

Diagnóstico hidroambiental para subsidiar a elaboração de projetos e a implantação de intervenções na área de contribuição da Barragem Bico da Pedra

Diagnosis for the development of projects and implementation of hydro-environmental interventions in the contribution area of the Bico da Pedra Dam

Antônio Duarte de Oliveira Neto¹, Laura Gomes da Costa², Amanda Neves Magalhães³, Rik Ferreira Alves⁴, Marcelo Casiuch⁵, Luiz Arnaldo Fernandes⁶,

Resumo

A degradação ambiental e a escassez hídrica têm motivado a elaboração e implantação de projetos hidroambientais voltados à recuperação dos recursos naturais e à melhoria das condições de uso da água. Na bacia do médio São Francisco, no Norte do Estado de Minas Gerais, várias ações estão sendo realizadas com a finalidade de mitigar os efeitos decorrentes da degradação ambiental que comprometem os recursos hídricos. Nesse contexto, objetivou-se com este trabalho elaborar um estudo hidroambiental para subsidiar a implementação de ações de revitalização ambiental na área de contribuição da barragem Bico da Pedra, com foco na recuperação dos recursos hídricos e na mitigação dos processos de degradação ambiental. Os resultados desse estudo permitiram uma visão abrangente dos aspectos físicos, bióticos e socioeconômicos que influenciam diretamente na dinâmica ambiental e na disponibilidade hídrica da região, essencial para orientar o planejamento e a implantação de intervenções hidroambientais adequadas à realidade local. Para a elaboração deste diagnóstico, utilizaram-se dados secundários de instituições oficiais, levantamentos de campo, análise espacial em sistemas de informação geográfica e mobilização social junto à comunidade local.

Palavras-chave: Bacias Hidrográficas; Revitalização Ambiental; Intervenções Hidroambientais; Controle de Erosão; Gestão Participativa.

Abstract

Environmental degradation and water scarcity have motivated the development and implementation of hydro-environmental projects aimed at recovering natural resources and improving water use conditions. In the middle São Francisco basin, in the north of the state of Minas Gerais, several actions are being carried out to mitigate the effects of environmental degradation that compromise water resources. In this context, this work aimed to develop a hydro-environmental study to support the implementation of environmental revitalization actions in the contribution area of the Bico da Pedra Dam, focusing on the recovery of water resources and the mitigation of environmental degradation processes. The results of this study provided a comprehensive view of the physical, biotic, and socioeconomic aspects that directly influence the environmental dynamics and water availability of the region, which is essential to guide the planning and implementation of hydro-environmental interventions appropriate to the local reality. For the development of this diagnosis, secondary data from official institutions, field surveys, spatial analysis using geographic information systems, and social mobilization with the local community were used.

Keywords: River Basins; Environmental Revitalization; Hydro-Environmental Interventions; Erosion Control; Participatory Management.

¹Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM - Brasil.

E-mail: antonio.duarte@ufvjm.edu.br

 <https://orcid.org/0009-0006-7844-6274>

²Universidade Federal de Pernambuco - UFPE - Brasil.

E-mail: lauragomes.gcosta@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0003-0948-5111>

³Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM - Brasil.

E-mail: neves-amanda.an@ufvjm.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0003-0516-6475>

⁴Universidade Federal de Uberlândia - UFU - Brasil.

E-mail: rikferreiraalves@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-8084-7951>

⁵Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ - Brasil.

E-mail: mcasiuch@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-8870-4122>

⁶Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG - Brasil.

E-mail: larnaldo@ufmg.br

 <https://orcid.org/0000-0002-9877-1924>

1 INTRODUÇÃO

A revitalização de bacias hidrográficas tem se consolidado como uma estratégia essencial para o enfrentamento da degradação ambiental, escassez hídrica e comprometimento dos serviços ecossistêmicos em regiões afetadas por usos inadequados do solo e pressões antrópicas. Nesse contexto, o Programa de Revitalização da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (PRSF), instituído pelo Decreto nº 8.834/2016, foi criado com o objetivo de promover “ações permanentes e integradas de preservação, conservação e recuperação ambiental que visem ao uso sustentável dos recursos naturais e à melhoria das condições socioambientais e da disponibilidade de água em quantidade e qualidade para os usos múltiplos” (Brasil, 2016).

