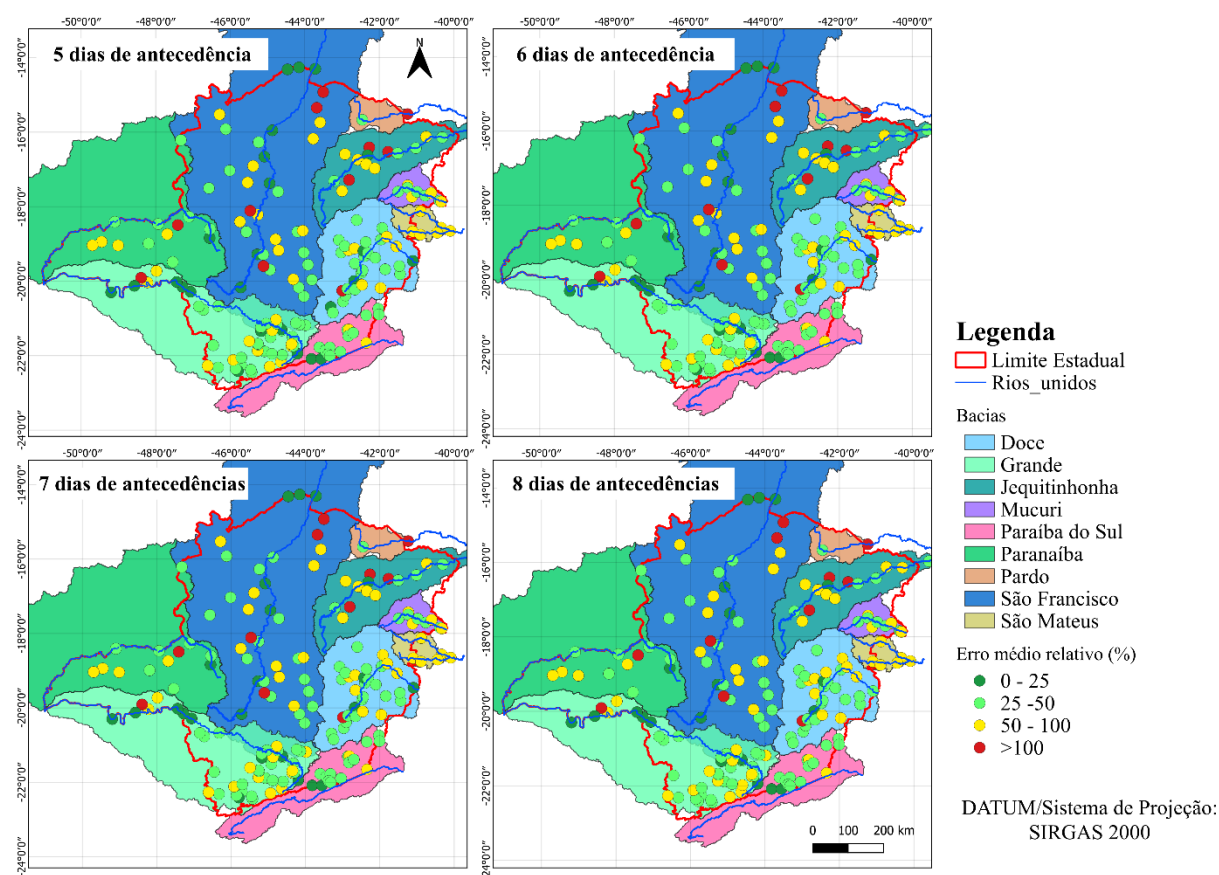
Em termos de EMR, é possível observar que, a maioria das bacias, com exceção da bacia do rio São Mateus, teve um resultado de até 50% nas maiorias dos postos das bacias. Os resultados das análises estatísticas utilizando os índices de desempenho EMR são apresentados, nas Figura 56 e Figura 57, com destaque para os cursos d'água principal das bacias. Complementarmente, a Figura 58 apresenta a porcentagem de recorrência dos diferentes intervalos de EMR para cada bacia.

Figura 56 - Classificação dos valores de EMR para os postos fluviométricos de Minas Gerais
– 1 a 4 dias de antecedência



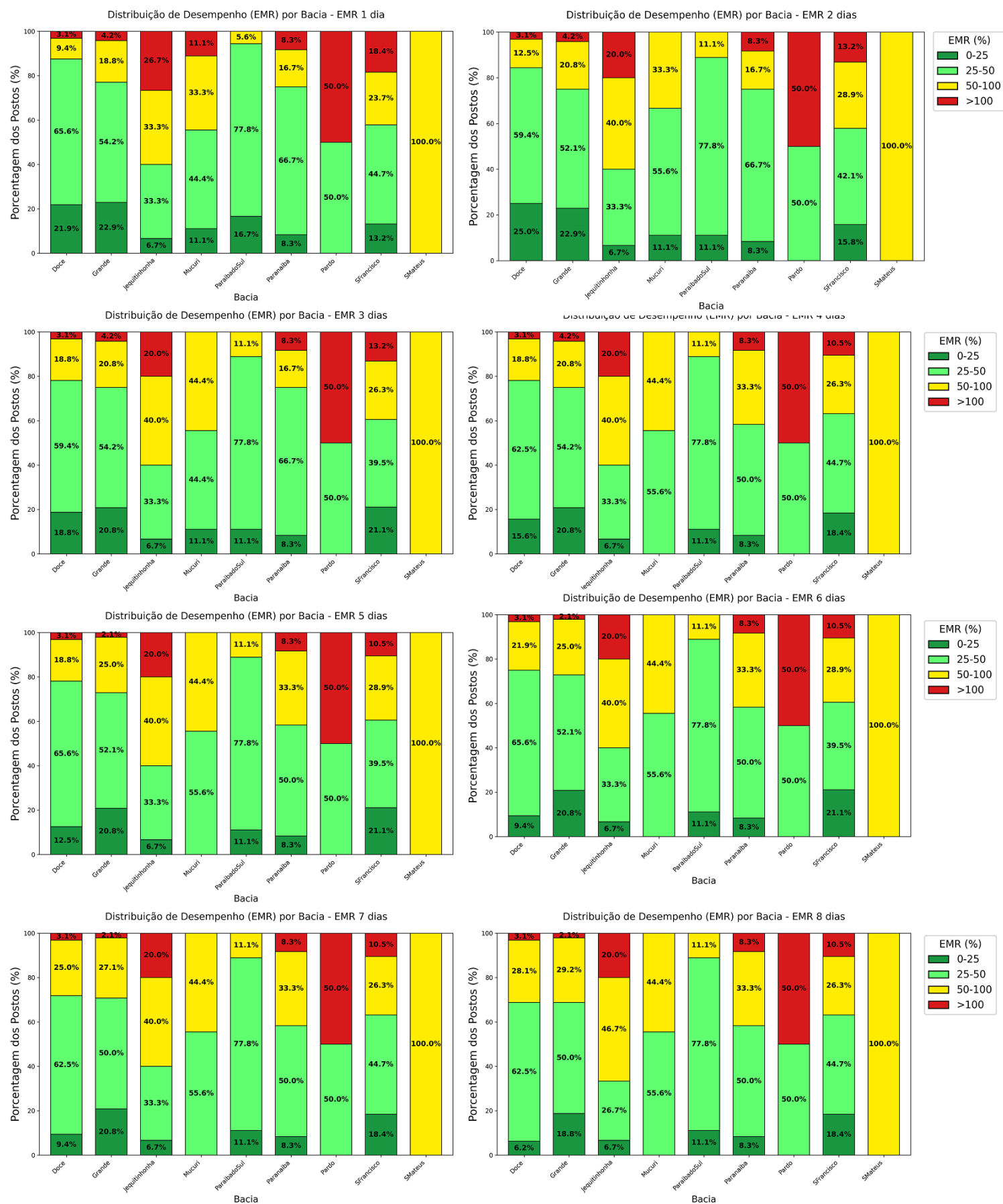
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 57 - Classificação dos valores de EMR para os postos fluviométricos de Minas Gerais
– 5 a 8 dias de antecedência



Fonte: Elaborado pela autora

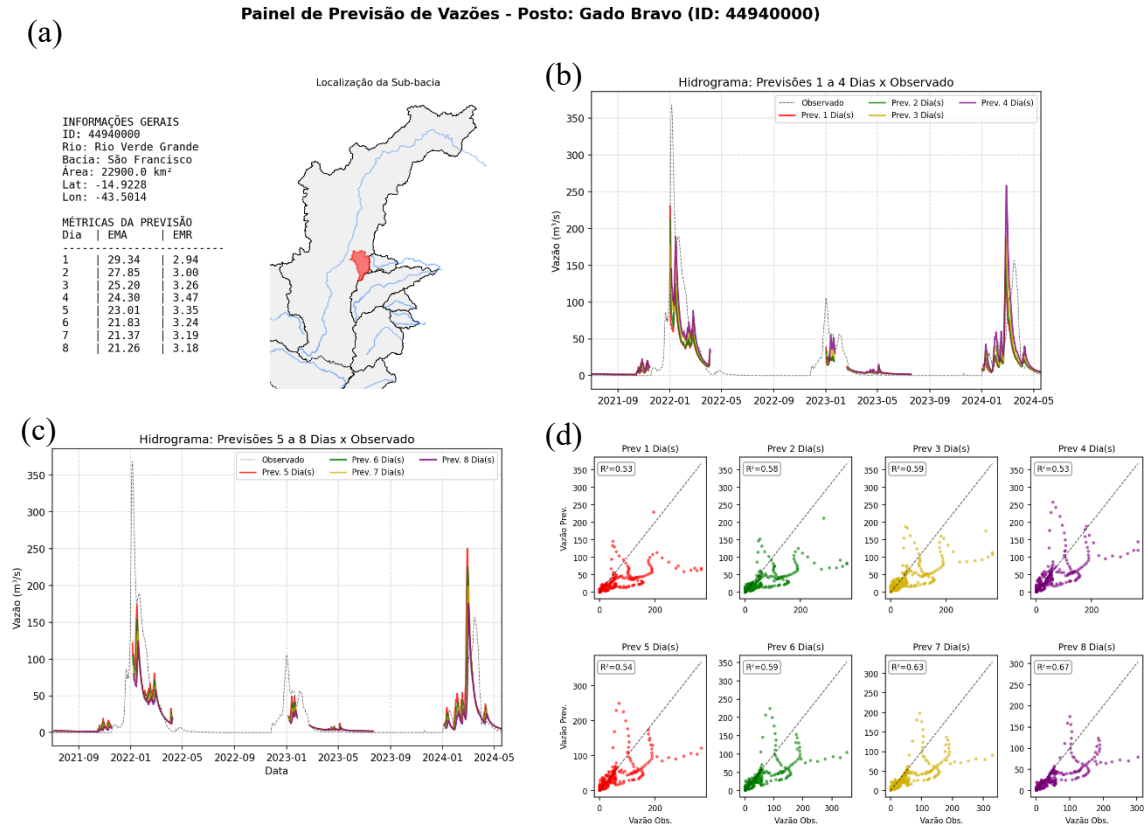
Figura 58 - Distribuição do EMR por dia de antecedência para cada bacia



Fonte: Elaborado pela autora

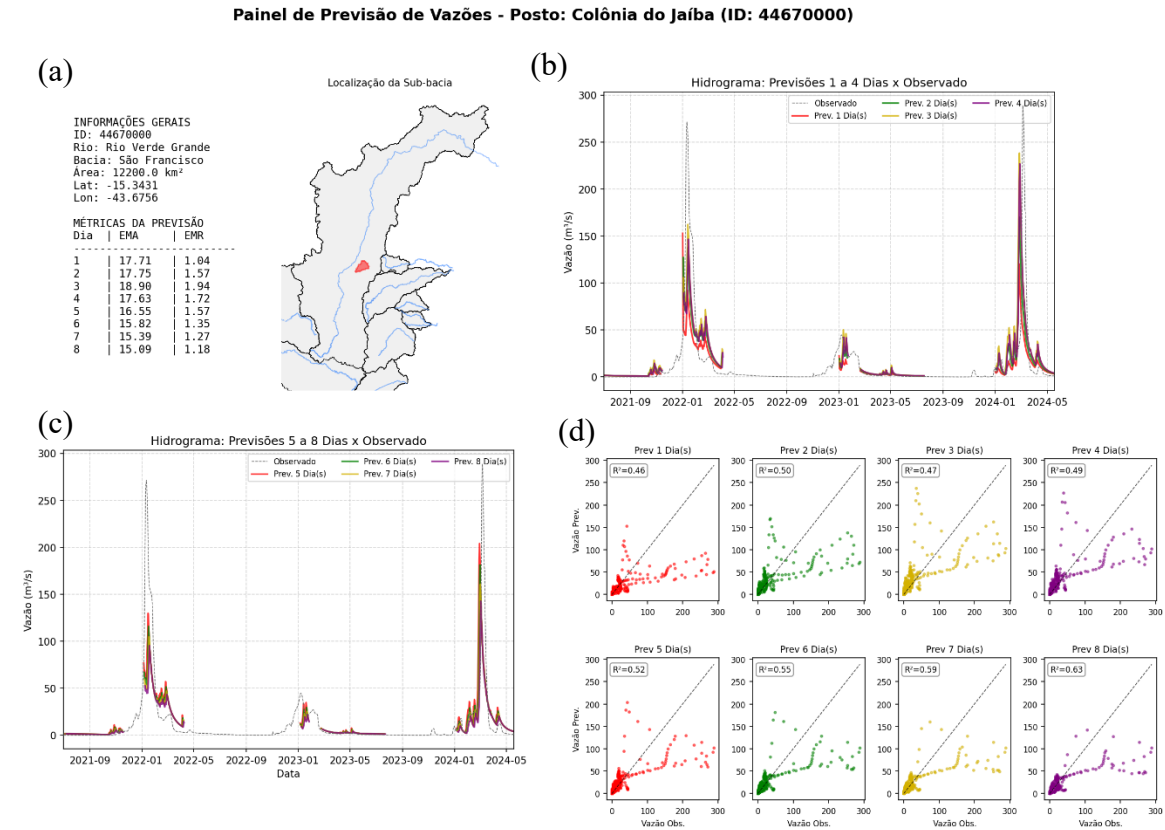
A bacia do São Francisco apresentou o maior número de sub-bacias com erros superiores a 100%. Quanto às sub-bacias de Gado Bravo (Figura 59) e Colônia do Jaíba (Figura 60), ambas são caracterizadas por vazões extremamente reduzidas durante o período de estiagem, com rios próximos da seca no inverno, seguidas por picos de cheia acentuados nos meses de verão. Essa elevada variabilidade hidrológica, associada aos baixos volumes de água característicos dessas sub-bacias, tornou a previsão mais desafiadora para os modelos em todos os horizontes de antecedência, resultando em uma tendência de subestimativa das vazões observadas na maior parte dos casos.

Figura 59 - Vazões observadas e previstas para a sub bacia Gado bravo, no período de 01/07/2021 a 31/12/2024, com antecedência de 1 a 8 dias – (a) informações gerais da subbacia e os valores de EMR para cada dia de antecedência; (b) vazão prevista e observada para um horizonte de 1 a 4 dias; (c) vazão prevista e observada para um horizonte de 5 a 8 dias; (c) correlações entre a chuva prevista e observada para cada dia de antecedência.



Fonte: Elaborado pela autora

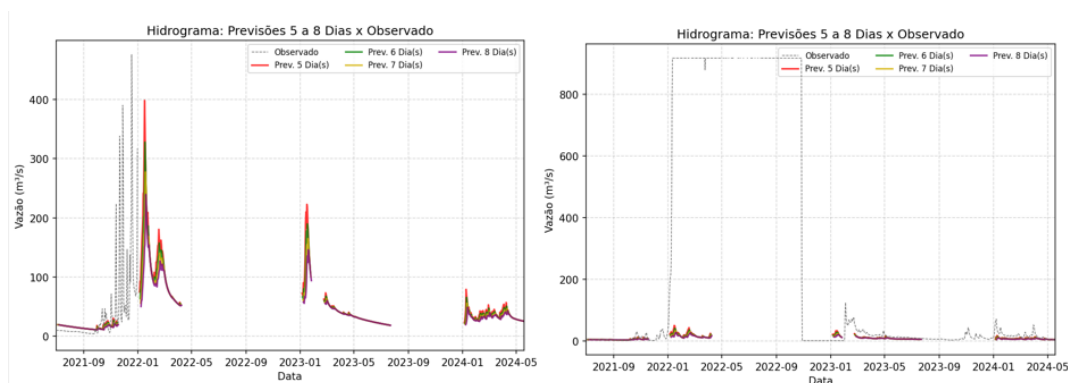
Figura 60 - Vazões observadas e previstas para a sub-bacia Colônia do Jaíba, no período de 01/07/2021 a 31/12/2024, com antecedência de 1 a 8 dias – (a) informações gerais da subbacia e os valores de EMR para cada dia de antecedência; (b) vazão prevista e observada para um horizonte de 1 a 4 dias; (c) vazão prevista e observada para um horizonte de 5 a 8 dias; (c) correlações entre a chuva prevista e observada para cada dia de antecedência.



Fonte: Elaborado pela autora

Com relação às sub-bacias de Porto dos Passarinhos e CGH João de Deus (Figura 61), verificam-se diversas inconsistências no banco de dados fluviométrico, com falhas de medição, principalmente durante o período de estiagem, quando as vazões são mais reduzidas. Dessa forma, o cálculo do EMR foi influenciado predominantemente pelos períodos de ocorrência de picos de vazão, nos quais havia disponibilidade de dados.

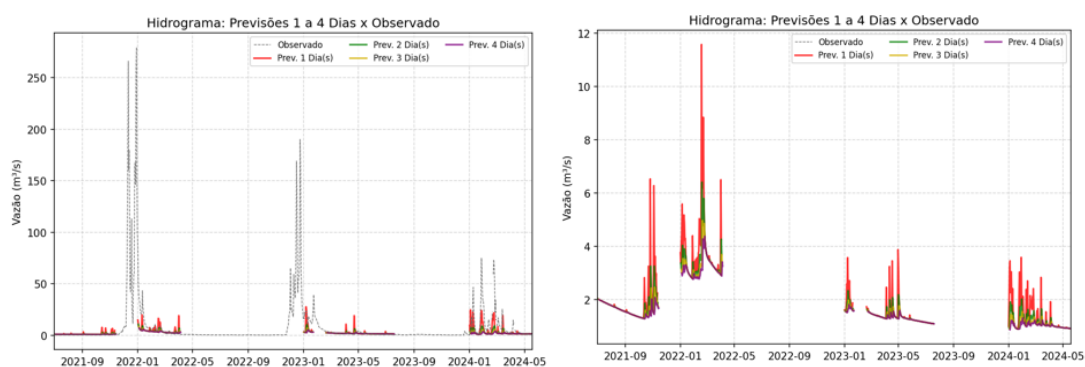
Figura 61 - Hidrograma de vazões observadas e previstas em Porto do Passarinho e CGH João de Deus – (a) informações gerais da subbacia e os valores de EMR para cada dia de antecedência; (b) vazão prevista e observada para um horizonte de 1 a 4 dias; (c) vazão prevista e observada para um horizonte de 5 a 8 dias; (c) correlações entre a chuva prevista e observada para cada dia de antecedência.