Em Minas Gerais, essas ações vêm sendo coordenadas, entre outras, pela Unidade de Meio Ambiente (UMA) da 1ª Superintendência Regional da CODEVASF, por meio de projetos que incluem o controle de processos erosivos, proteção de nascentes, recuperação de matas ciliares e melhoria de infraestrutura rural. A TPF Engenharia, contratada para prestar serviços técnicos especializados no âmbito do PRSF, desenvolveu projetos hidroambientais em diversas sub-bacias, com destaque para a área de contribuição da barragem Bico da Pedra, localizada na sub-bacia do Rio Gortuba, com aproximadamente 162.860 hectares.

Essa região enfrenta um quadro crítico de escassez hídrica, reconhecido oficialmente pelas Portarias IGAM nº 57/2019 e 52/2020, agravado por sucessivos períodos de seca que comprometem o abastecimento público e as atividades produtivas, especialmente na agropecuária. Diante desse cenário, o Projeto Hidroambiental para a barragem Bico da Pedra foi estruturado em três etapas principais: (i) diagnóstico e mobilização social; (ii) identificação de áreas prioritárias e cadastramento de propriedades rurais; e (iii) elaboração e posterior implementação de projetos de engenharia para controle de degradação e recuperação ambiental.

Apesar da relevância da região para o abastecimento e a produção agropecuária, observa-se uma lacuna científica quanto à elaboração de planejamentos integrados que associem a degradação física do solo aos fatores bióticos e socioeconômicos. O problema central enfrentado é o avanço dos processos erosivos e a severa escassez hídrica na área de contribuição da barragem Bico da Pedra, cujas consequências ambientais e sociais demandam soluções urgentes. Nesse sentido, este estudo busca preencher essa lacuna, respondendo à demanda por um diagnóstico integrado que oriente ações concretas.

Nesse contexto, o objetivo geral deste trabalho foi elaborar um estudo hidroambiental integrado para subsidiar a implementação de ações de revitalização na área de contribuição da barragem Bico da Pedra, visando a recuperação dos recursos hídricos e a mitigação da degradação ambiental. Para o alcance deste propósito, definiram-se os seguintes objetivos específicos: caracterizar os aspectos físicos, bióticos e socioeconômicos da área de contribuição; identificar áreas prioritárias para intervenções hidroambientais; avaliar os processos erosivos e os fatores associados à degradação ambiental e propor medidas de

mitigação e conservação compatíveis com as condições locais.

Dessa forma, este estudo diferencia-se dos diagnósticos convencionais ao integrar informações físicas, bióticas e socioeconômicas em uma abordagem espacial voltada diretamente ao planejamento de intervenções hidroambientais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Revitalização de Bacias e Intervenções Hidroambientais

A bacia hidrográfica é consolidada como a unidade territorial e sistêmica ideal para o planejamento integrado e a gestão sustentável dos recursos hídricos (Guerrero *et al.*, 2023; Hordones *et al.*, 2025). Em regiões submetidas a intensas pressões antrópicas, a conversão de vegetação nativa para usos agropecuários sem manejo adequado altera a dinâmica hidrossedimentológica, resultando em processos de erosão acelerada (Schwambach *et al.*, 2024; Silva *et al.*, 2025a). Esse cenário é crítico em bacias de regiões semiáridas, onde a fragilidade natural dos solos e a irregularidade das chuvas elevam a vulnerabilidade à desertificação e à escassez hídrica severa (Ramalho *et al.*, 2025).

Nesse contexto, a revitalização de bacias, amparada por programas como o Programa de Revitalização da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (PRSF), envolve um conjunto de medidas estruturantes e não estruturantes voltadas à recuperação e conservação dos ecossistemas. As intervenções estruturantes (ou hidroambientais) visam, prioritariamente, mitigar o escoamento superficial direto, aumentar a infiltração de água no solo e abastecer o lençol freático (Ramalho *et al.*, 2025; Silva *et al.*, 2025b). Práticas como a construção de barraginhas, terraceamento e cercamento de nascentes são fundamentais para garantir a segurança hídrica e a resiliência dos ecossistemas frente às mudanças climáticas (Nicolete; Piroli, 2025; Hordones *et al.*, 2025).

2.2 Erosão Hídrica, Conservação do Solo e Áreas de Preservação

A erosão hídrica representa a principal causa de degradação física e química dos solos tropicais, resultando na perda de camadas férteis e no assoreamento de reservatórios estratégicos (Nicolete; Piroli, 2025; Santos *et al.*, 2025). Esse processo é regido pela interação de fatores como a erosividade da chuva (fator R), a topografia (fator LS), o manejo do solo (fator C) e a erodibilidade (fator K), que expressa a susceptibilidade intrínseca do solo à desagregação. Solos como os Neossolos Litólicos, predominantes em áreas de relevo acidentado no semiárido, apresentam elevada vulnerabilidade à degradação quando submetidos ao uso intensivo, exigindo diagnósticos precisos para a alocação de práticas conservacionistas.

As Áreas de Preservação Permanente (APPs), especialmente as matas ciliares e zonas de recarga, desempenham função vital como barreiras físicas e biogeoquímicas (Silva *et al.*, 2025b; Nicolete; Piroli, 2025). Elas interceptam sedimentos, estabilizam margens por meio do sistema radicular e favorecem a infiltração de água para recarga de aquíferos (Santana *et al.*, 2025; Silva *et al.*, 2025a). A reconstituição

dessas áreas, amparada por instrumentos como o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), é uma diretriz indispensável para reduzir a exportação de sedimentos e garantir a perenidade dos mananciais em bacias sob estresse hídrico (Silva *et al.*, 2025b; Hordones *et al.*, 2025).

2.3 Planejamento Ambiental com Análise Espacial e Gestão Participativa

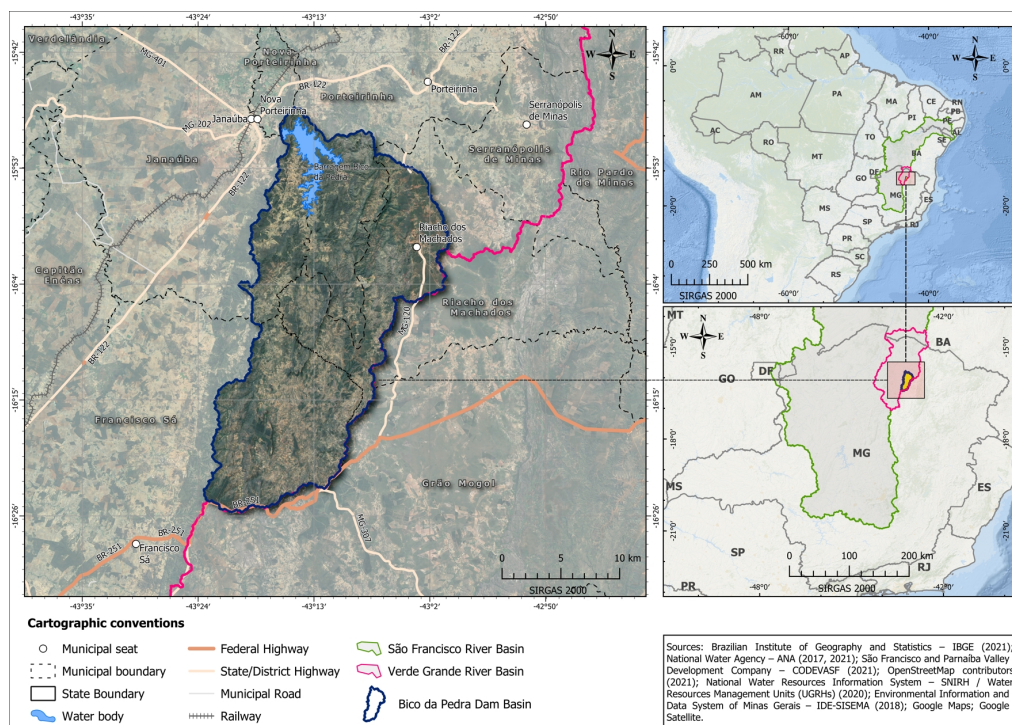
O planejamento hidroambiental exige a integração de volumosas bases de dados, sendo os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) ferramentas essenciais para mapear a susceptibilidade erosiva (Nicolete; Piroli, 2025). O uso de técnicas como a Análise de Decisão Multicritério e o cruzamento de dados do Cadastro Ambiental Rural (CAR) permite identificar propriedades prioritárias para intervenção com elevada precisão espacial (Ramalho *et al.*, 2025; Santana *et al.*, 2025). Entretanto, a literatura ressalta que diagnósticos remotos possuem limitações de escala, tornando a validação em campo e o levantamento de dados primários indispensáveis para calibrar modelos e identificar feições erosivas pontuais, como voçorocas.