Fonte: Elaborado pela autora

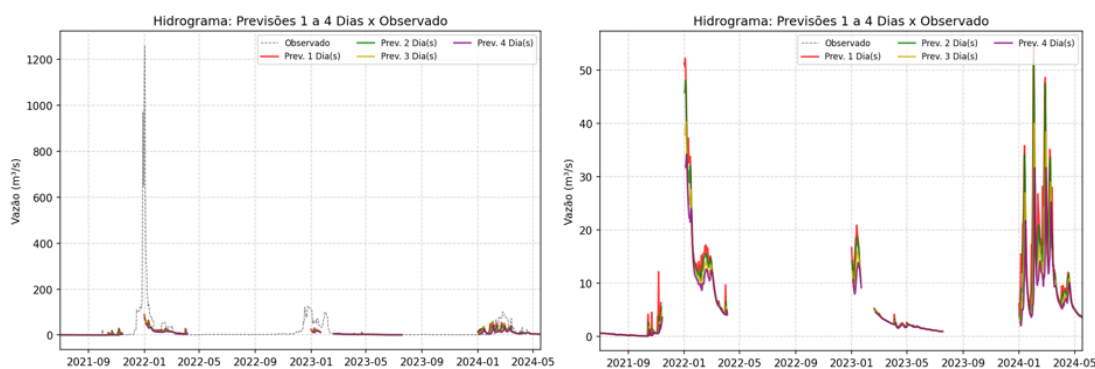
Ao analisar as sub-bacias dos rios Jequitinhonha (Figura 62), Pardo e Mucuri, observa-se um cenário semelhante ao verificado na bacia do São Francisco. A maior parte dessas sub-bacias apresenta redução acentuada das vazões durante o período de estiagem, seguida por picos expressivos na estação chuvosa. Por estarem inseridas em regiões de clima com sazonalidade bem definida, seus regimes hidrológicos apresentam comportamento semelhante. Além disso, uma parcela considerável dessas sub-bacias também possui falhas nos registros fluviométricos, o que pode influenciar os resultados das análises estatísticas

Figura 62 - Hidrograma de vazões observadas e previstas na bacia do rio Jequitinhonha (Fazenda cajueiro – lado esquerdo e Minas Novas – lado direito)



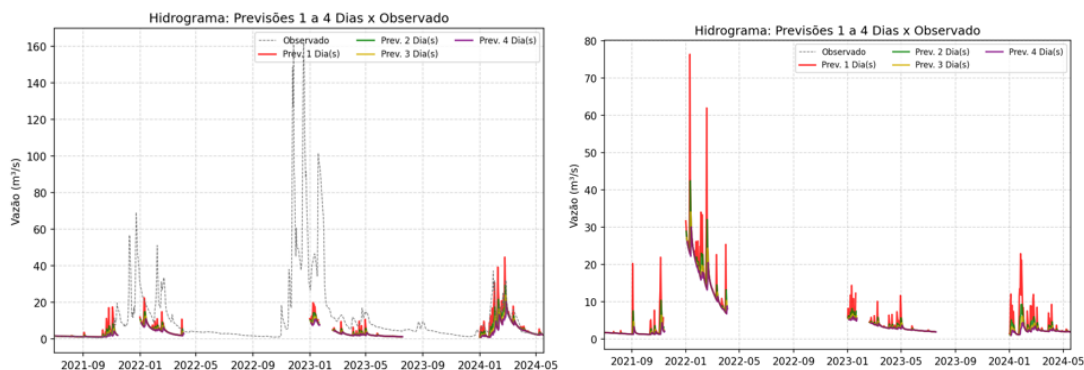
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 63 - Hidrograma de vazões observadas e previstas na bacia do rio Pardo (Cândido Sales – lado esquerdo e CH Morais Jusante – lado direito)



Fonte: Elaborado pela autora

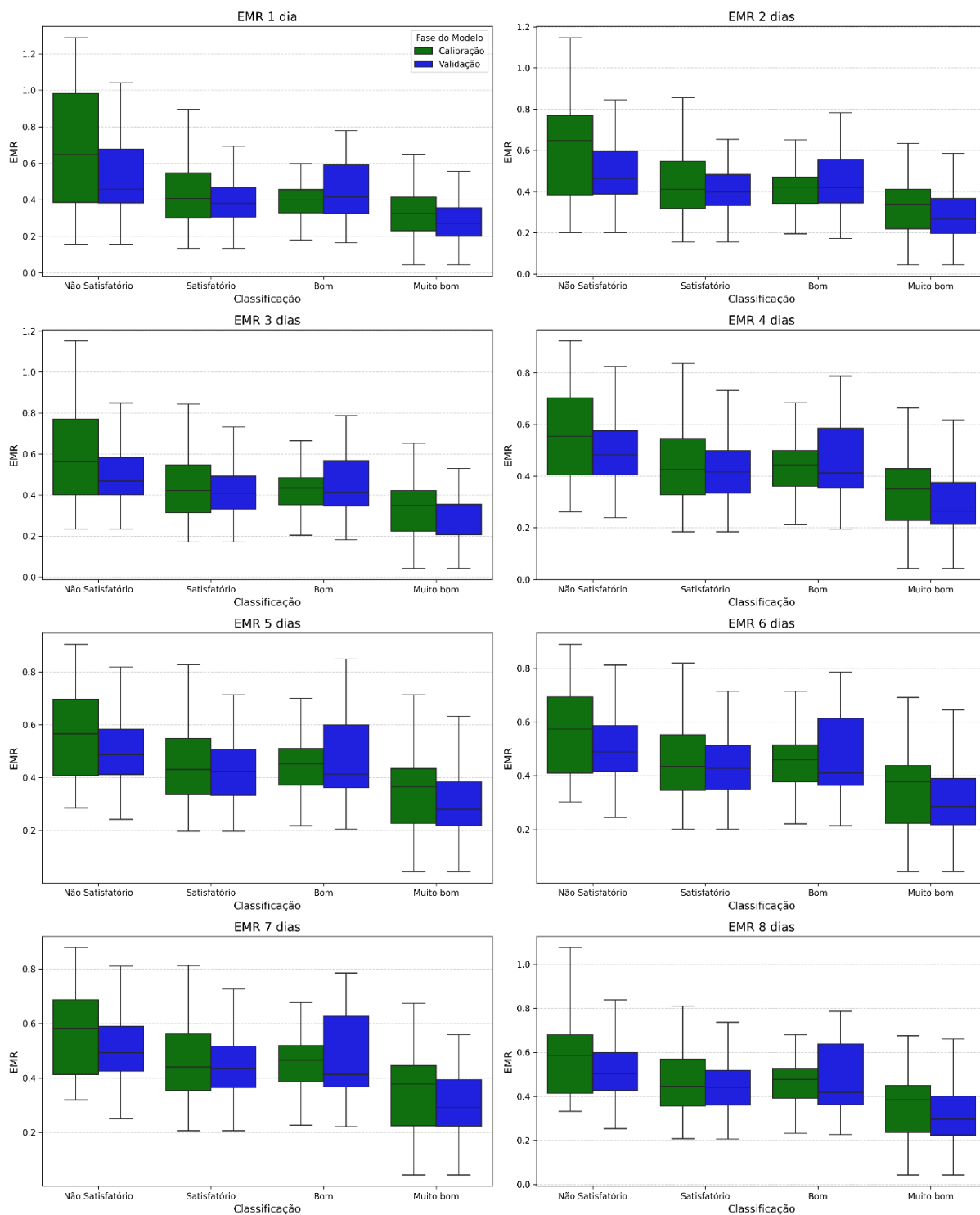
Figura 64 - Hidrograma de vazões observadas e previstas na bacia do rio Mucuri (Francisco Sá – lado esquerdo e Pedro do Pampã – lado direito)



Fonte: Elaborado pela autora

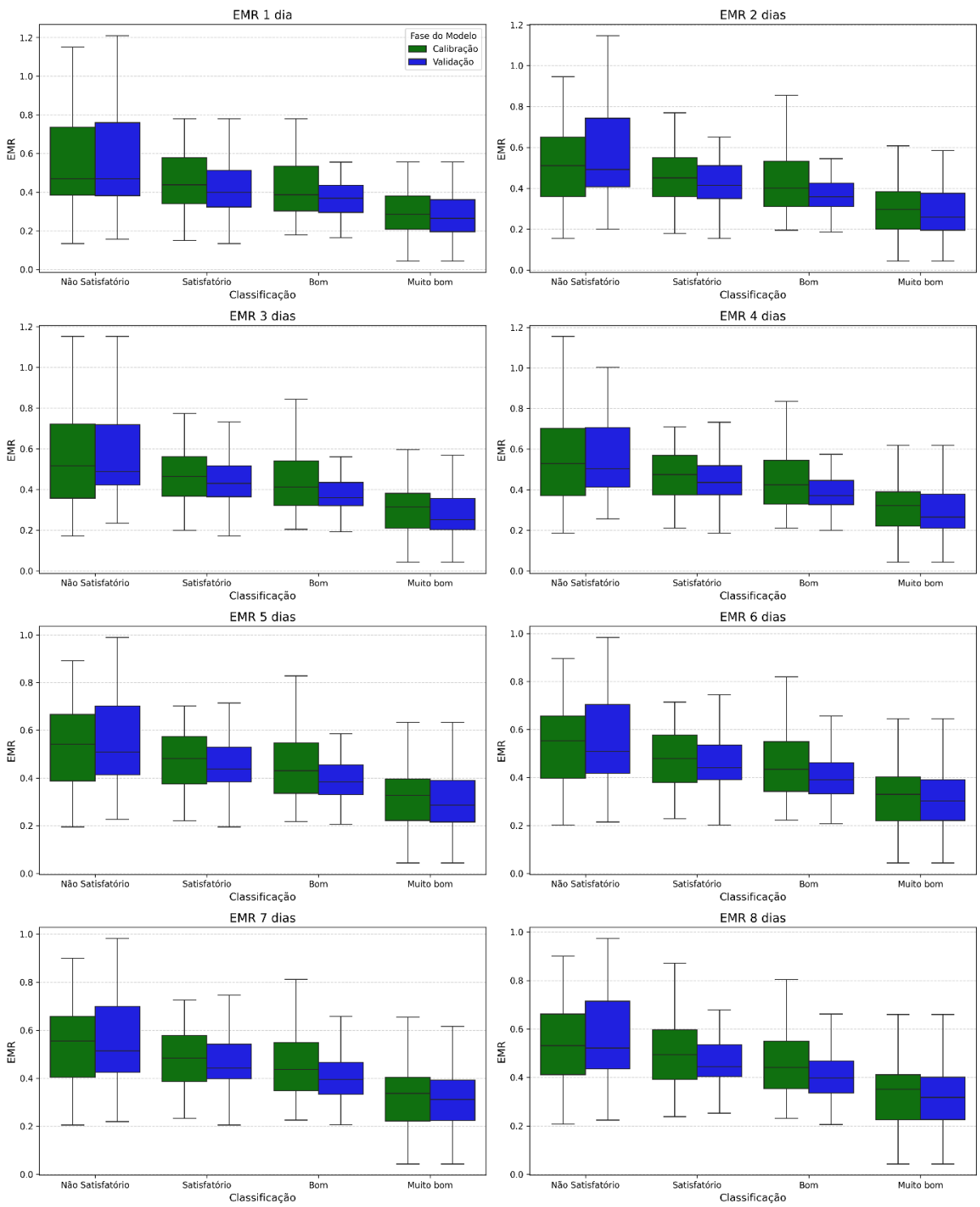
Os piores desempenhos em termos de EMR tenderam a ocorrer em sub-bacias nas quais o modelo MGB apresentou desempenho insatisfatório tanto na etapa de calibração quanto na de validação, com valores de NS e NSlog inferiores a 0,5. Conforme ilustrado nas Figura 65 e Figura 66, observa-se, por meio dos boxplots, que as sub-bacias classificadas com desempenho muito bom apresentaram menores valores de mediana do EMR, além de menor dispersão dos resultados, evidenciada pelos intervalos interquartílicos mais reduzidos

Figura 65 - Distribuição do EMR para cada faixa de classificação do NS (NS calibração e NS validação)



Fonte: Elaborado pela autora

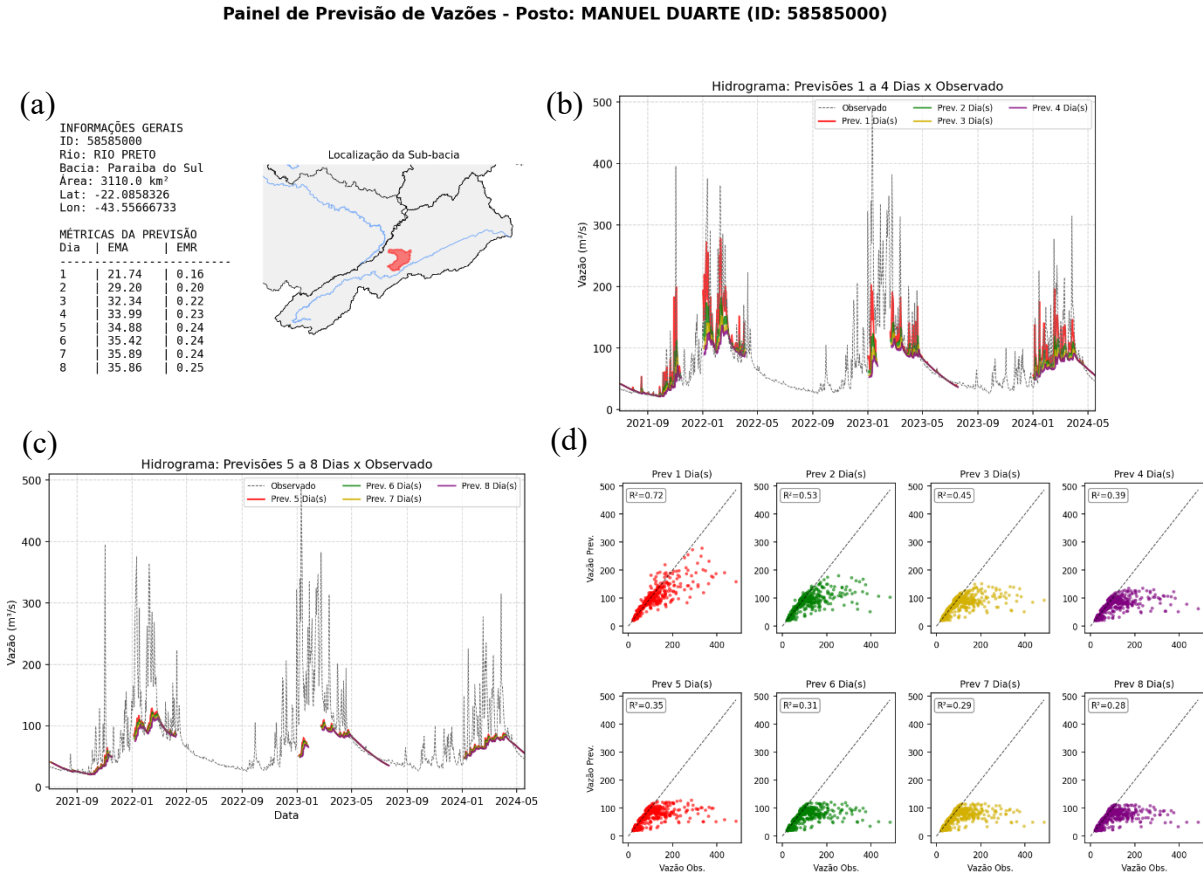
Figura 66 - Distribuição do EMR para cada faixa de classificação do NSlog (NSlog calibração e NSlog validação)



Fonte: Elaborado pela autora

Um exemplo desse comportamento foi observado na sub-bacia Manuel Duarte, pertencente à bacia do rio Paraíba do Sul (Figura 67). A previsão com antecedência de um dia foi a que melhor representou a dinâmica de elevação das vazões. No entanto, os picos de vazão permaneceram subestimados, possivelmente em decorrência da tendência do modelo ETA em subestimar os volumes de precipitação, comportamento que pode ter sido propagado para as vazões simuladas pelo modelo hidrológico. Além disso, observou-se que, à medida que o horizonte de antecedência aumentava, a magnitude dos picos de vazão previstos era progressivamente reduzida.

Figura 67 - Vazões observadas e previstas para a sub bacia Manuel Duarte, no período de 01/07/2021 a 31/12/2024, com antecedência de 1 a 8 dias – (a) informações gerais da subbacia e os valores de EMR para cada dia de antecedência; (b) vazão prevista e observada para um horizonte de 1 a 4 dias; (c) vazão prevista e observada para um horizonte de 5 a 8 dias; (c) correlações entre a chuva prevista e observada para cada dia de antecedência.



Fonte: Elaborado pela autora

Para as sub-bacias que possuem reservatórios, como aquelas associadas às usinas hidrelétricas, observa-se um comportamento distinto nas previsões de vazão para os maiores horizontes de antecedência, conforme ilustrado na Figura 68 e Figura 69. Embora o modelo ETA apresente menor desempenho na estimativa da precipitação para antecedências de até oito dias, as vazões simuladas permaneceram bem representadas, mantendo boa concordância com as observações. Isso ocorre porque a vazão depende principalmente da água que já precipitou e ainda está em propagação na rede de drenagem, além da influência das defluências dos reservatórios a montante. Dessa forma erros na previsão das chuvas futuras tendem a exercer menor influência sobre a previsão de vazão, uma vez que o comportamento do sistema é fortemente condicionado pelas condições hidrológicas já estabelecidas.

Figura 68 - Vazões observadas e previstas para a sub bacia UHE Porto Colômbia, no período de 01/07/2021 a 31/12/2024, com antecedência de 1 a 8 dias – (a) informações gerais da subbacia e os valores de EMR para cada dia de antecedência; (b) vazão prevista e observada para um horizonte de 1 a 4 dias; (c) vazão prevista e observada para um horizonte de 5 a 8 dias; (c) correlações entre a chuva prevista e observada para cada dia de antecedência.

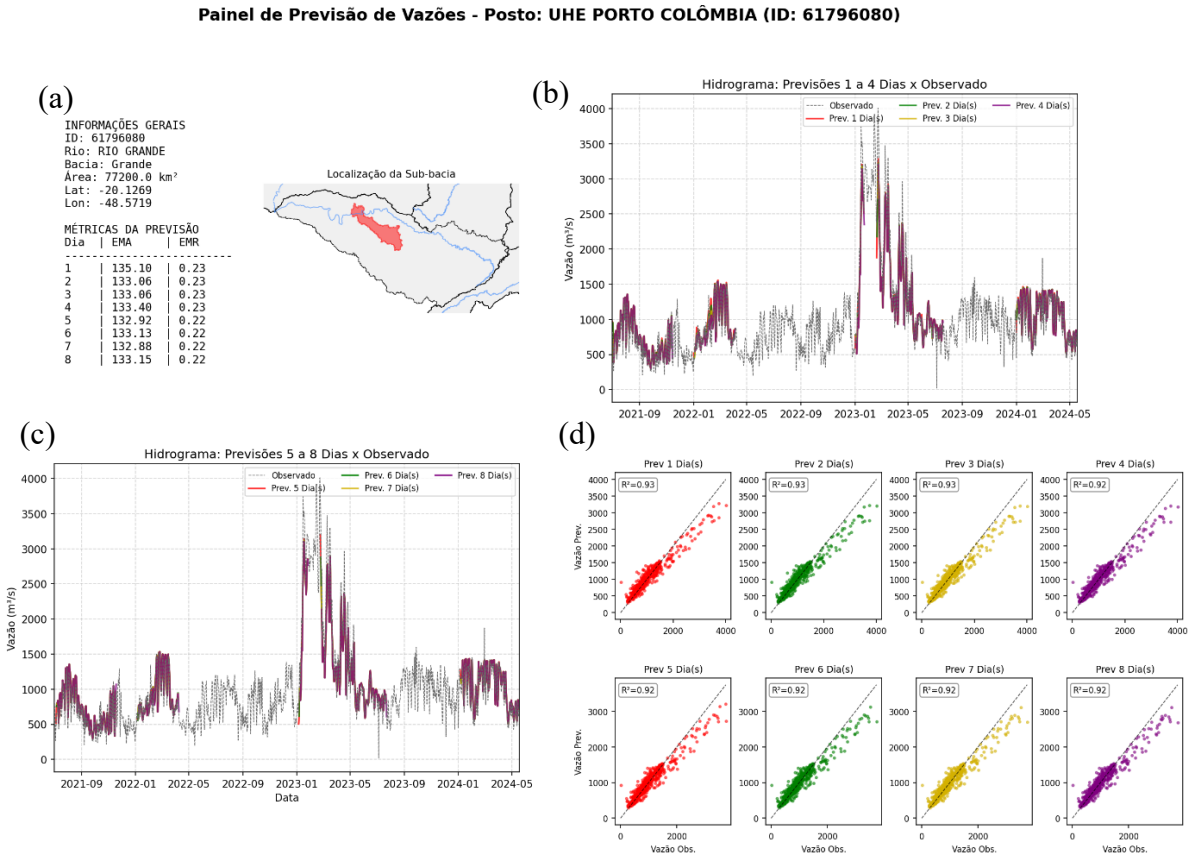
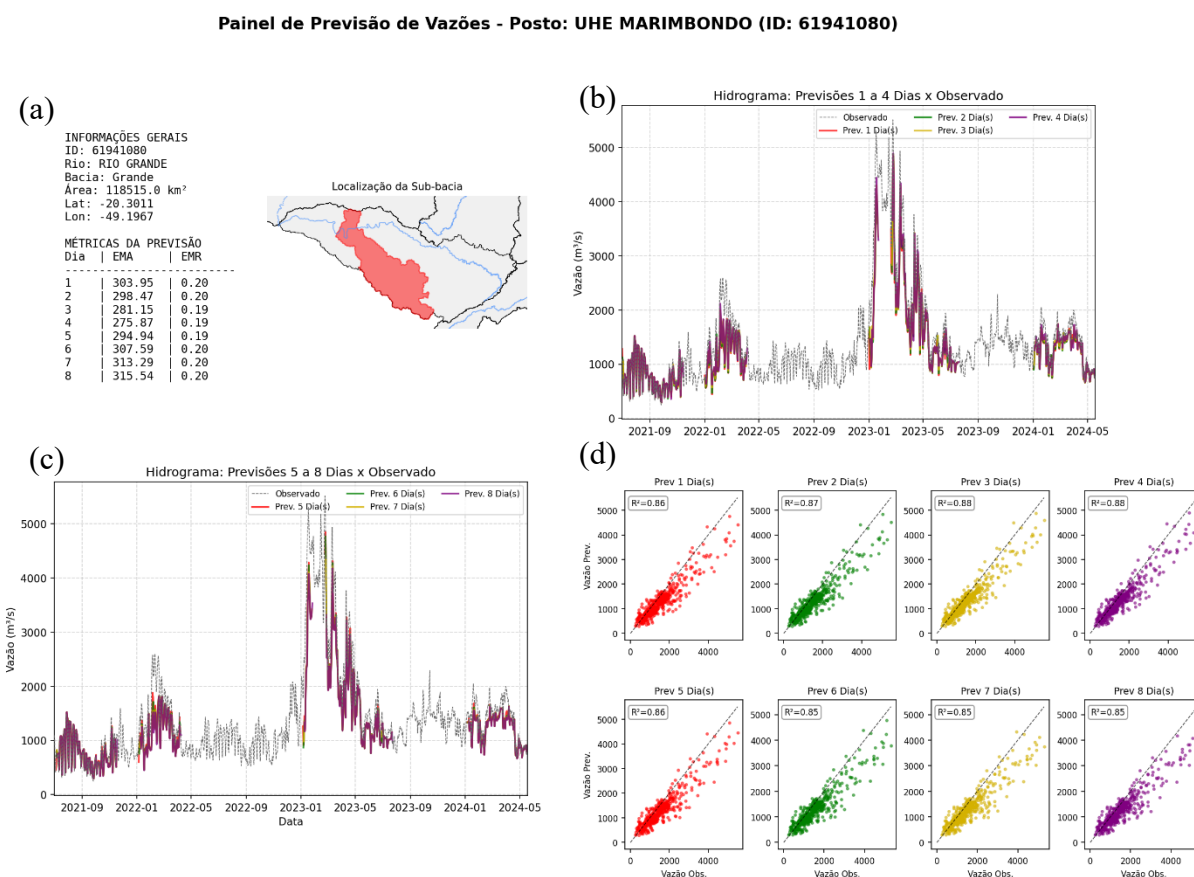


Figura 69 - Vazões observadas e previstas para a sub bacia UHE Marimbondo, no período de 01/07/2021 a 31/12/2024, com antecedência de 1 a 8 dias – (a) informações gerais da subbacia e os valores de EMR para cada dia de antecedência; (b) vazão prevista e observada para um horizonte de 1 a 4 dias; (c) vazão prevista e observada para um horizonte de 5 a 8 dias; (c) correlações entre a chuva prevista e observada para cada dia de antecedência.

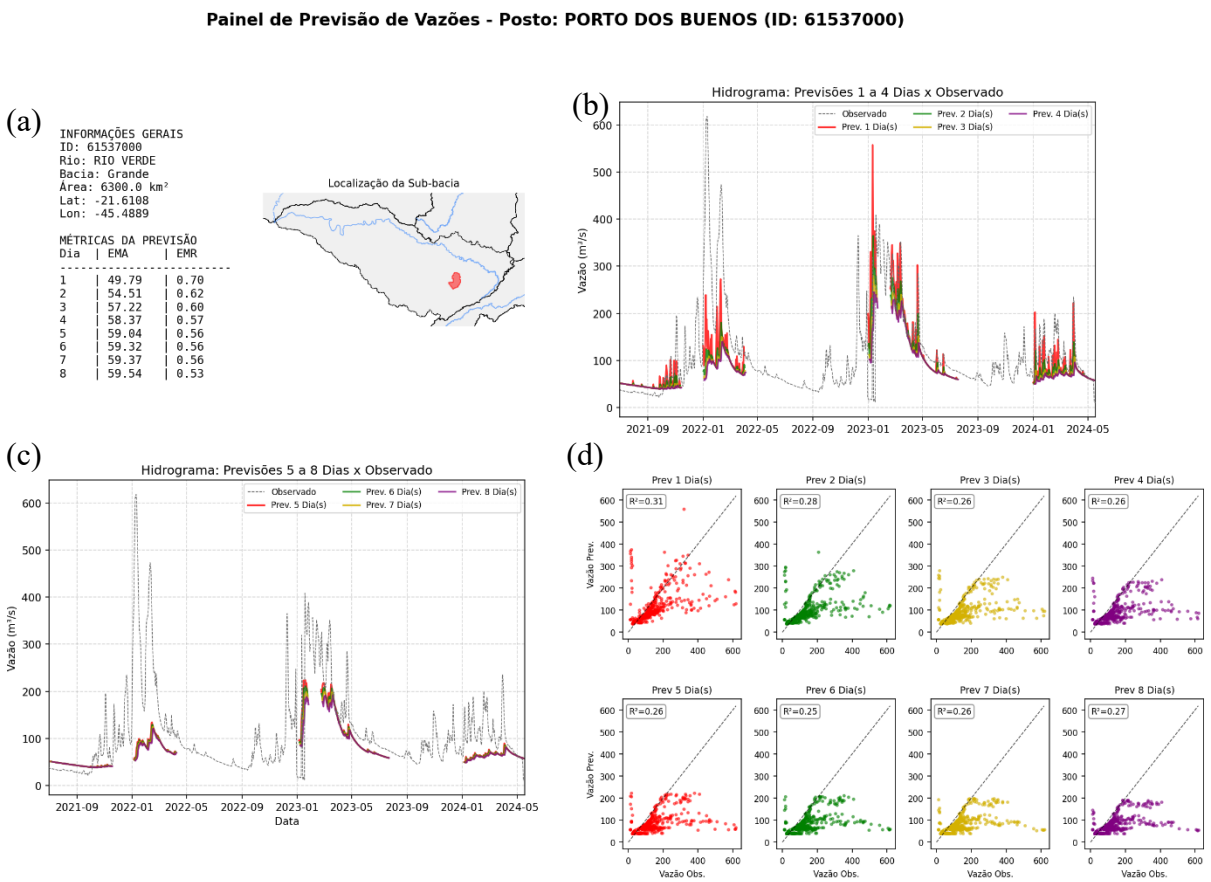


Apesar da tendência de melhores previsões ocorrerem em sub-bacias nas quais o modelo MGB apresentou desempenho muito bom ($NS > 0,75$), foram observadas algumas exceções. Um exemplo é a sub-bacia Porto dos Buenos, pertencente à bacia do rio Grande, na qual o modelo apresentou bom desempenho tanto na calibração quanto na validação. No entanto, ao analisar o hidrograma das vazões previstas, observa-se que os picos de vazão foram subestimados e que, em determinados períodos, também ocorreram subestimações e superestimações das vazões de menor magnitude.

Esse resultado evidencia que um bom desempenho do modelo hidrológico não garante, por si só, previsões de vazão precisas. Embora o modelo represente adequadamente a transformação da precipitação em vazão, a qualidade da previsão continua fortemente dependente da precipitação utilizada como dado de entrada. Assim, erros na localização ou na

intensidade das chuvas previstas pelo modelo meteorológico podem ser propagados para as vazões simuladas, comprometendo a qualidade das previsões mesmo em sub-bacias onde o desempenho hidrológico é considerado muito bom.

Figura 70 - Vazões observadas e previstas para a sub bacia Porto dos Buenos, no período de 01/07/2021 a 31/12/2024, com antecedência de 1 a 8 dias – (a) informações gerais da subbacia e os valores de EMR para cada dia de antecedência; (b) vazão prevista e observada para um horizonte de 1 a 4 dias; (c) vazão prevista e observada para um horizonte de 5 a 8 dias; (c) correlações entre a chuva prevista e observada para cada dia de antecedência.



Como material complementar, o repositório (disponível em: <<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17639.61607>>) disponibiliza um painel específico para cada sub-bacia analisada. Esses painéis apresentam informações gerais da sub-bacia, as métricas de desempenho das previsões, os hidrogramas de vazão prevista e observada e os gráficos de correlação, fornecendo uma visão detalhada do desempenho do modelo em cada unidade de análise.

6. CONCLUSÕES

No presente trabalho, foi realizado o ajuste do Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB) para as principais bacias hidrográficas do estado de Minas Gerais. O objetivo da pesquisa foi avaliar o desempenho da integração dos modelos Eta e MGB-IPH na geração de séries de previsão de vazões de curto prazo para as principais bacias do estado de Minas Gerais. De modo geral, os resultados indicaram que as previsões foram satisfatórias e conseguiram representar a dinâmica de elevações das vazões. Sendo assim, essa integração apresenta potencial para subsidiar e complementar a gestão dos recursos hídricos no estado de Minas Gerais. No entanto, também foram identificadas limitações que influenciam a acurácia das previsões e que deverão ser consideradas em trabalhos futuros, visando ao aprimoramento do sistema de previsão.

No ajuste do modelo hidrológico, para todas as bacias, com exceção da bacia do rio Pardo, foram obtidos valores de NS superiores a 0,60, indicando bom desempenho do modelo na simulação das vazões. Entre as bacias avaliadas, a do rio São Francisco apresentou o melhor desempenho, com mediana do NS próxima de 0,80. Esse resultado indica que grande parte dos postos fluviométricos dessa bacia apresentou desempenho classificado como muito bom, embora ainda sejam observados alguns casos isolados com valores reduzidos de NS.

Para algumas bacias localizadas na região norte de Minas Gerais, foi observada maior dificuldade do modelo em representar adequadamente as vazões. Essa limitação está relacionada às características climáticas da região, predominantemente semiárida, onde o regime hidrológico é marcado por elevada irregularidade, com ocorrência de cheias intensas durante o período chuvoso e vazões muito reduzidas ou próximas de zero na estação seca. Essa elevada variabilidade dificulta a representação dos processos hidrológicos pelo modelo. Como consequência, alguns postos localizados nas bacias dos rios São Francisco, Pardo, Jequitinhonha e Mucuri apresentaram desempenho inferior em relação às demais áreas avaliadas.

Na região sul de Minas Gerais também foi observada uma quantidade considerável de postos com baixo desempenho na calibração. Essa região é caracterizada por elevadas altitudes e relevo mais acidentado, fatores que favorecem uma resposta hidrológica mais rápida das bacias. Nesses casos a água da chuva escoar rapidamente pelas encostas e pela calha em questão de horas. Sendo assim o modelo não consegue capturar aquele pico rápido e agudo, resultando em um NS baixo, pois ele subestima a cheia e erra o tempo da vazão de base logo em seguida.

Outra limitação encontrada na etapa de ajuste do modelo, foi a presença de grandes falhas nos bancos de dados de vazão. Em algumas bacias, a disponibilidade de dados foi suficiente para a obtenção de uma calibração satisfatória do MGB. Entretanto, em outras, a escassez e as inconsistências nas séries observadas comprometeram o desempenho do modelo, bem como a avaliação mais detalhada dos eventos hidrológicos, que depende da disponibilidade de dados observados de boa qualidade.

Além disso, embora as estimativas de precipitação do produto MERGE, desenvolvido pelo CPTEC/INPE, sejam amplamente recomendadas na literatura para aplicação em modelos hidrológicos, elas podem apresentar erros e vieses que comprometem o desempenho das simulações, especialmente em eventos de chuva intensa, precipitação convectiva localizada e em bacias de menor porte ou com maior complexidade hidrológica. Dessa forma, recomenda-se que trabalhos futuros avaliem a aplicação de métodos de correção das estimativas de precipitação, como modelos empíricos para redução de erros sistemáticos e resíduos, antes de sua utilização como dado de entrada no modelo hidrológico.

Na etapa de previsão de vazões, observou-se uma tendência de melhor desempenho nas sub-bacias em que o modelo hidrológico apresentou melhores resultados durante a calibração, embora algumas exceções tenham sido identificadas. De modo geral, para todas as sub-bacias que não sofrem influência direta da operação de reservatórios hidrelétricos, as vazões previstas apresentaram tendência à subestimação. Esse comportamento está provavelmente associado às precipitações previstas pelo modelo atmosférico Eta, que também apresentaram tendência à subestimação em parte dos eventos analisados.

Apesar desse viés, a dinâmica de ascensão das vazões foi representada de forma satisfatória para horizontes de previsão de até quatro dias, evidenciando que o sistema foi capaz de antecipar a ocorrência dos eventos de cheia. Para horizontes superiores, observou-se redução gradual do desempenho, com aumento da subestimação e da incerteza das previsões.

Além disso, foram identificadas falhas nos dados de precipitação obtidos do modelo Eta durante períodos de estiagem. Em razão dessas inconsistências, as análises foram concentradas nos eventos de cheia, o que pode ter influenciado os valores finais das métricas de desempenho, como o Erro Médio Relativo (EMR) e o Erro Médio Absoluto (EMA).

Com relação à avaliação da precipitação prevista pelo modelo atmosférico ETA, poderiam ter sido empregadas análises estatísticas mais abrangentes para quantificar a correspondência entre a precipitação prevista e a observada, complementando a análise

qualitativa realizada por meio dos gráficos. Essa abordagem permitiria identificar de forma mais objetiva erros sistemáticos e vieses nas previsões, possibilitando a aplicação de métodos de correção, como modelos empíricos, antes da utilização dessas estimativas como entrada no modelo hidrológico. Consequentemente, espera-se que esse procedimento contribua para o aumento da acurácia das previsões de vazão.

Outro aspecto que pode ser explorado em trabalhos futuros é a avaliação do desempenho do modelo hidrológico utilizando como entrada a precipitação observada, por meio de métricas como o Erro Médio Absoluto (EMA) e o Erro Médio Relativo (EMR). Essa análise permitiria separar, de forma mais clara, os erros associados ao modelo hidrológico daqueles decorrentes das previsões de precipitação do modelo atmosférico. Além disso, recomenda-se a comparação do desempenho das previsões de vazão obtidas a partir de diferentes modelos atmosféricos. Essa abordagem possibilitaria identificar a contribuição de cada modelo para os erros observados, bem como determinar qual combinação entre modelo atmosférico e modelo hidrológico proporciona os melhores resultados para a previsão de vazões.

7. REFERÊNCIAS

ALVARES, Clayton Alcarde et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ANDERSON, M. L.; CHEN, Z.-Q.; KAVVAS, M. L.; FELDMAN, A. Coupling HEC-HMS with Atmospheric Models for Prediction of Watershed Runoff. **Journal of hydrologic engineering**, , v. 7, n.4, p. 312-318, 2002.

ANEEL. **Mapa dos Empreendimentos de Geração de Energia Elétrica**. Disponível em: https://sigel.aneel.gov.br/portal/home/item.html?id=45374c61bd3e40e3a484878003fae937&utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 5 dez. 2025.

ANJOS, F. H.; SILVA, T. C.; COSTA, M.J.P. **Estrutura produtiva de Minas Gerais (MG): uma análise microrregional para os anos de 2007 e 2014**. In: Encontro da Nacional de Economia Industrial e Inovação, 1., São Paulo. Anais... 2016. p. 497-518.

ARAUJO, Amanda Sousa. **Calibração do modelo MGB-IPH na bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró**. Natal, RN, 2017. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2017. 18p

BASHER, R. Global early warning systems for natural hazards: systematic and peoplecentered. **Philosophical Transactions A**, v. 364, n.1845, p. 2167-2182, 2006

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Classificação e codificação brasileira de desastres (Cobrade)**: categoria, grupo, subgrupo, tipo, subtipo. Brasília: Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, 2012.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Secretaria de Proteção e Defesa Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil. **Atlas Digital de Desastres no Brasil**. Brasília: MIDR, 2023.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Secretaria de Proteção e Defesa Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil. **Atlas Digital de Desastres no Brasil**. Brasília: MIDR, 2025.

BOZZINI, P. L. **Desempenho de sistemas complexos de reservatórios com previsão de vazão derivada de modelos climáticos regionais**. 2019. 85p. Dissertação (Mestrado em ciências) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

CATALDI, M. *et al.* Análise das Previsões de Precipitação Obtidas com a Utilização do Modelo Eta como Insumo para Modelos de Previsão Semanal de Vazão Natural. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 12, n.3, p. 5-12, 2007.

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS. **Lançada ferramenta de previsão de inundações que irá aprimorar monitoramento e emissão de alertas do Cemaden**. Brasília: Cemaden, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/cemaden/pt-br/assuntos/noticias-cemaden/lancada-ferramenta-de->

previsao-de-inundacoes-que-ira-aprimorar-monitoramento-e-emissao-de-alertas-do-cemaden. Acesso em: 29 out. 2025.

Chuva destrói parte de BH; MG tem 55 mortos em 6 dias. G1 Minas. Belo Horizonte, 29 jan. 2020. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2020/01/29/apos-mais-um-temporal-com-enchentes-bh-e-regiao-metropolitana-contabilizam-mais-estragos.ghml>>. Acesso em: 17 out. 2025.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS MUNICÍPIOS - CNM. **Estudo: panorama dos desastres no Brasil – 2013 a 2024.** Brasília: CNM, 2025. Disponível em: <https://cnm.org.br/biblioteca/exibe/15657>. Acesso em: 17 out. 2025.

COELHO, C.A.S., DE OLIVEIRA, C.P., AMBRIZZI, T. *et al.* The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. **Clim Dyn** v. 6, p. 3737–3752, 2016.

COELHO FILHO, José Alexandre Pinto *et al.* Operação do sistema de alerta hidrológico da bacia do rio Doce – período 2020-2021. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, n. 24, 2021, Belo Horizonte, **Anais...** 2021. p. 1-10.

COLLIER, C.G.; KRZYZYSZTOFOWICZ, R. Quantitative precipitation forecasting. **Journal of Hydrology**. V.239, p.1-2. 2000.

COLLISCHONN, W.; ALLASIA, D. G.; SILVA, B. C.; TUCCI, C. E. M. The MGB-IPH model for largescale rainfall-runoff modelling. **Hydrological Sciences Journal**, v. 52, n. 5, p. 878-895, 2007

COLLISCHONN, W. *et al.* Medium-range reservoir inflow predictions based on quantitative precipitation forecasts. **Journal of Hydrology**, v. 344, p. 112-122, 2007.

COLLISCHONN, W.; BRAVO, J. M.; SILVA, B. C.; RODRIGUEZ, D. A. Modelagem hidrológica. In: LIMA, J. W. M.; COLLISCHONN, W.; MARENGO, J. A. (orgs.) **Efeitos das mudanças climáticas na geração de energia elétrica**. 1 ed. São Paulo: AES Tietê, 2014. p. 95-143.

COLLISCHONN, W.; GAMA, C.H.A.; SIQUEIRA, V.A; PAIVA, R.C.D.; FLEISCHMANN, A.S. **Manual de Referência Teórica do MGB**. HGE, IPH, UFRGS. 2020

COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Simulação hidrológica de grandes bacias. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 95-118, jan./mar. 2001.

COSTA, A. M. M. **Mudanças climáticas e vulnerabilidade socioambiental em bacia hidrográfica urbana**. 2021. 189p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021.