Ademais, a sustentabilidade dos projetos de revitalização está fortemente associada à participação e ao envolvimento das comunidades locais (Hordones *et al.*, 2025). A eficácia das intervenções hidroambientais está condicionada à anuência e engajamento dos proprietários rurais para a execução e manutenção das obras em suas terras. Projetos que articulam a precisão técnica do geoprocessamento com campanhas de mobilização comunitária e transferência de conhecimento alcançam maior efetividade na implementação de ações de conservação de água e solo no longo prazo (Hordones *et al.*, 2025; Santos *et al.*, 2025).

3 METODOLOGIA

3.1 Localização da área de estudo

A área de estudo, área de contribuição da barragem Bico da Pedra, está localizada na sub-bacia do Rio Gortuba, integrante da bacia do Rio Verde Grande, afluente do Rio São Francisco (Figura 1).

Figura 1 – Sub-bacia do Rio Gorutuba, integrante da bacia do Rio Verde Grande

Fonte: (Ibge, 2021; Ana, 2017; Ana, 2021a; Ana, 2020; Codevasf, [s.d.]; Openstreetmap, 2021; Ide-sisema, 2018).

A área de contribuição da barragem Bico da Pedra está inserida na sub-bacia hidrográfica do Rio Gorutuba, abrangendo os municípios de Francisco Sá, Janaúba, Porteirinha e Riacho dos Machados, situados na mesorregião do Norte de Minas Gerais. Essa área integra a bacia do Rio Verde Grande, que, por sua vez, é afluente da margem direita do Rio São Francisco.

O acesso à região pode ser feito por diferentes rotas rodoviárias. Por montante da sub-bacia, o principal acesso se dá por meio da BR-251, sentido Francisco Sá, distante cerca de 72 km da cidade de Montes Claros/MG. Já por jusante, o trajeto ocorre pela mesma BR-251 até o entroncamento com a BR-122, seguindo em direção a Janaúba por, aproximadamente, 135 km até a estrada que leva ao balneário, com acesso direto ao reservatório de Bico da Pedra.

Segundo dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Ana, 2013), a bacia hidrográfica do Rio Verde Grande possui uma configuração alongada no sentido sul-norte, acompanhando o curso principal do rio, que apresenta desvio de direção para leste-oeste próximo à sua confluência com o Rio São Francisco, trecho que também marca a divisa entre os estados de Minas Gerais e Bahia.

Ainda, de acordo com a (Ana, 2013), o Rio Gorutuba é um dos principais afluentes da margem direita do Rio Verde Grande, contribuindo, significativamente, para sua vazão. A bacia do Verde Grande tem uma área total de 31.410 km², dos quais cerca de 87% (27.219 km²) estão localizados em Minas Gerais e 13% (4.191 km²) na Bahia. Para fins de gestão e planejamento, essa bacia foi subdividida em oito sub-bacias, sendo a área estudada pertencente à subdivisão denominada Alto Gorutuba (AG).

3.2 Diagnóstico da área de estudo

O desenvolvimento do trabalho adotou metodologias específicas para o diagnóstico e elaboração do Projeto Hidroambiental na área de contribuição da barragem Bico da Pedra, localizada na sub-bacia do Rio Gorutuba. Nesse sentido, neste trabalho são apresentados o diagnóstico hidroambiental da área de estudo e a proposição das intervenções hidroambientais dele decorrentes, sem o detalhamento dos respectivos projetos executivos posteriormente implantados.

Para caracterização e diagnóstico da bacia foram realizados levantamentos de campo, de dados secundários e reuniões com a população local. Ressalta-se que as atividades de mobilização social e levantamento socioeconômico integraram o escopo das ações institucionais do projeto formalizado junto à Codevasf. Para os fins deste artigo científico, não são apresentados dados cadastrais pessoais ou informações sensíveis dos proprietários rurais, utilizando-se exclusivamente dados agregados e sintetizados sobre o perfil socioeconômico e ambiental da área de contribuição. O tratamento das informações espaciais e cadastrais obedeceu às diretrizes de sigilo e à legislação vigente. Por se tratar de um diagnóstico ambiental baseado em dados agregados e reuniões institucionais de engajamento comunitário, o estudo não demandou submissão ao Comitê de Ética em Pesquisa.

Este diagnóstico abrangeu aspectos da área de contribuição da barragem, com foco nas condições ambientais da região e nas necessidades das populações beneficiadas pelas intervenções. Para a elaboração do diagnóstico, foram utilizados dados secundários provenientes de instituições e bases oficiais, incluindo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF), a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o projeto MapBiomass, a Embrapa Solos, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Minas Gerais (IDE-Sisema) e o Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR).