CRUZ, M. A. S.; MOTA, P. V. M.; ARAGÃO, R.; ROCHA, R. O. F. Avaliação das precipitações geradas pelo modelo climático regional ETA-HadGEM2-ES para o Estado de Sergipe. **Scientia Plena**, São Cristóvão, v. 13, n. 10, p. 1-9, out. 2017.

DOMÍNGUEZ-CALLE, Efraín; LOZANO-BÁEZ, Sergio. Estado del arte de los sistemas de alerta temprana en Colombia. **Revista de la Academia Colombiana**, Bogotá, v.38, n.148, p. 321 – 332, 2014.

FAN, F. M., BUARQUE D. C., PONTES, P.R.M., COLLISCHONN W. **Um mapa de unidades de resposta hidrológica para a América do Sul**. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Novembro de 2015, Brasília-DF. **Anais...** XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. PAP019919. 2015

FERNANDEZ, Julio Pablo Reyes, *et al.* Relatório de Avaliação do Modelo Cpt-Wrf V1.2. Brasília. O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). 2021.

FERREIRA, G. R. **Eventos extremos de precipitação nas bacias hidrográficas dos rios doce e Paraíba do Sul. 2019**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada, Universidade Federal de Viçosa, 2019. 47p.

FINCK, Juliano Santos. **Previsão Em Tempo Atual De Níveis Fluviais Com Redes Neurais Artificiais**: Aplicação à bacia do rio Taquari-Antas/RS. 2020. 121 p. Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

GEORGAKAKOS, K.P.; KRZYSZTOFOWICZ, R. Probabilistic and ensemble forecasting. **Journal of Hydrology**. v. 249, p.1. 2001.

GOLDING B.W. Quantitative precipitation forecasting in the UK. **Journal of Hydrology**. v.239, p.286-305. 2000.

HAMMOOD, Waleed A, *et al.* A Systematic Review on Flood Early Warning and Response System (FEWRS): A Deep Review and Analysis. **Sustainability**. v. 13, n.440, p. 1-24, 2021.

IIBGE. Produto Interno Bruto — PIB. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php>. Acesso em: 8 jan. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA . **Censo Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **1º Relatório de gestão e situação dos recursos hídricos de Minas Gerais - 2012**. Belo Horizonte: IGAM, 2013. 294 p. Disponível em: <http://www.repositorioigam.meioambiente.mg.gov.br/jspui/handle/123456789/17>. Acesso em: 08 jan. 2025.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Gestão e Situação das Águas de Minas Gerais 2020**. Belo Horizonte: Igam, 2020. Disponível em: <http://200.198.57.118:8080/jspui/handle/123456789/3506>. Acesso em 08 jan. 2025.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Panorama das Águas de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Igam, 2023. Disponível em: <http://www.repositorioigam.meioambiente.mg.gov.br/jspui/handle/123456789/4560>. Acesso em: 08 jan. 2025.

IPCC, 2007. Climate change 2007: **The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** (S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller, Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 996 pp.

IPCC, 2013. Climate change 2013: **The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** (T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley, Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

IPCC, 2021: Climate Change 2021: **The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. (Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, In press, doi:10.1017/9781009157896.

LIANG, X.; LUI, L.; DING, L.; HAITING, G.; WANG, L.; YUXUE, G.; XU, Y-P. Streamflow forecasting with a hybrid model integrating a distributed hydrological model and deep learning methods. **Journal of Hydrology**, v. 65, 103444, p. 1-19, 2026. DOI: 10.1016/j.ejrh.2026.103444

LORENZ, E.N. On the Existence of Extended Range Predictability. **Journal of Applied Meteorology**. V.12, apr., p.543-546. 1973.

MACHADO, G. O.; SILVA, B. C.; CHAN, C. S.; FERREIRA, N. C. R. Análise de previsões subsazonais de vazão para uma bacia hidrográfica do Bioma Cerrado, Brasil. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.13, n.2, p.247-265, 2022. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.002.0022

MACIEL, Alessandra; SATURNINO, Rogério; TREISTMAN, Felipe; TORRACA, Hug; CAMARGO, Hélio. Previsão De Vazões Da Bacia Hidrográfica Do Rio Tocantins Utilizando O Modelo Físico Smap/ONS. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, n. 24, 2021, Belo Horizonte, **Anais...** 2021. p. 1-10.

MARCHEZINI, Victor *et al.* Sistema de alerta de risco de desastres no Brasil: desafios à redução da vulnerabilidade institucional. MARCHEZINI, Victor; WISNER, Bem; LONDE, Luciana de Resende; SAITO, Silvia Midori. **Reduction Of Vulnerability To Disasters: From Knowledge To Action**. 1 ed. São Carlos: RiMa Editora, 2017. p. 287 – 310.

MARCHEZINI, Victor; MOURÃO, Caroline; SCOFIELD, Graziela; METODIEV, Daniel; FLORES, Selma Silva Leite. Sistemas comunitários de alerta de risco de desastres associados a inundações e deslizamentos: Aspectos teóricos e metodológicos. **Revista de Estudos Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres**. Santiago, v. 4, n. 2, p. 36-56, 2020.

MARENGO, J. A et al. Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais.

Relatório 5. In: Ministério do Meio Ambiente. **Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI**. Brasília, 2007.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; TORRES, R. R.; CHAN, C. S.; LYRA, A. Base para modelagem de mudanças climáticas. In: LIMA, J. W. M.; COLLISCHONN, W.; MARENGO, J. A. (orgs.) **Efeito das mudanças climáticas na geração de energia elétrica**. 1 ed. São Paulo: AES Tietê, 2014. p. 23-64.

MARINHO FILHO, G. M.; ANDRADE, R. S.; ZUKOWSKI, J. C.; MAGALHÃES, L. L. Modelos hidrológicos: conceitos e aplicabilidades. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 6, n. 2, p. 35-47, jul. 2012.

MARQUES, Valdo da Silva; DERECHYNSKI, Claudine. Previsão de Tempo no Brasil: Uma Breve Revisão Histórica. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 44, p. 1 -14, 2021.

MOISÈS, Deolfa Josè; KUNGUMA, Olivia. Strengthening Namibia's Flood EarlyWarning System through a Critical Gap Analysis. **Sustainability**. v. 15, n. 524, p. 1-22, 2023.

MELLO, Iago C. *et al.* Calibração de um modelo hidrológico distribuído à bacia do rio São Francisco a partir de chuva estimada por satélite. **Revista Mineira de Recursos Hídricos**, v. 4, n. 69 p. 647-657, 2017.

MOREIRA, I. A. 2005. **Modelagem hidrológica chuva-vazão com dados de radar e pluviômetros**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambientais), Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 81p.

NEGRÃO, A. C., *et al.* Previsão de vazão de eventos extremos utilizando o Modelo hidrológico distribuído mhd-inpe e previsões Meteorológicas do modelo Eta-INPE para uma alta Resolução espacial – estudo de caso: São Luís do Paraitinga (SP). **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 6, p. 1 -28, 2025.

OKTARIA, Rina Suryani; MUNADI, Khairul; RIDHA, M. Effectiveness of Dissemination and Communication Element of Tsunami Early Warning System in Aceh. In: International Conference on Building Resilience, Building Resilience 2014, n. 4, 2014, United Kingdom, **Anais...**2014. p. 136- 142.

OLIVEIRA, Bernardo Luiz Ferreira de; MATOS, Artur José Soares. **Operação do Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do Rio Doce**: 2023. Belo Horizonte: Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 2023. Disponível em: <https://www.cprm.gov.br/sace/doce>. Acesso em: 29 out. 2025.

ONS, OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Modelos Computacionais (Submódulo 18.2)**. Rio de Janeiro: ONS, jun, 26p. 2001.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Relatório Anual 2023. Rio de Janeiro: ONS, 2024. 123 p. Disponível em: https://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/2023-Relatorio-Anual-acessivel_21032024.pdf. Acesso em: 08 jan. 2025.

PEIXOTO, Daniele; GUIMARÃES, Milton. **Monitoramento por inteligência artificial e planos de contingência: o que mudou 25 anos após enchentes históricas no Sul de MG.** Varginha, 31 jan 2025. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/sul-de-minas/noticia/2025/01/31/monitoramento-por-inteligencia-artificial-e-planos-de-contingencia-o-que-mudou-25-anos-apos-enchentes-historicas-no-sul-de-mg.ghtml>. Acesso em: 17 out. 2025.

PEREIRA FILHO, Augusto José; PINTO, Mírian Adelaide R. R. Costa; MANFREDINI, Laércio; LIMA, Fabiano Alves de; PINTO, Amarílio Costa e Carvalho; MORIBE, Carlos H. VEMADO, Felipe; SILVA JÚNIOR, Ivon Wilson da. Sistema Integrado de Estimativa e Previsão de Precipitação para Bacias Hidrográficas da CESP. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 35, n. 4, 529 - 552, 2020.

SALLES, F.C.; ROCHA, E.M.P.; PORTO, I.V.B.; VASCONCELOS, F.L.P. A armadilha da baixa complexidade em Minas Gerais: o desafio da sofisticação econômica em um estado exportador de commodities. *Revista Brasileira de Inovação*. v. 17 n. 1, p. 33-62, 2018. DOI: 10.20396/rbi.v17i1.8650857.

SAMPAIO, Gilvan; DIAS, Pedro Leite da Silva. Evolução dos modelos climáticos e de previsão de tempo e clima. **Revista USP**, São Paulo, n. 103, p. 41-54, 2014.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Bacias monitoradas pelos Sistemas de Alerta Hidrológico** – SACE. [S.l.]: s.d. Disponível em: https://www.sgb.gov.br/sace/index_bacias_monitoradas.php. Acesso em: 29 out. 2025.

SILVA, Livia Maria Leite da; BARBOSA FILHO, Wilson Pereira; SOUZA, Rafaela Garcia Diniz de; FERREIRA, Wemerson Rocha. **Estimativa do potencial de complementaridade entre fontes renováveis para o estado de minas gerais.** In: Conferência Internacional LINKS 2015. 2015, Florianópolis. Disponível em: <https://comites.igam.mg.gov.br/web/feam/w/pesquisa-e-desenvolvimento-antigo->. Acesso em: 17 jan. 2025.

SILVA, B. C. **Previsão hidroclimática de vazão para a bacia do rio São Francisco.** 2005. 272 p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SILVA, B. C. da.; TUCCI, C. E. M.; COLLISCHONN, W. Previsão de Vazão com Modelos Hidroclimáticos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, RN, 2006. v. 11, n. 3, p. 15 – 29.

SILVA, V. O.; MELLO, C. R.; CHOU, S. C. Projections of severe droughts in future climate in Southeast Brazil: a case study in Southern Minas Gerais State, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**. v. 148, p. 1289-1302, 2022. DOI: 10.1007/s00704-022-03993-x.

SOUZA FILHO, F. A.; LALL, U. Modelo de previsão de vazões sazonais e interanuais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 9, n. 2, p. 61-74, abr./jun. 2004.

TEIXEIRA, M.L.C; RIBEIRO, S.M.C. Agricultura e paisagens sustentáveis: a diversidade produtiva do setor agrícola de Minas Gerais, Brasil. **Sustentabilidade em Debate**, v. 11, n. 2, p. 29-41, 2020.

TOMINAGA L K, SANTORO J, AMARAL R. **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico da Secretaria do Meio Ambiente do Governo do Estado de São Paulo; 2009.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. 2.ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005. 678 p. ISBN 85-7025-823-2.

TUCCI, C. E. M.; CHAGAS, Maria de Fátima. Segurança hídrica: conceitos e estratégia para Minas Gerais. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 14, n. 1, p. 0–0, 2017.

TUCCI, C.E.M.; COLLISCHONN, W. **Previsão de Vazão**. In: TUCCI, C. E. M.; BRAGA, B. (Orgs.) *Clima e Recursos Hídricos no Brasil*. Porto Alegre: ABRH, p.281-348, nov. 2003.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 678 p. 2005.

UNISDR. Hyogo Framework for Action 2005–2015: **Building the resilience of nations and communities to disasters**. Geneva: United Nations, 2005

WELERSON, Camila Coelho. **Previsões sazonais de vazão para o rio São Francisco com base em previsões numéricas de precipitação**. 2020. 133 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2020.

WILKS, D. S. *Statistical methods in the atmospheric sciences*. 2 ed. Cambridge: Elsevier Academic Press, 2006.

YNOUE, R. Y.; AMBRIZZI, T.; REBOITA, M. S.; SILVA, G. A. M. *Meteorologia: noções básicas*. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

APÊNDICE A

Tabela de Postos Fluviométricos Utilizados

(Continua)

ID_Posto	Nome_Posto	Bacia	Subbacia	Rio	Área de drenagem	Latitude	Longitude
56028000	PIRANGA	Doce	1	RIO PIRANGA	1400	-20.691	-43.299
56055000	BRAZ PIRES	Doce	2	RIO XOPOTÓ	1090	-20.847	-43.242
56095000	GUARACIABA	Doce	3	RIO TURVO	549	-20.58	-42.989
56097000	PCH BRECHA JUSANTE	Doce	4	RIO PIRANGA	4720	-20.546	-42.969
56110005	PONTE NOVA - JUSANTE	Doce	5	RIO PIRANGA	6230	-20.384	-42.903
56337500	UHE RISOLETA NEVES RIO DO CARMO	Doce	6	RIO DO CARMO	229	-20.256	-42.992
56338080	UHE RISOLETA NEVES BARRAMENTO	Doce	7	RIO DOCE	8900	-20.206	-42.854
56425000	FAZENDA CACHOEIRA D'ANTAS	Doce	8	RIO DOCE	10100	-19.994	-42.674
56415000	RIO CASCA	Doce	9	RIO CASCA	2030	-20.226	-42.65
56510000	INSTITUTO FLORESTAL RAUL SOARES	Doce	10	RIO MATIPÓ	1870	-20.097	-42.459
56539000	CACHOEIRA DOS ÓCULOS - MONTANTE	Doce	11	RIO DOCE	15900	-19.777	-42.476
56570000	PINGO D'ÁGUA	Doce	12	RIBEIRÃO SACRAMENTO	855	-19.709	-42.446
56661000	NOVA ERA TELEMÉTRICA	Doce	13	RIO PIRACICABA	3060	-19.767	-43.026
56696000	MARIO DE CARVALHO	Doce	14	RIO PIRACICABA	5270	-19.524	-42.655
56719998	CENIBRA	Doce	15	RIO DOCE	24200	-19.328	-42.397
56787100	PCH DONA RITA JUSANTE	Doce	16	RIO DO TANQUE	1270	-19.332	-43.07
56775000	FERROS	Doce	17	RIO SANTO ANTÔNIO	4106.70617	-19.232	-43.02
56776500	FAZENDA OURO FINO	Doce	18	RIO SANTO ANTÔNIO	6360	-19.169	-42.819
56800000	SENHORA DO PORTO	Doce	19	RIO GUANHAES	1520	-18.895	-43.083
56803000	UHE SALTO GRANDE (RG)	Doce	20	RIO GUANHÃES	2144	-19.057	-42.925
56819081	UHE SALTO GRANDE BARRAMENTO GUANHÃES	Doce	21	RIO GUANHAES	8974.200195	-19.156	-42.75
56820100	UHE PORTO ESTRELA JUSANTE	Doce	22	RIO SANTO ANTÔNIO	9560	-19.122	-42.662
56825000	NAQUE VELHO	Doce	23	RIO SANTO ANTÔNIO	10200	-19.188	-42.423
56831000	UHE BAGUARI NAQUE Balsa	Doce	24	RIO DOCE	34829	-19.237	-42.308
56846000	PORTO SANTA RITA	Doce	25	RIO CORRENTE GRANDE	1970	-18.952	-42.359
56846890	FAZENDA ACONCHEGO	Doce	26	RIO SUAÇUI PEQUENO	1730	-18.932	-42.103
56850000	GOVERNADOR VALADARES	Doce	27	RIO DOCE	40500	-18.883	-41.95
56860000	SÃO PEDRO DO SUAÇUI	Doce	28	RIO SUAÇUI GRANDE	2570	-18.361	-42.605
56891900	VILA MATIAS - MONTANTE	Doce	29	RIO SUAÇUI GRANDE	9770	-18.575	-41.918
56895000	UHE AIMORÉS RIO SUAÇUI GRANDE	Doce	30	RIO SUAÇUI GRANDE	12400	-18.809	-41.797
56935000	DOM CAVATI	Doce	31	RIO CARATINGA	775	-19.374	-42.105
56940002	BARRA DO CUIETÉ - JUSANTE	Doce	32	RIO CUITÉ	3220	-19.069	-41.537
56990850	UHE AIMORÉS BARRAMENTO	Doce	33	RIO DOCE	62400	-19.456	-41.096
56960005	FAZENDA VARGEM ALEGRE	Doce	34	RIO MANHUAÇU	1070	-20.183	-41.961
56978000	SANTO ANTÔNIO DO MANHUAÇU	Doce	35	RIO MANHUAÇU	2350	-19.683	-41.837
56988500	IPANEMA	Doce	36	RIO JOSÉ PEDRO	1410	-19.799	-41.706
56989001	MUTUM	Doce	37	RIO SÃO MANOEL	1180	-19.811	-41.438
56989400	ASSARAI - MONTANTE	Doce	38	RIO JOSÉ PEDRO	3190	-19.595	-41.458
56989900	BARRA DO CAPIM	Doce	39	RIO MANHUAÇU	8454	-19.49	-41.203
56992400	UHE MASCARENHAS - BARRAGEM	Doce	40	RIO DOCE	73700	-19.5	-40.95
61009000	BOM JARDIM DE MINAS	Grande	1	RIO GRANDE	529	-21.946	-44.195
61012000	MADRE DE DEUS DE MINAS	Grande	2	RIO GRANDE	2070	-21.493	-44.327
61014000	ALAGOA	Grande	3	RIO AIURUOCA	282	-22.17	-44.637
61024000	AIURUOCA	Grande	4	RIO AIURUOCA	532	-21.98	-44.603
61045000	FAZENDA PARAÍBA	Grande	5	RIO TURVO GRANDE	383	-21.745	-44.354
61052000	ANDRELÂNDIA	Grande	6	RIO TURVO PEQUENO	274	-21.738	-44.306
61060000	FAZENDA LARANJEIRAS	Grande	7	RIO AIURUOCA	1960	-21.689	-44.351
61061080	UHE CAMARGOS	Grande	8	RIO GRANDE	6230	-21.325	-44.616
61065080	ITUTINGA	Grande	9	RIO GRANDE	6260	-21.293	-44.623
61075000	LUMINARIAS	Grande	10	RIO INGAÍ	1010	-21.506	-44.916
61078000	ITUMIRIM	Grande	11	RIO CAPIVARI	1820	-21.321	-44.872
61090000	BARROSO	Grande	12	RIO DAS MORTES	1040	-21.186	-43.98
61105000	PORTO DO ELVAS	Grande	13	RIO ELVAS	828	-21.165	-44.136
61107000	PORTO TIRADENTES	Grande	14	RIO DAS MORTES	2720	-21.122	-44.233
61135000	IBITURUNA	Grande	15	RIO DAS MORTES	6070	-21.143	-44.74
61140000	BOM SUCESSO	Grande	16	RIO PERAPETINGA	348	-21.034	-44.771
61146080	UHE FUNIL	Grande	17	RIO GRANDE	6570	-21.142	-45.035
61173000	USINA COURO DO CERVO	Grande	18	RIBEIRÃO COURO DO CERVO	390	-21.342	-45.171
61176000	FAZENDA DO MOINHO	Grande	19	RIO DO CERVO	1060	-21.233	-45.174
61202000	SANTANA DO JACARÉ	Grande	20	RIO JACARÉ	1620	-20.903	-45.132
61271000	ITAJUBÁ	Grande	21	RIO SAPUCAÍ	860	-22.446	-45.424
61285000	SÃO JOÃO DE ITAJUBÁ	Grande	22	RIO LOURENÇO VELHO	560	-22.377	-45.448
61305000	SANTA RITA DO SAPUCAÍ	Grande	23	RIO SAPUCAÍ	2810	-22.251	-45.709
61350000	CONCEIÇÃO DOS OUROS	Grande	24	RIO SAPUCAÍ-MIRIM	1310	-22.414	-45.791
61370000	PONTE DO RODRIGUES	Grande	25	RIO ITAIM	676	-22.354	-45.854
61390000	VARGEM DO CERVO	Grande	26	RIO DO CERVO	486	-22.117	-45.918
61410000	CAREÇU	Grande	27	RIO SAPUCAÍ	7330	-22.054	-45.699

(Continua)

61425000	PARAGUAÇU (PONTE BAGUARI)	Grande	28	RIO SAPUCAÍ	9410	-21.586	-45.633
61429000	ITANHANDU	Grande	29	RIO VERDE	292	-22.294	-44.937
61460000	CONCEIÇÃO DO RIO VERDE	Grande	30	RIO VERDE	1840	-21.887	-45.079
61473000	BAEPENDI	Grande	31	RIO BAEPENDI	614	-21.951	-44.88
61500000	FAZENDA JUCA CASIMIRO	Grande	32	RIO LAMBARI	744	-21.87	-45.262
61510000	TRÊS CORAÇÕES	Grande	33	RIO VERDE	4180	-21.703	-45.248
61520000	CHACARA SANTANA	Grande	34	RIO DO PEIXE	854	-21.678	-45.26
61537000	PORTO DOS BUENOS	Grande	35	RIO VERDE	6300	-21.611	-45.489
61568000	MACHADO	Grande	36	RIO DO MACHADO	732	-21.688	-45.905
61610000	JURÉIA	Grande	37	RIO MUZAMBO	884	-21.279	-46.361
61661000	USINA DE FURNAS	Grande	38	RIO GRANDE	52000	-20.672	-46.318
61685000	PCH - MONTE ALTO JUSANTE	Grande	39	RIO SÃO JOÃO	1297	-20.771	-46.72
61712000	ARECHAL MASCARENHAS DE MORAES RIO SAN	Grande	40	RIO SANTANA	867	-20.676	-46.841
61730080	USINA MASCARENHAS DE MORAES (PEIXOTO)	Grande	41	RIO GRANDE	59600	-20.284	-47.064
61731080	UHE LUIZ CARLOS BARRETO (ESTREITO)	Grande	42	RIO GRANDE	61100	-20.153	-47.279
61734080	UHE JAGUARA	Grande	43	RIO GRANDE	61700	-20.021	-47.436
61760080	UHE VOLTA GRANDE	Grande	44	RIO GRANDE	67600	-20.034	-48.222
61794000	UBERABA	Grande	45	RIO UBERABA	566	-19.728	-47.979
61795100	CONCEIÇÃO DAS ALAGOAS	Grande	46	RIO UBERABA	1980	-19.909	-48.391
61796080	UHE PORTO COLÔMBIA	Grande	47	RIO GRANDE	77200	-20.127	-48.572
61802502	CACHOEIRA DO CARMO	Grande	48	RIO PARDO	1660	-21.722	-46.456
61861000	INCONFIDENTES	Grande	49	RIO MOGI-GUAÇU	463	-22.318	-46.322
61865000	JACUTINGA	Grande	50	RIO MOGI-GUAÇU	918	-22.27	-46.604
61941080	UHE MARIMBONDO	Grande	51	RIO GRANDE	118515	-20.301	-49.197
61991000	UHE ÁGUA VERMELHA PORTO PONTAL	Grande	52	RIO TURVO	9130	-20.166	-49.653
61998080	UHE ÁGUA VERMELHA BARRAMENTO	Grande	53	RIO GRANDE	139000	-19.863	-50.348
54010005	VILA TERRA BRANCA - JUSANTE	Jequitinhonha	1	RIO JEQUITINHONHA	7720	-17.313	-43.208
54110002	GRÃO MOGOL (FAZ. JAMBEIRO)	Jequitinhonha	2	RIO ITACAMBIRUCU	4050	-16.59	-42.917
54140000	UHE IRAPÉ BARRAMENTO	Jequitinhonha	3	RIO JEQUITINHONHA	15819	-16.736	-42.573
54193000	RUBELITA	Jequitinhonha	4	RIO SALINAS	3020	-16.408	-42.265
54195000	BARRA DO SALINAS	Jequitinhonha	5	RIO JEQUITINHONHA	23400	-16.618	-42.309
54230000	CARBONITA	Jequitinhonha	6	RIO ARAÇUAÍ	2850	-17.579	-42.995
54260000	PONTE ALTA	Jequitinhonha	7	RIO ARAÇUAÍ	6950	-17.282	-42.808
54300000	MINAS NOVAS	Jequitinhonha	8	RIO FANADO	1070	-17.22	-42.597
54390000	PEGA	Jequitinhonha	9	RIO ARAÇUAÍ	10800	-16.86	-42.348
54485000	FAZENDA FACÃO	Jequitinhonha	10	RIO GRAVATA	1180	-16.971	-42.116
54530000	ITIRA	Jequitinhonha	11	RIO JEQUITINHONHA	40600	-16.761	-42.003
54540000	CBL	Jequitinhonha	12	RIO PIAUÍ	1140	-16.783	-41.917
54560000	ITINGUINHA	Jequitinhonha	13	CÓRREGO ITINGUINHA	1500	-16.525	-41.763
54580000	ITAOBIM	Jequitinhonha	14	RIO JEQUITINHONHA	45600	-16.568	-41.503
54710000	JEQUITINHONHA	Jequitinhonha	15	RIO JEQUITINHONHA	50500	-16.427	-41.014
54770000	FAZENDA CAJUEIRO	Jequitinhonha	16	RIO SÃO FRANCISCO	2820	-16.12	-40.739
54780000	JACINTO	Jequitinhonha	17	RIO JEQUITINHONHA	62700	-16.139	-40.307
54940000	UHE ITAPEBI BARRAMENTO	Jequitinhonha	18	RIO JEQUITINHONHA	68100	-15.968	-39.59
55520001	MUCURI	Mucuri	1	RIO MUCURI	2080	-17.596	-41.491
55559000	PCH MUCURI NORDESTE	Mucuri	2	RIO MARAMBAIA	2145	-17.428	-41.233
55560000	FAZENDA DIACUI	Mucuri	3	RIO MUCURI	5100	-17.492	-41.239
55610000	FRANCISCO SÁ	Mucuri	4	RIO TODOS OS SANTOS	1850	-17.737	-41.121
55568000	PCH MUCURI JUSANTE	Mucuri	5	RIO MUCURI	5866	-17.602	-40.979
55630000	CARLOS CHAGAS	Mucuri	6	RIO MUCURI	9160	-17.704	-40.762
55600000	SÃO PEDRO DO PAMPÃ	Mucuri	7	RIO PAMPÃ	1940	-17.32	-40.676
55664000	UHE SANTA CLARA CGH PAMPÃ	Mucuri	8	RIO PAMPÃ	2778	-17.631	-40.604
55699998	NANUQUE - MONTANTE	Mucuri	9	RIO MUCURI	13700	-17.841	-40.381
55720000	UHE SANTA CLARA - JUSANTE	Mucuri	10	RIO MUCURI	14500	-17.867	-40.333
58030000	ESTRADA DO CUNHA	Paraíba do Sul	1	RIO PARAÍTINGA	796	-22.996	-45.042
58040000	SÃO LUIZ DO PARAÍTINGA - SLP	Paraíba do Sul	2	RIO PARAÍTINGA	1950	-23.325	-45.306
58087080	UHE PARAIBUNA	Paraíba do Sul	3	RIO PARAÍBUNA	4150	-23.417	-45.6
58095000	SANTA BRANCA - BARRAGEM	Paraíba do Sul	4	SERVATÓRIO DE SANTA BRAN	4920	-23.367	-45.867
58110002	JACARÉI - SAAE	Paraíba do Sul	5	RIO PARAÍBA DO SUL	5470	-23.311	-45.971
58128200	USINA JAGUARI - JUSANTE	Paraíba do Sul	6	RIO JAGUARÍ	1300	-23.2	-46.033
58139900	PREFEITURA MUNICIPAL	Paraíba do Sul	7	RIO PARAÍBA DO SUL	7925.30297	-23.162	-45.904
58142200	BUQUIRINHA 2	Paraíba do Sul	8	RIO BUQUIRA OU FERRÃO	407	-23.075	-45.907
58183000	PINDAMONHANGABA	Paraíba do Sul	9	RIO PARAÍBA DO SUL	9600	-22.911	-45.47
58211000	COLÔNIA PIAGUI	Paraíba do Sul	10	RIO PIAGUI	171	-22.737	-45.203
58230100	CRUZEIRO	Paraíba do Sul	11	RIO PARAÍBA DO SUL	12200	-22.586	-44.955
58240080	UHE FUNIL	Paraíba do Sul	12	RIO PARAÍBA DO SUL	13400	-22.533	-44.567
58305001	VOLTA REDONDA	Paraíba do Sul	13	RIO PARAÍBA DO SUL	16000	-22.501	-44.091
58318000	UEL. SANTA CECÍLIA - TOMADA D'ÁGUA	Paraíba do Sul	14	SERVATÓRIO DE SANTA CECII	16600	-22.482	-43.839

(Continua)

58350001	FAZENDA NOVA ESPERANÇA	Paraíba do Sul	15	RIO PIRAÍ	626	-22.663	-43.957
58380001	PARAÍBA DO SUL - RN	Paraíba do Sul	16	RIO PARAÍBA DO SUL	21400	-22.163	-43.286
58385100	TRÊS RIOS	Paraíba do Sul	17	RIO PARAÍBA DO SUL	21600	-22.119	-43.204
58400250	PARQUE PETRÓPOLIS	Paraíba do Sul	18	RIO PIABANHA	267	-22.405	-43.133
58405000	PEDRO DO RIO	Paraíba do Sul	19	RIO PIABANHA	435	-22.332	-43.134
58434000	FAGUNDES	Paraíba do Sul	20	RIO FAGUNDES	275	-22.3	-43.178
58420000	FAZENDA SOBRADINHO	Paraíba do Sul	21	RIO PRETO	719	-22.2	-42.901
58425000	MORELI (PARADA MORELI)	Paraíba do Sul	22	RIO PRETO	930	-22.201	-43.027
58442000	FAZENDA DA BARREIRA	Paraíba do Sul	23	RIO PIABANHA	2040	-22.142	-43.159
58550001	RIO PRETO	Paraíba do Sul	24	RIO PRETO	1800	-22.086	-43.818
58585000	MANUEL DUARTE	Paraíba do Sul	25	RIO PRETO	3110	-22.086	-43.557
58512040	UHE PICADA MONTANTE 1	Paraíba do Sul	26	RIO DO PEIXE	1500	-21.777	-43.604
58516500	FAZENDA SANTO ANTÔNIO	Paraíba do Sul	27	RIO DO PEIXE	2240	-21.858	-43.444
58480500	JUIZ DE FORA - JUSANTE	Paraíba do Sul	28	RIO PARAÍBUNA	969	-21.778	-43.325
58520000	SOBRAJI	Paraíba do Sul	29	RIO PARAÍBUNA	3640	-21.966	-43.373
58591000	PCH MONTE SERRAT MONTANTE 1	Paraíba do Sul	30	RIO PARAÍBUNA	7170	-22.005	-43.321
58610000	ESTEVÃO PINTO	Paraíba do Sul	31	RIO CAGADO	783	-21.896	-43.041
58645000	SUMIDOURO	Paraíba do Sul	32	RIO PAQUEQUER	294	-22.046	-42.679
58658000	VOLTA GRANDE	Paraíba do Sul	33	RIO ANGÚ	348	-21.767	-42.54
58670002	FAZENDA DA BARRA (PIRAPETINGA)	Paraíba do Sul	34	RIO PIRAPETINGA	590	-21.658	-42.343
58680001	ITAOCARA	Paraíba do Sul	35	RIO PARAÍBA DO SUL	36600	-21.666	-42.081
58710000	USINA ITUERÉ	Paraíba do Sul	36	RIO POMBA	784	-21.305	-43.199
58735000	ASTOLFO DUTRA	Paraíba do Sul	37	RIO POMBA	2350	-21.307	-42.862
58736000	BARRA DO XOPOTO	Paraíba do Sul	38	RIO XOPOTÓ	1280	-21.298	-42.819
58765001	USINA MAURÍCIO	Paraíba do Sul	39	RIO NOVO	1770	-21.471	-42.83
58770000	CATAGUASES	Paraíba do Sul	40	RIO POMBA	5880	-21.389	-42.696
58779000	ARACATI	Paraíba do Sul	41	RIO POMBA	6669	-21.411	-42.613
58790002	SANTO ANTÔNIO DE PÁDUA II	Paraíba do Sul	42	RIO POMBA	8210	-21.542	-42.181
58870000	BARRA DO RIO NEGRO	Paraíba do Sul	43	RIO NEGRO	1120	-21.729	-41.952
58850000	PIMENTEL	Paraíba do Sul	44	RIO GRANDE	1810	-21.77	-41.938
58874000	DOIS RIOS	Paraíba do Sul	45	RIO DOIS RIOS	3120	-21.643	-41.859
58930000	CARANGOLA	Paraíba do Sul	46	RIO CARANGOLA	773	-20.74	-42.024
58930500	PCH TOMBOS MONTANTE 2	Paraíba do Sul	47	RIO CARANGOLA	1042	-20.895	-42.006
58917000	JUSSARA	Paraíba do Sul	48	RIO GLÓRIA	744	-20.913	-42.349
58938000	CGH COMENDADOR VENÂNCIO MONTANTE 2	Paraíba do Sul	49	RIO MURIAÉ	1050	-21.134	-42.347
58922000	LAJE DO MURIAÉ	Paraíba do Sul	50	RIO MURIAÉ	3140	-21.204	-42.124
58940000	ITAPERUNA	Paraíba do Sul	51	RIO MURIAÉ	5800	-21.208	-41.893
58960000	CARDOSO MOREIRA - RV	Paraíba do Sul	52	RIO MURIAÉ	7210	-21.487	-41.617
58972300	CAMPOS DOS GOYTACAZES	Paraíba do Sul	53	RIO PARAÍBA DO SUL	55866.67499	-21.735	-41.349
60010000	SANTANA DE PATOS	Paranaíba	1	RIO PARANAÍBA	2730	-18.841	-46.551
60011000	PATOS DE MINAS	Paranaíba	2	RIO PARANAÍBA	3800	-18.602	-46.539
60012100	PONTE VICENTE GOULART - JUSANTE	Paranaíba	3	RIO PARANAÍBA	7640	-18.271	-47.107
60110000	ABADIA DOS DOURADOS	Paranaíba	4	RIO DOURADOS	1950	-18.491	-47.406
60150000	ESTRELA DO SUL	Paranaíba	5	RIO BAGAGEM	868	-18.738	-47.69
60160080	UHE EMBORCAÇÃO BARRAMENTO	Paranaíba	6	RIO PARANAÍBA	29100	-18.467	-47.933
60230080	PCH PAI JOAQUIM BARRAMENTO	Paranaíba	7	RIO ARAGUARI	3579	-19.486	-47.542
60280000	PONTE BR-146	Paranaíba	8	RIO QUEBRA ANZOL	4910	-19.349	-46.833
60610080	UHE ITUMBIARA BARRAMENTO	Paranaíba	9	RIO PARANAÍBA	94700	-18.408	-49.099
60842000	PONTE BR-153 (Posto Tejuco)	Paranaíba	10	RIO TIJUCO	3760	-19.039	-49.009
60845000	ITUUTABA	Paranaíba	11	RIO TIJUCO	6310	-18.941	-49.45
60855000	PONTE DO PRATA	Paranaíba	12	RIO DA PRATA	5230	-19.035	-49.697
60877080	UHE SÃO SIMÃO BARRAMENTO	Paranaíba	13	RIO PARANAÍBA	171000	-18.989	-48.19
53460500	PASSAGEM DAS ÉGUAS	Pardo	1	RIO PARDO	2870	-15.669	-42.453
53470000	CH MORAIS JUSANTE	Pardo	2	RIO PARDO	3910	-15.7	-42.367
53490000	FAZENDA BENFICA	Pardo	3	RIO PARDO	5520	-15.698	-42.172
53540000	SAMAMBAIA	Pardo	4	RIO MOSQUITO	640	-15.771	-41.488
53620000	CÂNDIDO SALES	Pardo	5	RIO PARDO	13000	-15.513	-41.237
40050000	Iguatama	São Francisco	1	Rio São Francisco	4846	-20.17	-45.716
40100000	Porto das Andorinhas	São Francisco	2	Rio São Francisco	14000	-19.281	-45.275
40330000	Velho da Taipá	São Francisco	3	Rio Pará	7350	-19.694	-44.931
40410200	CGH João de Deus Jusante 2	São Francisco	4	Rio Lambari	2010	-19.596	-45.104
40450001	PCH Gaífanho Porto Pará	São Francisco	5	Rio Pará	11300	-19.287	-45.11
40710000	Belo Vale	São Francisco	6	Rio Paraopeba	2770	-20.408	-44.022
40740000	Alberto Flores	São Francisco	7	Rio Paraopeba	4120	-20.167	-44.161
40800001	Ponte Nova do Paraopeba	São Francisco	8	Rio Paraopeba	5690	-19.949	-44.305
40865001	UHE Três Marias Porto Mesquita	São Francisco	9	Rio Paraopeba	10200.2	-19.173	-44.701
40865480	UHE Retiro Baixo Barramento	São Francisco	10	Rio Paraopeba	10415	-18.877	-44.782
40963000	UHE Três Marias Porto Indaiaí	São Francisco	11	Rio Indaiaí	2214.8	-18.677	-45.566
40990080	UHE Três Marias Barramento	São Francisco	12	Rio São Francisco	50651.4	-18.215	-45.259

(Conclusão)