Os mapas temáticos produzidos foram elaborados com base em informações cartográficas e imagens de satélite, respeitando o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) compatível com a resolução espacial utilizada. Para garantir a consistência geográfica do trabalho, adotou-se como referência o sistema geodésico SIRGAS 2000, na projeção UTM Zona 23 Sul, e como Datum vertical o Imbituba, visto que a maior parte da área de estudo se encontra dentro desse fuso.

Essa abordagem integrada permitiu uma compreensão detalhada da situação ambiental da sub-bacia do Rio Gorutuba, servindo como base técnica e científica para a definição de áreas prioritárias para intervenção e para a elaboração dos projetos hidroambientais.

A partir dos levantamentos realizados, foram caracterizados os aspectos do meio físico (clima, hidrografia, morfometria da bacia, geologia, geomorfologia, classes de solo, erodibilidade, suscetibilidade e vulnerabilidade à erosão hídrica), do meio biótico (vegetação, uso e cobertura do solo e Áreas de

Preservação Permanente) e do meio socioeconômico (dinâmica populacional, saneamento básico e mobilização social).

Para a identificação e delimitação das áreas prioritárias de intervenção, realizou-se uma análise espacial utilizando o software QGIS 3.16.5. O procedimento consistiu no cruzamento dos polígonos das propriedades, obtidos do Cadastro Ambiental Rural (Sicar, 2021), com as classes de vulnerabilidade à erosão hídrica (alta e muito alta), conforme a classificação de Simões *et al.* (2020). Estabeleceu-se como critério de priorização as propriedades que apresentavam mais de 45% da sua área inserida nas referidas classes ou mais de 100 hectares em sobreposição com essas áreas.

Com base nessas informações, foram identificados os principais impactos ambientais decorrentes dos processos erosivos, definidas áreas prioritárias para intervenção e propostas medidas hidroambientais voltadas à conservação do solo e da água e à recuperação ambiental da área de estudo.

O trabalho de campo foi executado ao longo de um período de três a quatro meses, inserido em um cronograma total de seis meses entre a coleta de dados e a entrega final do diagnóstico, sofrendo eventuais interrupções devido a dias chuvosos. A equipe executora foi composta por três técnicos com formação na área ambiental e experiência em levantamentos de campo em áreas degradadas.

Para a dinâmica de atendimento às propriedades, estabeleceu-se um protocolo de até três visitas por imóvel: caso o proprietário manifestasse anuência e os dados fossem integralmente coletados na primeira visita, ou houvesse recusa imediata, o processo era encerrado; as visitas subsequentes ocorreram estritamente em caso de ausência prévia do morador, sendo a terceira visita tratada como definitiva para o registro de recusa e a respectiva motivação nos atributos da entrevista.

Operacionalmente, a eficiência logística foi potencializada pelo engajamento prévio junto às lideranças comunitárias e pelo agendamento telefônico das entrevistas, o que reduziu deslocamentos improdutivos por ausência dos proprietários e agilizou o processo de anuência.

Tecnologicamente, o levantamento contou com o auxílio de um GPS de alta precisão, Garmin Glo 2 (Bluetooth), e de smartphones equipados com formulário eletrônico, tecnologia adaptada pela empresa TPF Engenharia para viabilizar a coleta digital e o armazenamento em nuvem dos dados de campo, integrando-os diretamente ao dashboard do ArcGIS Online para visualização, validação e monitoramento geoespacial em tempo real. Posteriormente, os dados foram submetidos a uma etapa de controle de qualidade e filtragem em escritório para a checagem e correção de eventuais desvios ou erros de cadastramento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização do meio físico

A área de contribuição da barragem Bico da Pedra insere-se no contexto do semiárido mineiro, região que apresenta aspectos físico-climáticos similares aos do semiárido nordestino (Fernandes *et al.*, 2026). Segundo Fernandes *et al.* (2026), o Norte de Minas caracteriza-se como uma zona de transição ecogeográfica