41075001	Porto do Passarinho	São Francisco	13	Rio Abaeté	4130	-18.403	-45.737
41090002	PCH Salto do Paraopeba	São Francisco	14	Rio Abaeté	5186.2	-18.109	-45.462
41135000	Pirapora Barreiro	São Francisco	15	Rio São Francisco	62200	-17.369	-44.943
41200430	Raposos	São Francisco	16	Rio das Velhas	1930	-19.963	-43.807
41340000	Ponte Raul Soares	São Francisco	17	Rio das Velhas	4860	-19.56	-43.911
41410000	Jequitibá	São Francisco	18	Rio das Velhas	7080	-19.231	-44.025
41650002	Ponte do Licínio Jusante	São Francisco	19	Rio das Velhas	10700	-18.673	-44.194
41780002	Presidente Juscelino Jusante	São Francisco	20	Rio Paratuna	3980	-18.645	-44.051
41990000	Várzea da Palma	São Francisco	21	Rio das Velhas	26500	-17.596	-44.713
42210000	Cachoeira da Manteiga	São Francisco	22	Rio São Francisco	107000	-16.657	-45.081
42290000	Ponte da BR-040 – Paracatu	São Francisco	23	Rio Paracatu	7750	-17.503	-46.571
42365000	Ponte da BR-040 – Prata	São Francisco	24	Rio da Prata	3350	-17.662	-46.355
42459080	UHE Queimado Barramento	São Francisco	25	Rio Preto	3657	-16.211	-47.323
42480500	UHE Queimado Jusante	São Francisco	26	Rio Preto	5412	-16.323	-46.914
42600001	Porto dos Poções	São Francisco	27	Rio Preto	10100	-16.84	-46.357
42690001	Porto da Extrema	São Francisco	28	Rio Paracatu	30100	-17.03	-46.014
42850000	Cachoeira das Almas	São Francisco	29	Rio do Sono	4390	-17.351	-45.533
42980000	Porto Alegre	São Francisco	30	Rio Paracatu	41300	-16.907	-45.383
43300000	Fazenda Carvalho	São Francisco	31	Rio São Domingos	3160	-15.524	-46.284
43429998	Arinos Montante	São Francisco	32	Rio Urucuia	11800	-15.918	-46.119
43980002	Barra do Escuro	São Francisco	33	Rio Urucuia	24600	-16.268	-45.237
44200000	São Francisco	São Francisco	34	Rio São Francisco	184000	-15.949	-44.868
44630500	Barra do Rio Verde	São Francisco	35	Rio Verde Grande	3750	-16.176	-43.771
44640000	Fazenda Alegre	São Francisco	36	Rio Verde Grande	9450	-15.737	-43.586
44670000	Colônia do Jaiba	São Francisco	37	Rio Verde Grande	12200	-15.343	-43.676
44940000	Gado Bravo	São Francisco	38	Rio Verde Grande	22900	-14.923	-43.501
45131000	São Gonçalo	São Francisco	39	Rio Carinhanha	6020	-14.314	-44.459
45170001	Fazenda Porto Alegre	São Francisco	40	Rio Itaguari	5850	-14.264	-44.523
45260000	Juvenília	São Francisco	41	Rio Carinhanha	16300	-14.26	-44.152
45298000	Carinhanha	São Francisco	42	Rio São Francisco	254000	-14.297	-43.714
45480000	Bom Jesus da Lapa	São Francisco	43	Rio São Francisco	271000	-13.257	-43.435
45590000	Correntina	São Francisco	44	Rio Correntina	3900	-13.341	-44.639
45740001	Mocambo	São Francisco	45	Rio do Meio	7950	-13.285	-44.562
45770000	Arrojado	São Francisco	46	Rio Arrojado	5540	-13.453	-44.569
45840000	Gatos	São Francisco	47	Rio Formoso	7130	-13.712	-44.638
45960001	Porto Novo	São Francisco	48	Rio Corrente	31000	-13.291	-43.909
46110000	Tamburil	São Francisco	49	Rio Santo Onofre	4420	-12.667	-42.998
46150001	UHE Sobradinho Montante 2	São Francisco	50	Rio São Francisco	323000	-12.183	-43.223
46295000	Ponte da BR-242	São Francisco	51	Rio Paramirim	12600	-12.245	-42.764
46360000	Morpará	São Francisco	52	Rio São Francisco	345000	-11.558	-43.283
46415000	Sítio Grande	São Francisco	53	Rio Grande	4950	-12.431	-45.086
46453500	PCH Sítio Grande Jusante	São Francisco	54	Rio das Fêmeas	6533	-12.429	-45.153
46543000	Fazenda Redenção	São Francisco	55	Rio das Ondas	5380	-12.136	-45.103
46590000	Nova Vida – Montante	São Francisco	56	Rio Branco	7480	-11.856	-45.12
46675000	Fazenda Macambira	São Francisco	57	Rio Grande	39600	-11.611	-44.157
46790000	Formosa do Rio Preto	São Francisco	58	Rio Preto	14300	-11.051	-45.197
46870000	Fazenda Porto Limpo	São Francisco	59	Rio Preto	22000	-11.236	-43.949
46902000	Boqueirão	São Francisco	60	Rio Grande	65900	-11.345	-43.826
47249000	Rio Verde II	São Francisco	61	Rio Verde	6750	-10.984	-42.344
47750080	UHE Sobradinho Barramento	São Francisco	62	Rio São Francisco	498425	-9.4392	-40.832
49042580	UHE Luiz Gonzaga Barramento	São Francisco	63	Rio São Francisco	591465	-9.1436	-38.313
49210070	UHE Paulo Afonso IV Barramento	São Francisco	64	Rio São Francisco	603683	-9.4167	-38.208
49340080	UHE Xingó Barramento	São Francisco	65	Rio São Francisco	608700	-9.6181	-37.79
49775100	FOZ DO RIO SÃO FRANCISCO	São Francisco	66	Rio São Francisco	636305.1545	-10.493	-36.416
55779000	FIDELÂNDIA-MONTANTE	São Mateus	1	O SÃO MATEUS / BRAÇO NOR'	781	-18.195	-41.239
55780000	FIDELÂNDIA	São Mateus	2	O SÃO MATEUS / BRAÇO NOR'	781	-18.2	-41.25
55790000	ATALÉIA	São Mateus	3	RIO SANTA CRUZ	424	-18.045	-41.112
55795000	FAZENDA CACHOEIRA BONITA	São Mateus	4	RIO DOIS DE SETEMBRO	132	-18.324	-40.78
55800000	FAZENDA SÃO MATEUS	São Mateus	5	O SÃO MATEUS / BRAÇO NOR'	4170	-18.133	-40.883
55800005	FAZENDA SÃO MATEUS	São Mateus	6	O SÃO MATEUS / BRAÇO NOR'	4170	-18.123	-40.883
55850000	SÃO JOÃO DA CACHOEIRA GRANDE	São Mateus	7	O SÃO MATEUS / BRAÇO NOR'	6930	-18.564	-40.336
55884990	JUSANTE BARRA DO ARIRANHA	São Mateus	8	RIO SÃO MATEUS / BRAÇO SUI	1490	-18.666	-41.099
55884998	BARRA DO ARIRANHA - MONTANTE	São Mateus	9	RIO SÃO MATEUS / BRAÇO SUI	1490	-18.667	-41.1
55895000	BARRA DO RIO PRETO	São Mateus	10	RIO SÃO MATEUS / BRAÇO SUI	2500	-18.694	-40.882
55900000	BARRA DE SÃO FRANCISCO	São Mateus	11	RIO SÃO FRANCISCO	214	-18.753	-40.893
55910000	RIO PRETO	São Mateus	12	RIO SÃO MATEUS / BRAÇO SUI	4280	-18.725	-40.337
55915000	FAZENDA ENTRE RIOS	São Mateus	13	RIO SÃO MATEUS / BRAÇO SUI	4510	-18.673	-40.177
55920000	CÓRREGO DA BOA ESPERANÇA	São Mateus	14	RIO SÃO MATEUS / BRAÇO SUI	4190	-18.701	-40.442
55940000	NOVA VENÉCIA	São Mateus	15	RIO SÃO MATEUS / BRAÇO SUI	4210	-18.7	-40.4
55950000	FAZENDA ALVORADA	São Mateus	16	RIO SÃO MATEUS / BRAÇO SUI	7430	-18.627	-40.113
55960000	BOCA DA VALA	São Mateus	17	RIO SÃO MATEUS	12000	-18.651	-40.089

APÊNDICE B

Resultado da estatística de calibração e validação para cada posto

(Continua)

ID_Posto	Bacia	Sub bacia	Calibração (01/01/2010 - 31/12/2020)			Validação (01/01/2021 - 31/12/2024)		
			NS	Nslog	EVol	NS	Nslog	EVol
56028000	Doce	1	0.62	0.78	-10.06	0.69	0.74	-1.82
56055000	Doce	2	0.50	0.66	-0.06	0.48	0.72	-13.58
56095000	Doce	3	-100.00	-100.00	1000.00	-100.00	-100.00	1000.00
56097000	Doce	4	0.57	0.45	-1.93	0.47	0.30	-27.58
56110005	Doce	5	0.72	0.63	20.74	0.84	0.86	-1.83
56337500	Doce	6	0.48	-0.16	11.50	-1000.00	-1000.00	-1000.00
56338080	Doce	7	0.75	0.70	2.09	0.76	0.83	-11.08
56425000	Doce	8	0.90	0.90	-6.96	0.93	0.88	-13.14
56415000	Doce	9	0.56	0.58	24.97	0.55	0.17	-30.86
56510000	Doce	10	0.58	0.46	-20.62	0.24	0.19	-24.45
56539000	Doce	11	0.92	0.91	3.44	0.91	0.83	-16.36
56570000	Doce	12	0.39	0.34	38.27	0.27	0.55	-19.97
56661000	Doce	13	-100.00	-100.00	1000.00	-100.00	-100.00	1000.00
56696000	Doce	14	0.68	0.33	-6.72	0.87	0.26	-20.63
56719998	Doce	15	0.88	0.86	3.29	0.90	0.79	-18.36
56787100	Doce	16	-100.00	-100.00	1000.00	-100.00	-100.00	1000.00
56775000	Doce	17	0.70	0.62	-5.53	0.71	0.23	-25.40
56776500	Doce	18	0.77	0.44	-15.65	0.74	0.27	-26.56
56800000	Doce	19	0.63	0.73	-3.93	0.41	0.55	-31.78
56803000	Doce	20	-100.00	-100.00	1000.00	0.51	0.63	-39.31
56819081	Doce	21	-100.00	-100.00	1000.00	-100.00	-100.00	1000.00
56820100	Doce	22	0.80	0.64	-16.46	0.76	0.54	-31.63
56825000	Doce	23	0.96	0.92	2.17	0.95	0.90	0.83
56831000	Doce	24	0.00	0.38	-36.69	0.50	0.50	-9.31
56846000	Doce	25	0.67	0.54	17.59	0.30	0.50	-47.60
56846890	Doce	26	-100.00	-100.00	1000.00	-100.00	-100.00	1000.00
56850000	Doce	27	0.92	0.90	7.23	0.94	0.88	-12.49
56860000	Doce	28	0.58	0.57	9.71	0.56	0.63	-20.51
56891900	Doce	29	0.58	0.60	5.08	0.52	0.56	-32.15
56895000	Doce	30	0.48	0.23	20.38	-0.10	-0.72	-51.92
56935000	Doce	31	0.51	0.59	-0.82	0.29	0.35	-32.65
56940002	Doce	32	0.51	0.61	4.01	0.34	0.50	-27.53
56990850	Doce	33	0.84	0.88	13.79	0.89	0.89	-9.01
56960005	Doce	34	0.73	0.73	-0.51	0.58	-0.10	-42.12
56978000	Doce	35	0.80	0.72	8.00	0.58	0.56	-28.93
56988500	Doce	36	0.67	0.56	8.86	-100.00	-100.00	-100.00
56989001	Doce	37	0.70	0.51	6.81	0.41	0.58	-18.11
56989400	Doce	38	0.69	0.38	35.07	0.54	0.71	-0.55
56989900	Doce	39	-100.00	-100.00	1000.00	-100.00	-100.00	1000.00
56992400	Doce	40	0.94	0.88	6.61	-100.00	-100.00	1000.00
61009000	Grande	1	0.55	0.34	-30.78	0.52	0.56	-25.00
61012000	Grande	2	0.64	0.66	-19.62	0.48	0.45	-27.82
61014000	Grande	3	0.65	0.66	6.90	0.29	0.46	1.04
61024000	Grande	4	0.74	0.48	-22.49	0.43	0.47	-26.42
61045000	Grande	5	0.43	0.42	2.47	0.03	0.03	43.57
61052000	Grande	6	0.57	0.62	-3.39	-0.07	0.42	-0.39
61060000	Grande	7	0.63	0.23	-36.84	0.26	-0.33	-42.10
61061080	Grande	8	0.78	0.81	-9.74	0.62	0.71	-8.57
61065080	Grande	9	0.97	0.92	-10.97	0.96	0.95	-1.60
61075000	Grande	10	0.79	0.65	-5.40	0.72	0.76	-14.51
61078000	Grande	11	0.22	-0.15	-52.96	0.27	-0.11	-47.44
61090000	Grande	12	0.66	0.58	-24.08	0.45	0.33	-40.55
61105000	Grande	13	0.60	0.61	-2.98	0.44	0.62	-13.58
61107000	Grande	14	0.69	0.75	2.28	0.64	0.72	-17.33
61135000	Grande	15	0.78	0.69	2.21	0.76	0.75	-5.84
61140000	Grande	16	0.31	0.50	5.28	0.30	0.59	5.11
61146080	Grande	17	0.92	0.93	-1.48	0.88	0.88	-5.31
61173000	Grande	18	0.62	0.67	2.94	0.55	0.72	2.03
61176000	Grande	19	0.73	0.78	7.04	0.62	0.74	-3.50
61202000	Grande	20	0.78	0.65	3.92	-100.00	-100.00	1000.00
61271000	Grande	21	0.60	0.75	0.32	0.28	0.25	-32.70
61285000	Grande	22	0.63	0.71	11.42	0.45	0.59	-20.99
61305000	Grande	23	0.65	0.62	13.12	0.48	0.65	-16.54
61350000	Grande	24	-1.01	-0.33	90.85	0.18	0.52	23.19
61370000	Grande	25	-0.33	-0.08	68.17	0.41	0.59	4.09
61390000	Grande	26	0.39	0.48	11.08	0.55	0.50	20.15
61410000	Grande	27	0.14	0.10	42.29	0.49	0.44	-2.06

(Continua)

61425000	Grande	28	0.55	0.49	32.51	-100.00	-100.00	1000.00
61429000	Grande	29	0.41	0.51	14.26	0.18	0.45	-28.56
61460000	Grande	30	0.70	0.74	5.34	0.27	0.41	-28.89
61473000	Grande	31	0.78	0.81	2.12	-0.08	0.45	-1.35
61500000	Grande	32	0.54	0.64	1.59	0.25	0.40	-38.45
61510000	Grande	33	0.74	0.73	9.61	0.45	0.61	-19.09
61520000	Grande	34	0.45	0.17	0.13	0.70	0.72	-12.92
61537000	Grande	35	0.71	0.42	11.95	0.49	0.54	-10.29
61568000	Grande	36	0.76	0.67	1.29	-100.00	-100.00	1000.00
61610000	Grande	37	0.53	0.11	-18.75	-100.00	-100.00	1000.00
61661000	Grande	38	0.90	0.83	9.49	0.89	0.79	0.64
61685000	Grande	39	0.26	0.51	-16.37	0.54	0.47	-19.81
61712000	Grande	40	-0.88	-1.34	113.28	0.56	0.48	7.58
61730080	Grande	41	0.84	0.78	-3.27	0.82	0.71	-5.25
61731080	Grande	42	0.99	0.98	-0.08	0.99	0.97	0.00
61734080	Grande	43	0.99	0.99	0.54	0.99	0.99	-2.89
61760080	Grande	44	0.72	0.71	-5.79	0.75	0.66	-6.81
61794000	Grande	45	0.61	0.71	0.11	0.49	0.27	31.84
61795100	Grande	46	0.79	0.63	-0.21	0.58	0.32	3.76
61796080	Grande	47	0.90	0.87	5.36	0.90	0.85	6.17
61802502	Grande	48	0.58	0.65	-7.25	0.58	0.56	7.09
61861000	Grande	49	0.30	0.46	42.25	0.24	0.46	27.29
61865000	Grande	50	0.45	0.51	27.68	0.59	0.55	10.67
61941080	Grande	51	0.82	0.80	-5.72	0.88	0.82	-6.57
61991000	Grande	52	0.80	0.75	0.07	0.87	0.77	-0.56
61998080	Grande	53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
54010005	≥quitinhonh	1	0.84	0.84	-0.41	0.66	0.81	-35.58
54110002	≥quitinhonh	2	0.78	0.48	-0.40	0.62	0.76	-41.07
54140000	≥quitinhonh	3	0.84	0.48	-0.33	0.61	0.59	-38.43
54193000	≥quitinhonh	4	0.24	-0.08	-56.63	0.21	0.13	-78.97
54195000	≥quitinhonh	5	0.85	0.84	-3.75	0.52	0.67	-10.75
54230000	≥quitinhonh	6	0.78	0.70	11.28	0.68	0.60	-19.86
54260000	≥quitinhonh	7	0.76	0.71	7.41	0.60	0.42	-13.03
54300000	≥quitinhonh	8	-100.00	-100.00	-100.00	-100.00	-100.00	1000.00
54390000	≥quitinhonh	9	0.72	0.71	0.44	0.47	0.69	-25.27
54485000	≥quitinhonh	10	-1.09	0.02	68.47	0.17	0.32	17.34
54530000	≥quitinhonh	11	-100.00	-100.00	1000.00	-100.00	-100.00	1000.00
54540000	≥quitinhonh	12	0.57	0.16	-14.95	-100.00	-100.00	1000.00
54560000	≥quitinhonh	13	0.33	-2.85	19.61	0.47	-1.96	-2.51
54580000	≥quitinhonh	14	0.78	0.74	0.33	0.57	0.60	-13.59
54710000	≥quitinhonh	15	0.81	0.73	6.16	0.45	0.67	-19.51
54770000	≥quitinhonh	16	0.10	-0.42	65.65	0.51	0.32	-23.72
54780000	≥quitinhonh	17	0.72	0.59	4.47	0.44	0.32	-14.33
54940000	≥quitinhonh	18	0.78	0.64	8.60	0.70	0.69	-8.47
55520001	Mucuri	1	0.43	0.38	22.16	0.18	0.33	-46.80
55559000	Mucuri	2	0.20	-0.17	-2.95	0.23	0.40	-42.23
55560000	Mucuri	3	0.73	0.49	15.80	0.31	0.48	-40.49
55610000	Mucuri	4	0.52	0.49	27.04	0.29	0.44	-43.52
55568000	Mucuri	5	0.43	-0.20	25.37	0.33	0.41	-38.41
55630000	Mucuri	6	0.68	0.49	22.64	0.43	0.61	-32.11
55600000	Mucuri	7	-100.00	-100.00	1000.00	-100.00	-100.00	1000.00
55664000	Mucuri	8	0.16	0.23	-20.18	0.32	0.38	-14.66
55699998	Mucuri	9	0.70	0.48	18.99	0.52	0.67	-29.57
55720000	Mucuri	10	0.68	0.48	18.57	0.47	0.57	-33.41
58030000	iraiba do S	1	0.55	0.63	-2.48	0.33	0.52	-7.76
58040000	iraiba do S	2	0.61	0.71	-0.97	0.43	0.56	-26.65
58087080	iraiba do S	3	0.50	0.54	4.69	0.30	0.42	-28.74
58095000	iraiba do S	4	0.90	0.86	-9.83	0.83	0.66	-10.46
58110002	iraiba do S	5	0.82	0.82	1.20	0.59	0.50	-0.33
58128200	iraiba do S	6	0.52	0.57	0.31	0.40	0.52	-16.96
58139900	iraiba do S	7	-100.00	-100.00	1000.00	-100.00	-100.00	1000.00
58142200	iraiba do S	8	0.53	0.59	-1.62	0.57	0.54	-16.04
58183000	iraiba do S	9	0.55	0.60	-3.00	0.34	0.36	-10.04
58211000	iraiba do S	10	-100.00	-100.00	1000.00	-100.00	-100.00	1000.00
58230100	iraiba do S	11	-100.00	-100.00	1000.00	-100.00	-100.00	1000.00
58240080	iraiba do S	12	0.80	0.77	9.32	0.46	0.50	-10.50
58305001	iraiba do S	13	0.88	0.87	-3.71	0.82	0.35	-8.74
58318000	iraiba do S	14	0.88	0.85	6.61	0.84	0.86	-2.33

(Continua)

58350001	Paraíba do Sul	15	0.21	0.21	-4.95	-100.00	-100.00	1000.00
58380001	Paraíba do Sul	16	0.88	0.81	16.01	0.91	0.88	14.24
58385100	Paraíba do Sul	17	-100.00	-100.00	1000.00	-100.00	-100.00	1000.00
58400250	Paraíba do Sul	18	-100.00	-100.00	1000.00	-100.00	-100.00	1000.00
58405000	Paraíba do Sul	19	0.13	-0.06	34.08	-0.10	-0.64	64.31
58434000	Paraíba do Sul	20	-1.12	-1.19	87.51	-1.01	-0.96	96.97
58420000	Paraíba do Sul	21	-0.20	-0.62	69.35	-100.00	-100.00	1000.00
58425000	Paraíba do Sul	22	-0.64	-0.48	73.21	-0.01	-0.02	48.51
58442000	Paraíba do Sul	23	0.68	0.54	-9.31	-100.00	-100.00	1000.00
58550001	Paraíba do Sul	24	0.71	0.72	-10.52	0.76	0.77	3.12
58585000	Paraíba do Sul	25	0.76	0.82	-1.40	0.77	0.86	3.76
58512040	Paraíba do Sul	26	0.67	0.76	-1.31	0.31	0.48	-19.00
58516500	Paraíba do Sul	27	0.70	0.62	14.71	0.53	0.67	-3.48
58480500	Paraíba do Sul	28	0.69	0.68	0.25	0.54	0.56	2.11
58520000	Paraíba do Sul	29	0.77	0.75	6.66	0.68	0.73	-6.46
58591000	Paraíba do Sul	30	0.80	0.73	2.92	0.11	0.52	-14.24
58610000	Paraíba do Sul	31	0.68	0.78	3.01	0.51	0.43	-4.04
58645000	Paraíba do Sul	32	0.23	0.28	-0.03	0.09	0.17	-18.98
58658000	Paraíba do Sul	33	0.53	0.59	0.47	-100.00	-100.00	1000.00
58670002	Paraíba do Sul	34	0.53	0.51	-8.23	0.21	0.47	-22.16
58680001	Paraíba do Sul	35	-100.00	-100.00	1000.00	-100.00	-100.00	1000.00
58710000	Paraíba do Sul	36	0.37	0.67	4.06	-100.00	-100.00	1000.00
58735000	Paraíba do Sul	37	0.69	0.76	-0.37	0.48	0.22	-33.47
58736000	Paraíba do Sul	38	0.45	0.50	5.66	0.47	0.40	-32.82
58765001	Paraíba do Sul	39	0.55	0.64	-3.74	0.74	0.73	-7.53
58770000	Paraíba do Sul	40	0.79	0.78	3.00	0.62	0.62	-24.51
58779000	Paraíba do Sul	41	-100.00	-100.00	1000.00	-100.00	-100.00	1000.00
58790002	Paraíba do Sul	42	0.79	0.74	4.57	0.66	0.67	-23.51
58870000	Paraíba do Sul	43	0.40	0.34	11.04	0.35	0.10	1.31
58850000	Paraíba do Sul	44	0.74	0.66	0.03	0.23	-0.15	-35.29
58874000	Paraíba do Sul	45	0.61	0.65	5.25	0.36	0.30	-22.41
58930000	Paraíba do Sul	46	0.75	0.66	-0.79	0.41	0.42	-44.10
58930500	Paraíba do Sul	47	-0.05	-0.08	-92.60	0.35	0.59	-45.98
58917000	Paraíba do Sul	48	0.72	0.70	-6.90	0.35	-0.05	-45.02
58938000	Paraíba do Sul	49	-100.00	-100.00	1000.00	-100.00	-100.00	1000.00
58922000	Paraíba do Sul	50	-100.00	-100.00	1000.00	-100.00	-100.00	1000.00
58940000	Paraíba do Sul	51	0.77	0.52	11.62	0.45	0.62	-35.95
58960000	Paraíba do Sul	52	0.75	0.50	11.92	0.46	0.63	-32.98
58972300	Paraíba do Sul	53	-100.00	-100.00	1000.00	-100.00	-100.00	1000.00
60010000	Paranaíba	1	0.62	0.65	7.03	0.63	0.80	-20.14
60011000	Paranaíba	2	0.65	0.67	10.11	0.86	0.72	1.39
60012100	Paranaíba	3	0.63	0.75	-5.63	0.77	0.61	-16.27
60110000	Paranaíba	4	0.47	0.41	-7.42	0.58	0.41	-6.80
60150000	Paranaíba	5	0.35	0.50	-7.05	0.36	0.27	7.72
60160080	Paranaíba	6	0.62	0.78	6.61	0.72	0.74	-10.27
60230080	Paranaíba	7	0.72	0.65	-9.23	0.58	0.65	-24.74
60280000	Paranaíba	8	-100.00	-100.00	1000.00	-100.00	-100.00	1000.00
60610080	Paranaíba	9	0.85	0.89	1.47	0.76	0.83	-12.94
60842000	Paranaíba	10	0.66	0.78	2.62	0.46	0.28	-17.57
60845000	Paranaíba	11	0.64	0.72	9.99	-0.53	-0.08	60.62
60855000	Paranaíba	12	0.71	0.77	0.14	0.55	0.59	-18.10
60877080	Paranaíba	13	0.86	0.87	3.05	0.79	0.84	-6.70
53460500	Pardo	1	0.62	0.14	-9.43	0.51	0.50	-47.11
53470000	Pardo	2	-100.00	-100.00	1000.00	-100.00	-100.00	1000.00
53490000	Pardo	3	-100.00	-100.00	1000.00	-100.00	-100.00	1000.00
53540000	Pardo	4	-100.00	-100.00	1000.00	-100.00	-100.00	1000.00
53620000	Pardo	5	-3.76	-0.32	111.88	0.20	-0.35	-50.54
40050000	São Francisco	1	0.84	0.85	3.00	0.82	0.81	-7.09
40100000	São Francisco	2	0.85	0.89	-0.86	0.83	0.91	-13.85
40330000	São Francisco	3	0.66	0.63	3.30	0.75	0.79	-14.95
40410200	São Francisco	4	0.30	0.56	-32.68	-0.20	0.08	-91.24
40450001	São Francisco	5	0.64	0.09	10.36	0.16	0.32	0.03
40710000	São Francisco	6	0.73	0.81	1.89	0.82	0.43	-7.34
40740000	São Francisco	7	0.77	0.82	1.21	0.80	0.83	-11.80
40800001	São Francisco	8	0.82	0.85	-0.07	0.81	0.77	-17.65
40865001	São Francisco	9	0.11	-0.04	61.67	0.66	0.59	22.98
40865480	São Francisco	10	0.37	-0.15	83.54	0.83	0.49	30.94
40963000	São Francisco	11	0.48	0.52	-29.45	0.62	0.73	-22.71
40990080	São Francisco	12	-0.75	-2.00	-6.93	-0.08	-3.06	-16.01

(Conclusão)

41075001	São Francisco	13	0.38	0.55	-5.76	0.53	-0.03	4.26
41090002	São Francisco	14	0.62	0.33	14.28	0.38	0.43	19.11
41135000	São Francisco	15	0.85	0.84	-9.50	0.91	0.89	-7.88
41200430	São Francisco	16	0.85	0.84	-5.28	0.79	0.72	-21.09
41340000	São Francisco	17	0.85	0.84	4.27	0.80	0.76	-8.22
41410000	São Francisco	18	0.85	0.82	6.72	0.83	0.67	-3.66
41650002	São Francisco	19	0.85	0.80	5.63	0.79	0.84	-8.09
41780002	São Francisco	20	0.82	0.89	-1.66	0.62	0.70	-35.15
41990000	São Francisco	21	0.83	0.87	-5.92	0.74	0.85	-23.87
42210000	São Francisco	22	0.90	0.87	8.97	0.88	0.79	0.55
42290000	São Francisco	23	0.80	0.81	1.63	0.62	0.67	-28.80
42365000	São Francisco	24	0.49	0.27	-13.48	0.51	0.16	-4.87
42459080	São Francisco	25	-0.41	-0.34	-6.69	-1.32	-1.43	-18.93
42480500	São Francisco	26	-100.00	-100.00	1000.00	-100.00	-100.00	1000.00
42600001	São Francisco	27	-100.00	-100.00	1000.00	-100.00	-100.00	1000.00
42690001	São Francisco	28	0.85	0.78	12.93	0.81	0.89	-8.24
42850000	São Francisco	29	0.67	0.70	-3.58	0.70	0.75	-13.40
42980000	São Francisco	30	0.86	0.82	8.45	0.88	0.86	0.98
43300000	São Francisco	31	0.66	0.72	7.53	0.53	0.76	-32.48
43429998	São Francisco	32	0.76	0.69	13.19	0.52	0.82	-34.54
43980002	São Francisco	33	0.84	0.78	7.83	0.57	0.71	-23.65
44200000	São Francisco	34	0.90	0.86	13.44	0.91	0.88	-0.60
44630500	São Francisco	35	0.61	0.69	7.71	0.70	0.78	-0.53
44640000	São Francisco	36	0.42	0.25	26.20	0.45	0.72	-7.18
44670000	São Francisco	37	0.40	-0.37	68.88	0.44	0.02	36.37
44940000	São Francisco	38	0.30	-0.93	48.69	0.55	-0.39	9.20
45131000	São Francisco	39	0.81	0.84	2.36	0.72	0.82	-7.86
45170001	São Francisco	40	0.57	0.63	0.98	0.51	0.65	7.81
45260000	São Francisco	41	0.77	0.77	9.28	0.80	0.75	9.17
45298000	São Francisco	42	0.84	0.83	16.69	0.80	0.04	6.54
45480000	São Francisco	43	0.80	0.82	17.41	0.81	0.05	7.62
45590000	São Francisco	44	-1.20	-0.71	23.29	-1.76	-1.10	31.83
45740001	São Francisco	45	-3.12	-1.50	62.41	-0.81	-0.57	64.26
45770000	São Francisco	46	0.55	0.61	-2.68	0.48	0.23	-2.15
45840000	São Francisco	47	0.59	0.51	-8.80	0.62	0.45	-5.08
45960001	São Francisco	48	-0.01	-0.02	27.90	0.40	0.13	29.63
46110000	São Francisco	49	0.46	-1.45	29.22	-0.08	-0.09	-77.86
46150001	São Francisco	50	-252.23	-39.06	8874.55	-25.84	-2.14	430.65
46295000	São Francisco	51	0.32	-3.50	39.65	0.26	-1.35	-37.82
46360000	São Francisco	52	0.72	0.79	19.70	0.78	0.06	8.24
46415000	São Francisco	53	0.47	0.45	-13.77	0.71	0.67	-14.62
46453500	São Francisco	54	-0.24	-0.03	-18.43	-1.36	-3.79	-27.96
46543000	São Francisco	55	0.66	0.68	2.63	0.53	0.54	-14.58
46590000	São Francisco	56	0.73	0.73	-2.39	0.64	0.47	-11.63
46675000	São Francisco	57	0.32	0.50	19.38	0.76	0.76	4.10
46790000	São Francisco	58	0.70	0.68	-0.02	0.68	0.74	-7.16
46870000	São Francisco	59	0.61	0.65	8.61	0.65	0.77	-2.73
46902000	São Francisco	60	0.35	0.53	15.75	0.70	0.71	0.82
47249000	São Francisco	61	0.12	-3.03	-23.54	0.20	-1.72	-26.21
47750080	São Francisco	62	-5.42	-1.38	49.38	-1.53	-1.26	30.80
49042580	São Francisco	63	0.73	0.80	0.06	0.75	0.54	0.71
49210070	São Francisco	64	0.19	0.67	15.51	-3.32	-0.27	23.96
49340080	São Francisco	65	0.58	0.72	-17.75	0.27	0.40	-21.74
49775100	São Francisco	66	-100.00	-100.00	1000.00	-100.00	-100.00	1000.00
55779000	São Mateus	1	0.65	0.42	21.06	-100.00	-100.00	1000.00
55780000	São Mateus	2	-100.00	-100.00	-100.00	-100.00	-100.00	1000.00
55790000	São Mateus	3	0.37	0.45	10.63	-100.00	-100.00	1000.00
55795000	São Mateus	4	-100.00	-100.00	1000.00	-100.00	-100.00	1000.00
55800000	São Mateus	5	-100.00	-100.00	1000.00	-100.00	-100.00	1000.00
55800005	São Mateus	6	0.62	0.56	-6.81	0.42	0.59	-46.95
55850000	São Mateus	7	0.65	0.57	4.42	0.71	0.52	-33.23
55884990	São Mateus	8	0.66	0.20	5.54	0.32	0.43	-46.88
55884998	São Mateus	9	-100.00	-100.00	1000.00	-100.00	-100.00	1000.00
55895000	São Mateus	10	-100.00	-100.00	-100.00	-100.00	-100.00	1000.00
55900000	São Mateus	11	0.06	-4.76	-83.32	-0.32	-10.07	-87.69
55910000	São Mateus	12	-100.00	-100.00	1000.00	-100.00	-100.00	1000.00
55915000	São Mateus	13	-100.00	-100.00	1000.00	-100.00	-100.00	1000.00
55920000	São Mateus	14	0.50	0.45	-46.10	0.11	0.22	-69.72
55940000	São Mateus	15	-100.00	-100.00	1000.00	-100.00	-100.00	1000.00
55950000	São Mateus	16	-100.00	-100.00	1000.00	-100.00	-100.00	1000.00
55960000	São Mateus	17	0.69	0.60	-18.83	0.50	0.46	-51.76

APÊNDICE C

Resultado da análise das previsões (01/07/2021 – 31/12/2024)

(Continua)

ID	Posto	EMA 1 dia	EMR 1 dia	EMA 2 dias	EMR 2 dias	EMA 3 dias	EMR 3 dias	EMA 4 dias	EMR 4 dias	EMA 5 dias	EMR 5 dias	EMA 6 dias	EMR 6 dias	EMA 7 dias	EMR 7 dias	EMA 8 dias	EMR 8 dias
56028000	5.646344538	0.164183458	7.36044586	0.186137955	8.499271949	0.209049156	8.958814655	0.224962056	9.193857759	0.243292634	9.620711207	0.255606361	10.00786638	0.266213904	10.01987097	0.272118335	
56055000	10.79303774	0.299224722	11.90690566	0.31397001	12.43109641	0.323995824	12.65418561	0.33089624	12.80134725	0.333285219	12.89209125	0.334556326	13.0784381	0.337285493	12.90675573	0.340116859	
56095000	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
56097000	33.3836166	0.288818228	42.59158416	0.331157567	47.43803181	0.357638594	50.25570858	0.376166153	51.87056	0.387735809	52.92458918	0.396833839	54.13060241	0.404609513	54.66080321	0.410869679	
56110005	21.65981132	0.196604276	30.91820755	0.219282182	38.47438563	0.249510186	42.5266997	0.269864536	44.93514231	0.283572014	46.43956274	0.293570853	47.96862857	0.302730381	48.80471374	0.309526561	
56337500	23.04829327	10.7592808	26.79555556	7.645165047	27.9634466	7.104401941	28.87121951	6.7111737383	29.17803922	3.917208722	29.79022059	3.64093045	30.34525799	2.993307845	30.59548148	2.806714335	
56338080	46.9134717	0.215633201	58.77049057	0.235019976	68.45410208	0.26164207	74.32846591	0.283510009	77.85345531	0.299049693	79.99631179	0.310386624	82.31032381	0.3200915	83.21148855	0.326980388	
56425000	32.93103774	0.166411656	33.47328302	0.168637261	33.79784499	0.169833318	33.79734484	0.170310745	33.81387097	0.170948937	33.80260456	0.171649783	33.75384762	0.172165738	33.72732824	0.172794934	
56415000	15.44245283	0.356044544	18.75439623	0.403573171	20.04119093	0.423706464	20.78193182	0.436627855	21.31857685	0.446448191	21.62224335	0.454256359	22.07632381	0.461158623	22.21891221	0.465917874	
56510000	11.84604478	0.457660521	13.13485075	0.492136132	13.76373134	0.516423777	14.12902985	0.533614461	14.33544776	0.545253091	14.49261194	0.553082913	14.62268657	0.558980467	14.73679104	0.564003498	
56539000	60.18901887	0.226459049	67.34667925	0.243607373	72.16342155	0.254403952	74.57193182	0.260572765	76.20117647	0.265085466	77.20271863	0.26860988	77.78068571	0.271329183	78.18763359	0.273592246	
56570000	4.82198044	0.358108522	5.382162162	0.384366155	5.669135802	0.401287311	5.765657568	0.408441926	5.772114428	0.413338487	5.803731343	0.420795176	5.870422886	0.427438019	5.901940299	0.432266589	
56661000	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
56696000	36.80102041	0.39421755	52.5472449	0.443851619	59.05135204	0.466933478	63.23344388	0.482986085	65.9497449	0.495083487	68.09864796	0.505884329	69.5894898	0.514372738	70.49941327	0.521976395	
56719998	97.86943182	0.276080911	116.865928	0.296422139	134.2463188	0.317357392	143.6915209	0.3294402917	149.3596571	0.337162903	153.1775573	0.342980206	155.4857744	0.347614926	157.1022605	0.351239412	
56787100	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
56775000	11.20560976	0.303542174	13.12967213	0.273248786	13.67363636	0.276031326	13.99041667	0.280453807	14.18655462	0.283346236	14.32550847	0.284727768	14.43777778	0.285394154	14.53655172	0.285612895	
56776500	42.98218978	0.454339	58.48745721	0.510830036	62.74184729	0.535418865	65.42681592	0.550708027	66.37125313	0.561864923	66.9425	0.571154538	67.64491094	0.579203938	68.29387179	0.583207864	
56800000	7.468603774	0.38836677	8.169672925	0.385209679	8.63584121	0.393583862	8.975378788	0.403045522	9.165901328	0.410570298	9.362490494	0.416593061	9.537561905	0.421551335	9.625171756	0.42107019404	
56803000	10.3231293	0.399087698	11.68129693	0.431507773	12.41295533	0.445821817	12.852597702	0.455297702	13.1169338	0.463898458	13.32625874	0.469433923	13.58519298	0.475726694	13.70089086	0.479975749	
56819081	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
56820100	61.14792453	0.417936317	84.99771698	0.477303554	92.49436673	0.500840039	96.31477273	0.514323581	98.18952562	0.523992689	99.36361217	0.531957582	100.5418476	0.539138464	101.7316603	0.54548781	
56825000	17.63888679	0.145798745	17.3799434	0.14572031	17.06733459	0.144821884	17.20422348	0.145864786	17.07293023	0.144845811	17.02492395	0.146553746	17.03586667	0.14736322	17.14854962	0.14777856	
56831000	19.1723295	0.30820264	197.1413636	0.311196383	202.8497343	0.318245814	205.899981	0.323627175	208.3628762	0.328831766	210.6655114	0.333516115	213.43413	0.338011906	216.0751916	0.342360184	
56846000	19.9950943	0.442451932	21.2805387	0.457638568	22.38482042	0.469452663	23.20998106	0.479821165	23.73914611	0.487005406	24.21412548	0.493858237	24.63266667	0.499574409	24.95072519	0.504641025	
56846890	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
56850000	131.9277925	0.212813783	134.4617547	0.217490534	163.5443478	0.2375074	179.7305682	0.248969425	189.9807021	0.257533436	197.0064449	0.264100919	201.931981	0.269398259	205.0732824	0.273555004	
56860000	11.24560377	0.445370238	12.165	0.41205346	12.97901701	0.410407586	13.60469697	0.41625277	14.08072106	0.422554886	14.42351711	0.427806446	14.6912381	0.43353264	14.97958015	0.439660067	
56891900	27.474	0.434916979	32.3194717	0.450248611	35.62508507	0.470364264	40.70364264	0.482505964	39.06248577	0.490717624	40.12503802	0.498313655	40.80226667	0.50435078	41.20774809	0.509228026	
56895000	42.91695175	0.504212413	46.8704386	0.518346629	50.47784411	0.539640169	52.58873894	0.554693878	54.17478936	0.566332945	55.33997778	0.574422603	56.1281069	0.580689325	56.6800232	0.58590975	
56935000	6.343603774	0.426244515	6.79886792	0.452444361	7.078922495	0.464976287	7.361420455	0.474283182	7.525370019	0.481104586	7.675931559	0.485699529	7.517466667	0.490081382	7.573492366	0.493850481	
56940002	17.99449057	0.533973705	20.55526415	0.545950985	21.83236295	0.562352947	22.58049242	0.571927031	23.42455408	0.57883965	24.16319392	0.583993842	24.54398095	0.587455417	24.78141221	0.590124618	
56990850	230.111	0.258995264	141.6344819	0.193460906	165.3263894	0.206335463	189.1631061	0.222435043	204.595389	0.234965173	213.8471673	0.242918068	219.9719048	0.249809961	224.8969374	0.25547319	
56960005	13.66567925	0.597600716	14.89603774	0.631266022	15.45066163	0.648129551	15.80232955	0.659535728	15.92931689	0.666953717	15.99376426	0.672436447	16.17215238	0.676819886	16.2170229	0.679690628	
56978000	24.8119898	0.379092908	28.54392857	0.408416055	30.07821429	0.420909591	30.94316327	0.427910752	31.55336735	0.43275079	32.01464286	0.436305699	32.44910714	0.439308237	32.89589286	0.441410484	
56988500	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
56989001	8.312133333	0.320267094	8.842748092	0.331885819	9.201551724	0.339606381	9.530192308	0.345492728	9.801445087	0.350573605	10.09474903	0.356338651	10.36655706	0.36217717	10.65573643	0.368350439	
56989400	18.811707547	0.380969246	22.35477358	0.398479666	23.91973535	0.408299892	25.08714015	0.416209347	26.01521822	0.42332127	26.57798479	0.42944181	27.00514286	0.434945549	27.36532443	0.439015349	
56989900	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
56992400	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
61009000	3.560510204	0.133393194	4.330481633	0.154834196	4.903494898	0.172466267	5.304846939	0.185414594	5.580459184	0.195395608	5.723137755	0.201337369	5.778622449	0.205704506	5.786862245	0.208186071	
61012000	19.08502551	0.26397586	21.70280612	0.290276763	23.68964286	0.310782943	25.05586735	0.325743689	25.98961735	0.336334003	26.5922449	0.344540853	26.93170918	0.350256061	26.96538265	0.355186339	
61014000	4.179594082	0.511182524	4.163418367	0.518656423	4.144591837	0.52114613	4.125306122	0.522124959	4.118290816	0.521473206	4.073877551	0.520276684	3.994311224	0.520013549	3		