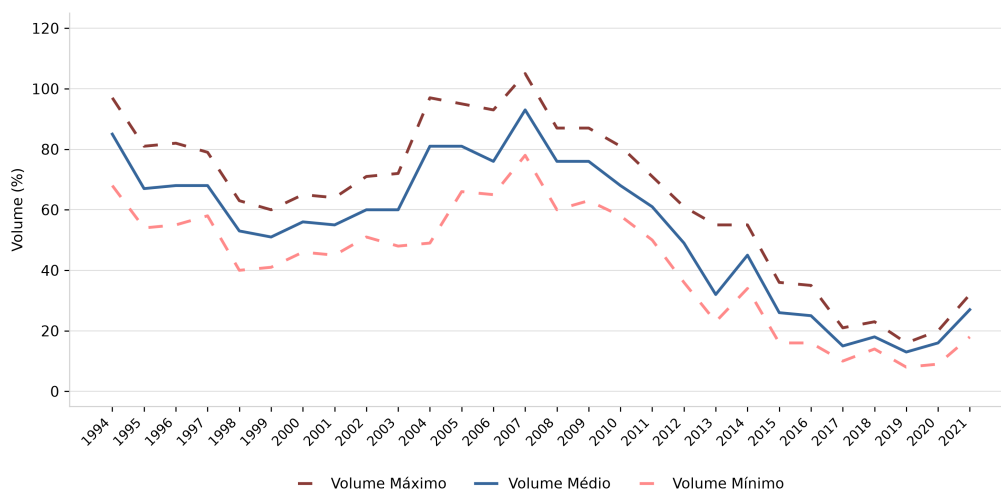
entre a região úmida do Sudeste e a semiárida do Nordeste, onde predominam os climas tropical úmido de savanas (Aw) e o semiárido (BSh), conforme a classificação de Köppen (Alvares *et al.*, 2013; Fernandes *et al.*, 2026).

Essa dinâmica regional é confirmada pelos dados da estação meteorológica de Janaúba (Inmet, 2021), que, em uma série histórica de 30 anos, registra uma precipitação média anual de 758,66 mm. A região apresenta uma elevada sazonalidade, com chuvas concentradas entre novembro e março (pico em dezembro) e um período de estiagem severa de abril a outubro (mínima em julho) (Inmet, 2021). O ambiente é caracterizado como quente durante todo o ano, com temperaturas médias variando entre 25,2 °C e 32,1 °C, e umidade relativa do ar que oscila de 53% no período seco a 77% no chuvoso (Inmet, 2021). A insolação é elevada (≥ 250 h/mês entre maio e setembro), o que, aliado a ventos com picos de até 2,25 m/s, intensifica as taxas de evapotranspiração (Inmet, 2021; Fernandes *et al.*, 2026).

Este clima seco e quente, em conjunto com a irregularidade pluviométrica, acentua a vulnerabilidade ambiental da sub-bacia do Rio Gorutuba (Ramalho *et al.*, 2025). A literatura aponta que a concentração das chuvas em poucos meses do ano eleva a erosividade (fator R) e o potencial de escoamento superficial, dificultando a recarga natural dos aquíferos e acelerando a perda de solos pouco intemperizados, como os Neossolos (Ramalho *et al.*, 2025; Fernandes *et al.*, 2026).

Tal cenário justifica a urgência das intervenções hidroambientais, uma vez que a degradação hídrica progressiva já resultou em reduções drásticas no volume do reservatório Bico da Pedra, reconhecidas oficialmente por decretos de escassez hídrica (Igam, 2020; Ana, 2021b). A preservação da rede hídrica do Gorutuba é, portanto, vital para garantir o abastecimento público, a irrigação e o uso múltiplo da água, mitigando os riscos de desertificação e insegurança hídrica potencializados pelas mudanças climáticas globais (Hordones *et al.*, 2025; Fernandes *et al.*, 2026). As variações anuais dos percentuais de volume do reservatório Bico da Pedra podem ser observados na (Figura 2), análise do período de 1994 a 2021, e elaborada com base no acompanhamento dos volumes armazenados do reservatório do Bico da Pedra, módulo nordeste e semiárido do Sistema de Acompanhamento de Reservatórios – SAR, da Agência Nacional das Águas (ANA).

Figura 2 – Variações anuais do percentual de volume do reservatório Bico da Pedra na série histórica de 1994 a 2021.

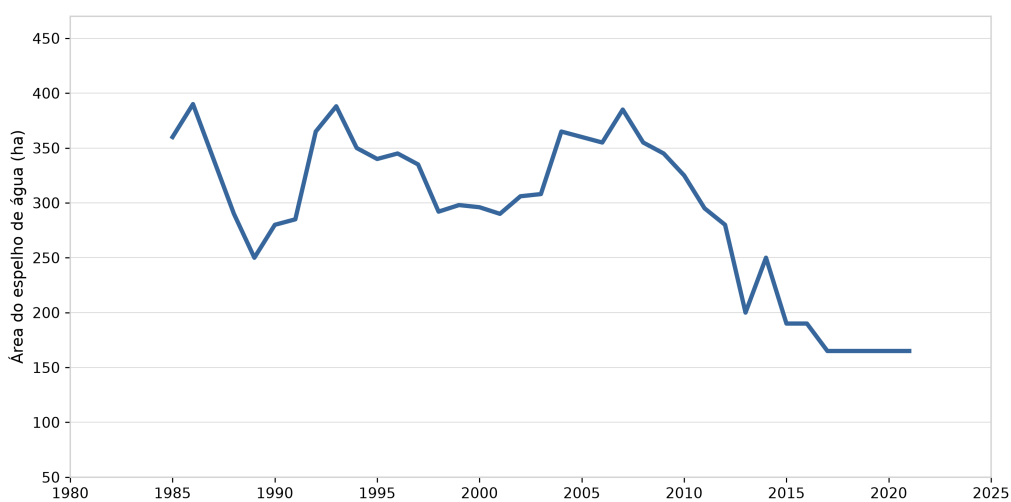


Fonte: (Ana, 2021b).

Nesse sentido, o reservatório Bico da Pedra apresentou estabilidade no volume de água até 2007 (acima de 40%). A partir de 2007, observa-se uma redução significativa nos percentuais de volume da barragem Bico da Pedra, principalmente a partir do ano de 2012, quando foram registrados valores inferiores ao ano de 1999, iguais a 51,51%, evidenciando a escassez hídrica na região (Ana, 2021b).

Para complementar, A Figura 3 evidencia oscilações interanuais na área do espelho d'água até aproximadamente 2007, seguidas por uma tendência de redução acentuada a partir de 2013. Nos anos mais recentes da série histórica, a área manteve-se inferior à observada no início do período analisado, com valores inferiores a 200 hectares, indicando redução da disponibilidade hídrica superficial na sub-bacia (Mapbiomas, 2026).

Figura 3 – Variação anual da área do espelho d'água na sub-bacia do rio Gorutuba, área de contribuição da barragem Bico da Pedra.



Fonte: (Mapbiomas, 2026).

Diante desse cenário, verifica-se, ainda, a correlação entre o percentual de volume do reservatório Bico da Pedra (Figura 2) e a área do espelho d'água da sub-bacia do rio Gorutuba (Figura 3), evidenciando a

redução da água superficial e dos corpos hídricos na região, tanto naturais quanto artificiais. As observações realizadas em campo corroboram esses resultados (Figura 4), demonstrando que, em 2021, o rio Gorutuba apresentava trechos com regime intermitente, permanecendo com reduzida lâmina d'água em junho e completamente seco em setembro. Considerando que o rio Gorutuba constitui o principal curso d'água da bacia, esse comportamento indica que grande parte de seus afluentes se encontrava em condição intermitente ou efêmera, com escoamento restrito aos períodos de precipitação, reforçando o impacto da redução da disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica e na barragem Bico da Pedra.

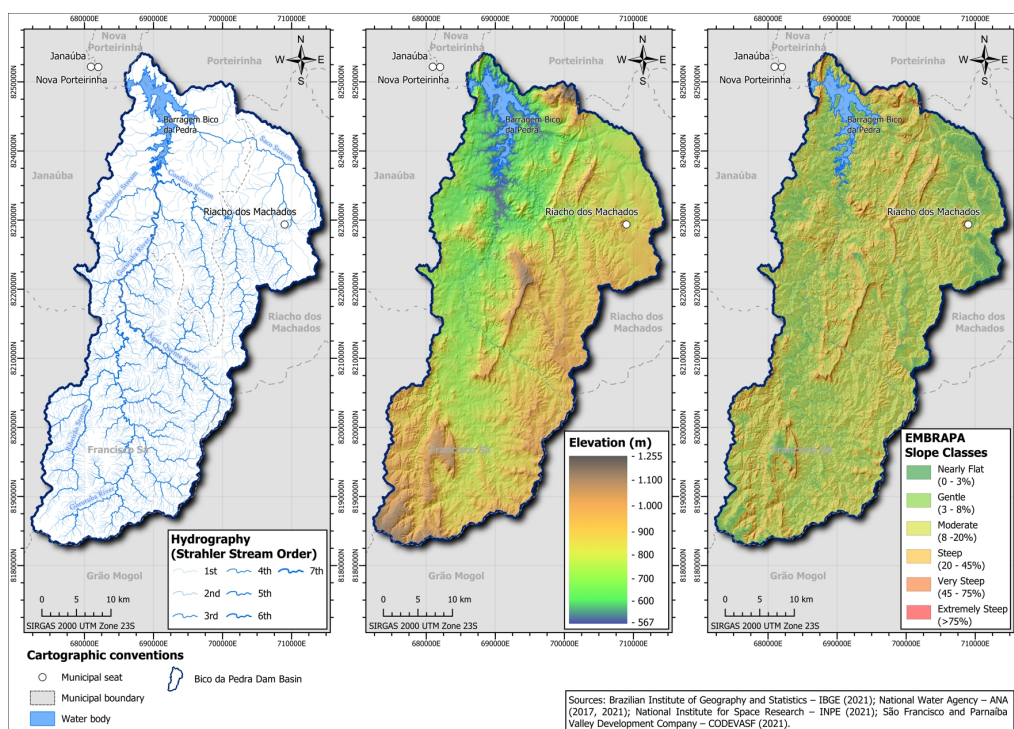
Figura 4 – Travessia no rio Gorutuba, Distrito de Catuni – Francisco Sá/MG (Junho/ 2021 e Setembro/ 2021)