(Continua)

61712000	7.923509434	1.31733893	8.847735849	0.322925315	8.935245248	0.33406879	9.028476169	0.334395967	0.9385471	0.332993534	9.00656604	0.3308198	9.04628309	0.32886112	8.975811321	0.327120131
61730080	14.9071312	0.202357685	163.2759434	0.159273892	165.2764511	0.222231708	164.7341674	0.220460092	163.655411	0.220764789	164.5465038	0.221770809	162.3862642	0.32642531	161.3517547	0.21978345
61731080	42.96598113	0.06641213	43.78856604	0.067573986	43.84377358	0.06805159	43.79408187	0.06785399	43.73702548	0.067799192	43.91192453	0.06805371	43.49390566	0.067429434	43.22624515	0.066985421
61734080	13.1363506	0.34949363	16.2691208	0.04424944	16.08238074	0.04396431	15.81820755	0.04083339	15.69710374	0.043690326	16.30590562	0.043749811	36.204	0.063410824	36.02265849	0.04319296
61760800	190.206374	0.77884345	194.4305472	0.783529156	197.121717	0.786832974	197.7518113	0.78781749	196.9217736	0.783522615	197.1836226	0.788581529	196.4215283	0.78510866	196.6413962	0.785901701
61794000	4.36086982	1.14630110	4.61715043	1.05588597	4.90766037	1.02489091	5.088396226	1.00362363	5.19390566	0.98882854	5.201226415	0.983096721	5.19922645	0.98148015	5.09867925	0.97341229
61795100	14.2738245	0.34077233	26.3335321	0.46558882	27.4943403	0.46293558	28.37712446	0.453279538	28.80708423	0.43781561	28.94358696	0.39586079	28.92214442	0.45876128	28.6847241	0.43428129
61796800	13.35099493	0.23005571	13.061208	0.22572632	13.15737396	0.225252026	13.359556	0.22580313	13.9204253	0.22464378	13.3116981	0.224577884	13.26188113	0.22415589	13.1742626	0.2249546
61805200	9.18494258	0.22096154	10.385	0.24597346	11.9373536	0.26002334	12.70660038	0.271316801	13.1744396	0.279469191	13.46643639	0.28546161	12.6560813	0.29120358	13.72907547	0.29609854
61861000	5.81642583	0.385327314	3.80828039	0.39929739	3.98239034	0.354050716	3.853528302	0.35171139	3.89147618	0.34849555	3.8880966	0.345350921	3.87716981	0.34176824	3.92130755	0.340333091
61861000	8.31809457	0.456661533	9.49350965	0.428366843	9.348377538	0.49308809	10.23949057	0.494838236	10.43207255	0.50035592	10.54786792	0.500841182	10.66257417	0.501829241	10.69784096	0.500512489
61941800	303.9455283	0.198300858	298.466434	0.196211779	281.1531685	0.187869237	275.8692264	0.185175324	294.9361887	0.194275335	307.5859245	0.200201545	313.2926604	0.202166419	315.5359245	0.20315558
61945000	230.580197	0.146468675	247.4552140	0.155005499	254.6116288	0.1590625	255.4096719	0.157107253	255.9545691	0.159292593	254.9927652	0.160366296	256.7941531	0.160858158	256.7566477	0.161392996
61998000	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na
54010005	58.33120755	0.387388692	66.26513208	0.452052243	62.45028302	0.440115419	61.6739434	0.431752895	62.58879245	0.416461767	61.46086792	0.391949169	59.50783019	0.368265254	57.68892453	0.352457185
54110002	5.69222802	0.913694428	17.9489434	0.86924168	18.85766954	0.87360794	19.29401887	0.88309435	19.46786792	0.891084152	19.64159034	0.896165295	19.16741509	0.899237658	18.92030189	0.901471669

(Continua)

58765001	17.50730088	0.442664334	21.00371681	0.45106697	22.14716814	0.460329123	23.04685841	0.467132939	23.65654867	0.47222616	24.30473451	0.476145123	24.86902655	0.478506154	25.06084071	0.477403368
58770000	46.59341509	0.306129085	58.14824528	0.352487795	60.88083019	0.369134044	62.67528302	0.379896189	63.76903774	0.387117767	64.738	0.392799148	65.33460377	0.397573866	64.8024717	0.401676691
58779000	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
58790002	56.45973585	0.327143304	71.2440566	0.358349874	79.54090566	0.382995579	82.38320755	0.394581557	84.32111321	0.401929919	85.68554717	0.407786388	86.74258491	0.412288094	87.01475472	0.415941218
58870000	4.815943396	0.442655607	5.171056604	0.439098966	5.348698113	0.443081862	5.466283019	0.446609309	5.539622642	0.448619129	5.576226415	0.449105929	5.580245283	0.448557736	5.559962264	0.44734068
58850000	19.31696226	0.477383927	21.28875472	0.518144663	21.52730189	0.523590936	21.66598113	0.526493831	21.77420755	0.529243339	21.84626415	0.531570647	21.99969811	0.534301671	22.02603774	0.536761307
58874000	22.69281132	0.404723887	25.45920755	0.428394441	25.98824528	0.435244699	26.27958491	0.438634531	26.48028302	0.440415054	26.61277358	0.441939841	26.67418868	0.443201041	26.71441509	0.444317092
58930000	9.633396226	0.468783288	9.966433962	0.479821636	10.03573585	0.482244065	10.13479245	0.484641303	10.18169811	0.486849608	10.17624528	0.489478767	10.3015283	0.492064291	10.31898113	0.493719687
58930500	14.33162791	0.447723541	15.08372816	0.462843526	15.22830739	0.46557167	15.37551657	0.467569509	15.44082031	0.468545714	15.36679061	0.469867192	15.52733333	0.472317525	15.62628684	0.47340158
58917000	13.96177358	0.444617448	14.36692453	0.452887481	14.5295283	0.457433635	14.69639623	0.461655242	14.79381132	0.465930862	14.84186792	0.470142511	15.03213208	0.474482268	15.0215283	0.477973391
58938000	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
58922000	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
58940000	63.64977358	0.412303541	71.31645283	0.436937729	72.58658491	0.440721725	73.28488679	0.442318757	73.77767925	0.443407617	74.05350943	0.444433462	74.95818868	0.446053197	76.04937736	0.447670636
58960000	65.63011321	0.385601512	73.9045283	0.406415508	76.43211321	0.412412037	77.2420566	0.41359223	77.71758491	0.413883665	77.99581132	0.41395242	78.62454717	0.414516149	79.45375472	0.41493544
58972300	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
60010000	21.18267925	0.15070519	26.33626264	0.178783988	29.3805482	0.198230035	31.27492424	0.211427147	32.64422884	0.220958393	33.6660076	0.228461823	34.33954286	0.233894904	34.66398855	0.238269366
60011000	14.21767557	0.27917297	19.07869981	0.259239472	23.57470252	0.262783193	26.61364162	0.26881277	28.87021277	0.274203837	30.60329457	0.283902468	31.95423201	0.280785308	32.89735409	0.282788298
60012100	56.81615854	0.298403398	46.32052846	0.27431796	56.97716904	0.297508669	65.2182449	0.317058896	70.82834962	0.330008487	73.34030328	0.339090248	77.31172131	0.34616569	79.57221766	0.351907345
60011000	12.78015094	1.15104247	14.23783019	1.147762877	14.92818526	1.15164572	1.154788758	1.156119545	1.153972528	1.151663498	1.15185239	1.15737333	1.149784341	1.149784341	1.152328244	1.146898871
60150000	5.704220532	0.675858335	6.13819916	0.671255864	6.386552381	0.673979382	6.52730916	0.676290078	6.616940727	0.6772200924	6.622068966	0.674364306	6.528253359	0.671180256	6.287619962	0.668893414
60160080	181.5163019	0.365294173	176.2621132	0.353813514	166.2251985	0.344022865	176.9538447	0.359871562	200.9799241	0.392587634	212.6403422	0.409542394	217.4263429	0.416578957	220.0795229	0.421105966
60230080	38.95615894	0.359829943	47.97688053	0.416609905	52.14622222	0.445638365	54.42116071	0.461699047	55.34580717	0.471556138	56.13797297	0.478801283	56.70608597	0.484336542	56.66425	0.4885517
60280000	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
60610080	636.0843774	0.3686201	592.5367925	0.350323733	571.9546125	0.340390351	557.8146591	0.335462833	584.4139469	0.349575006	638.5954183	0.374653273	675.1392381	0.392036794	692.0570038	0.400768106
60842000	24.93210277	0.412170195	29.41765152	0.462575816	31.63622391	0.488414746	32.73973384	0.502895367	33.54053333	0.512343789	34.09055344	0.518245872	34.3232696	0.521988534	34.14145594	0.52431786
60845000	16.10753731	0.895215489	15.43813433	0.855455697	15.47089552	0.84340755	15.50029851	0.8359903238	15.42783582	0.827769968	15.30477612	0.819433918	15.19522388	0.812133652	15.05746269	0.804684842
60855000	19.41137736	0.399041691	23.83873585	0.442339489	27.21848771	0.481411647	29.62562688	0.508289932	31.24669829	0.527135555	32.19711027	0.539569063	32.87493333	0.5489774	32.80740458	0.55636859
60877080	1049.874472	0.398147092	966.5608113	0.372311049	895.1838563	0.350691839	892.5064962	0.350084457	919.9944782	0.357320696	934.3710266	0.36164002	970.8618476	0.372792025	1029.354389	0.390110991
53460500	2.001541426	0.304707324	2.703930636	0.339075036	3.38105973	0.294041118	3.870828516	0.298783064	4.25495183	0.32329434	4.572601156	0.3496813	4.856705202	0.363854408	5.087726397	0.36094974
53470000	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
53490000	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
53540000	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
53620000	17.47303189	2.243432284	15.21437736	1.924550591	13.02037736	1.826455097	12.08228302	1.635187214	11.69388679	1.44486139	11.3935283	1.411124697	11.07796226	1.388433483	10.97569811	1.379699858
40050000	62.34358491	0.284092347	55.42526038	0.274605442	47.36766038	0.24329152	43.95960377	0.228709728	45.57945283	0.223616551	47.89649057	0.225760877	49.94260377	0.223946358	51.48420755	0.22651405
40100000	85.94337736	0.238387738	69.55677358	0.207110198	60.87939623	0.210490711	63.94562031	0.210978153	65.25900434	0.208139477	69.91849057	0.213408573	77.26007547	0.223649923	86.72766038	0.23812772
40330000	3.41075427	0.342605393	50.94756604	0.346849975	57.58243396	0.354985094	62.11186792	0.361723533	65.05465283	0.370224041	67.31839623	0.382121091	69.00701887	0.393952578	69.98006386	0.405961283
40410200	143.7120352	2.510573624	145.9525787	2.05399793	147.5013609	1.747649051	149.7303937	1.524437252	151.5734578	1.360504147	153.4440864	1.239168502	155.1311591	1.147284106	156.6826272	0.107592479
40450000	34.04501229	0.681203769	33.9162788	0.57067606	35.5205955	0.46367303	38.07084788	0.477746909	40.2573	0.390020943	42.03278195	0.408664483	43.34394472	0.42630663	45.74394472	0.42862661
40710000	18.57812623	0.286237223	24.38373757	0.325977992	26.9125249	0.354308591	28.69204771	0.376267207	29.91365805	0.392988271	30.70437376	0.405949782	31.48875248	0.418581491	31.17849055	0.426959321
40740000	27.09239623	0.35809035	35.68966226	0.392073723	40.21909434	0.418555531	42.8734771	0.43723931	44.62160377	0.45039821	45.63196226	0.460784972	46.5414717	0.469109292	46.98886792	0.474944279
40800001	36.47407574	0.649917769	46.92433962	0.58405295	54.28526415	0.599917341	58.50783019	0.618007674	61.31379245	0.63218154	63.09433962	0.644584043	64.32993623	0.653654933	64.84242528	0.660012229
40865001	53.52168016	1.706012152	43.8301636	1.251503754	42.99525773	1.607878072	45.9823285	0.94131226	60.21277824	0.849468269	64.37241597	0.744645244	67.01941053	0.73612408	68.06257384	0.735233563
40865480	63.7559434	0.494444336	51.26724528	0.49728198	50.31358491	0.523704457	60.24379245	0.511248412	68.94726415	0.508413658	74.59018868	0.508400631	78.67490566	0.509651399	81.33858491	0.510982357
40963000	25.57188571	1.288962438	30.9092	0.652842162	35.96034286	0.516348864	36.53158397	0.495734736	35.9563588	0.48594131	35.35032443	0.478879849	34.05274809	0.474600645	32.74801527	0.473933692
40990080	304.6806981	0.620119231	297.1136415	0.579761635	294.8455283	0.56837738	285.314906	0.541711956	284.9644906	0.54232954	276.4062264	0.507608767	268.2505849	0.47746941	263.1255849	0.45383643
41075001	10.32514925	0.174049259	9.933656716	0.986667015	10.73544776	0.941221971	11.09522388	0.923526218	11.19962687	0.904922023	11.24789507	0.889475862	11.33037313	0.878411993	11.1738806	0.871196077
41090002	45.81938489	8.87307678	45.5536145	6.60776482	46.4110664	6.124565845	46.47048485	5.922493233	46.11162272	5.67906361	45.39723557	5.501390236	45.33736392	46.98886792	47.4944279	48.4892275
41135000	11.51165094	0.121421144	19.4146415	0.128475141	123.5782453	0.132243217	126.0544151	0.134218133	127.2505849	0.134331924	126.2609434	0.133464073	124.9404717	0.131902262	122.391451	0.12980196
41204030	15.95818868	0.48402806	19.85009434	0.464244018	20.8565283	0.480236438	21.26030189	0.487786309	21.37535849	0.491356179	21.29484906	0.491726226	21.20050943	0.491258019	20.65526415	0.48928275
41340000	26.5016092	0.353345981	39.28431034	0.404368255	45.42837165	0.43056662	48.11772031	0.442250523	49.31030593	0.448816576	49.62645594	0.451282977	49.5977055	0.452668873	49.03708812	0.451870552
41410000	34.41314176	0.312911151	34.09051724													

(Conclusão)

45960001	34.80635849	0.266080644	39.76711321	0.296119097	37.12169811	0.280919266	35.64624528	0.270883094	34.66767925	0.264381609	34.12698113	0.260675612	33.88267925	0.259471447	34.04298113	0.260338816
46110000	5.439438202	1.592538256	5.502191011	1.510420477	5.559494382	1.452577067	5.601235955	1.425006602	5.613651685	1.391996011	5.621994382	1.375856768	5.60743662	1.364006972	5.591525424	1.357652762
46150001	1276.803267	522.911446	1269.199879	521.014661	1257.558745	515.700755	1236.414106	507.8860051	1215.810429	500.7892449	1212.938694	499.0023568	1236.054612	511.7097205	1260.31149	530.3437121
46295000	11.343663	7.614929731	10.96483395	7.260163652	10.85598513	6.875968114	10.79602996	6.558372756	10.78867925	6.25751053	10.68631179	5.908077684	10.64233716	5.524102234	10.57826255	5.408131814
46360000	698.2273208	0.273452686	690.1300755	0.268785183	689.9789811	0.268214589	698.8529623	0.270796439	713.1631321	0.275803863	726.2050377	0.281342763	720.7249245	0.280033772	682.1191132	0.265077038
46415000	4.57045283	0.188166205	5.06609434	0.204646157	5.583490566	0.221709033	6.026320755	0.236457998	6.38790566	0.249154425	6.706754717	0.260792596	6.980075472	0.271060336	7.206943396	0.279974837
46453500	10.38730189	0.285463784	11.06281132	0.301192143	11.73781132	0.316381264	12.34656604	0.330063198	12.87483019	0.342114248	13.33479245	0.352918091	13.73884906	0.362528113	14.09773585	0.37109261
46543000	6.915943396	0.158296804	7.515377358	0.169449556	8.316811321	0.184937216	9.145867925	0.200837486	9.805056604	0.214071396	10.3360377	0.224812955	10.77558491	0.233781585	11.17496226	0.241603954
46590000	6.691735849	0.168937667	7.509773585	0.181013175	8.41245283	0.195003704	9.272962264	0.209106538	10.01860377	0.2217262	10.57137736	0.23192088	11.0540566	0.241378321	11.5104717	0.250238131
46675000	34.46379245	0.168753779	29.07216981	0.147564322	20.82073585	0.116926099	20.25069811	0.113799854	21.87375472	0.119711834	24.22066038	0.130500154	26.66943396	0.142449214	28.94183019	0.154286509
46790000	8.827150943	0.083738883	9.969754717	0.093576414	12.21709434	0.11187269	14.06775472	0.12687025	15.58301887	0.139269366	16.78671698	0.14926511	17.73656604	0.157421488	18.47415094	0.164188494
46870000	17.96496226	0.130623801	16.47079245	0.119529645	12.044	0.087607595	11.13532075	0.083166856	11.24158491	0.083830412	12.44032075	0.093996821	13.9684717	0.106699904	15.33532075	0.118029266
46902000	58.64109434	0.184883121	57.91777358	0.183149186	50.86364151	0.166021767	41.65988679	0.146572824	40.66864151	0.142996715	42.23402453	0.145053419	44.89356604	0.151958415	48.08386792	0.161588051
47249000	2.876174497	15.67037531	2.632626263	14.32603707	2.417060811	13.12809198	2.24840678	12.08696176	2.090578231	11.21418329	1.94337884	10.34773275	1.801746575	9.528784463	1.660274914	8.802596812
47750080	560	0.400212833	543.0400755	0.38075157	534.8751321	0.368318175	535.9888491	0.368747436	532.5310943	0.373044437	526.5031698	0.36831129	508.9805283	0.349614433	491.4334906	0.330462232
49042580	300.7397547	0.239446756	300.2121321	0.237585591	280.1335094	0.22592448	297.9708868	0.231565406	313.769434	0.239499499	314.3912075	0.239132454	313.4591698	0.237735447	314.9253585	0.238035067
49210070	427.1963208	0.327592288	430.4531698	0.328631238	433.2859623	0.329472912	436.8100377	0.331086958	440.1740189	0.332287277	443.1486604	0.333319696	446.0866038	0.334647698	450.5655849	0.337329882
49340080	439.0837925	0.193323858	442.4958868	0.193572669	446.3672453	0.194413674	449.9074151	0.194920797	453.3366792	0.195482338	456.485717	0.196038919	458.8341509	0.196050169	461.8435849	0.196203192
49775100	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
55779000	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
55780000	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
55790000	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
55795000	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
55800000	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
55800005	13.57277358	0.615515909	14.01484906	0.54520165	14.74960377	0.558769206	15.40239623	0.582382248	15.88658491	0.60321042	16.24039623	0.621448405	16.50677358	0.637625173	16.71737736	0.651360555
55850000	19.243	0.587522349	21.29837736	0.547874836	23.75090566	0.572780034	25.76616981	0.602706454	27.40173585	0.626153669	28.71032075	0.646607364	29.74811321	0.664363225	30.50777358	0.678810327
55884990	4.994754717	0.872856917	5.36790566	0.846091379	5.640792453	0.848908503	5.817	0.854017387	5.92145283	0.855976215	5.994169811	0.857748054	6.017811321	0.860288389	6.050754717	0.861841356
55884998	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
55895000	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
55900000	1.551663405	0.920483322	1.586066536	0.934807275	1.601506849	0.941429612	1.605303327	0.944758069	1.604168297	0.946459464	1.6	0.947422719	1.59555773	0.947956117	1.591741683	0.948198384
55910000	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
55915000	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
55920000	31.05747449	0.802154558	32.36160714	0.781361323	33.19670918	0.786479349	33.87581633	0.793777034	34.38528061	0.798241145	34.73040816	0.801814711	35.01221939	0.806511636	35.23017857	0.810192819
55940000	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
55950000	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
55960000	54.57966038	0.654373039	59.00684906	0.643409688	63.31415094	0.664924356	66.26937736	0.684352582	68.5934717	0.700661594	70.38150943	0.714257845	71.75090566	0.726366098	72.79122642	0.736643254