Fonte: Arquivo próprio dos autores (2026).

A situação é agravada por cursos d'água intermitentes e pelo uso intensivo da água sem conservação adequada do solo. A diminuição significativa da água superficial e dos volumes do reservatório comprova a degradação hídrica progressiva na região, reforçando a necessidade urgente de intervenções hidroambientais para recuperar e preservar os recursos hídricos da sub-bacia.

A análise morfométrica permite compreender o comportamento hidrológico da sub-bacia do Rio Gorutuba, contribuinte direto da barragem Bico da Pedra. Parâmetros físicos como área, forma, e estrutura de drenagem foram analisados para avaliar o potencial de escoamento e enchentes. O fator de forma indica a propensão da bacia a inundações e é calculado através da fórmula: $K_f = A/L^2$. Para a bacia da barragem Bico da Pedra, considerando área da bacia (A) igual 1.629 km², comprimento do eixo (L) de 67 km, o fator de forma (Kf) foi de 0,36. Um fator abaixo de 0,50 indica uma bacia alongada, com baixa suscetibilidade a grandes enchentes, pois o escoamento superficial se distribui por mais tempo (Horton, 1945).

Figura 5 – Hidrografia, elevação e declividade da área de contribuição da barragem Bico da Pedra.

Fonte: (Ibge, 2021; Ana, 2017; Ana, 2021a; Inpe, 2011; Codevasf, [s.d.]).

O coeficiente de compacidade avalia o quão compacta é a bacia em comparação a um círculo de mesma área e é obtido através da fórmula: $K_c = 0,28 \cdot P/A$. Para a bacia em estudo, com perímetro (P) de 333 km e área (A) de 1.629 km², o coeficiente de compacidade (K_c) foi de 2,31. Com K_c bem acima de 1,50, a bacia é alongada e não propensa a enchentes. Bacias mais irregulares tendem a ter maior tempo de concentração, o que reduz o risco de picos súbitos de vazão.

A densidade hidrográfica (D_h), foi estimada pela relação em número de canais de 1ª ordem (N_t) e área (A), pela seguinte fórmula: $D_h = N_t / A$. De acordo com a bacia em estudo, para um número de canais de 1ª ordem (N_t) de 2.407 e área de 1.629 km², a densidade hidrográfica foi de 1,48 canais/km². De acordo com resultado obtido, a bacia apresenta baixa densidade hidrográfica, indicando menor capacidade de gerar novos canais e menor propensão a escoamento concentrado, segundo a classificação de Strahler (1957).

A sinuosidade (Sin) do curso d'água foi calculada pela seguinte fórmula: $Sin = R / LRP$, onde o comprimento do rio (R) foi de 112 km e o eixo da bacia (LRP) de 67 km. O valor encontrado foi de 1,67. A sinuosidade indica um canal ligeiramente sinuoso, característico de áreas com relevo variado e presença de sedimentos, o que interfere na velocidade e no padrão de escoamento.

Para o relevo, verificou-se que a altitude máxima era de 1.263 m, a média de 803 m, a mínima de 556 m e a amplitude de 693 m. A grande amplitude altimétrica (Figura 5) favorece processos erosivos e contribui para riscos de enxurradas, especialmente em regiões de maior elevação ao sul e leste da bacia.

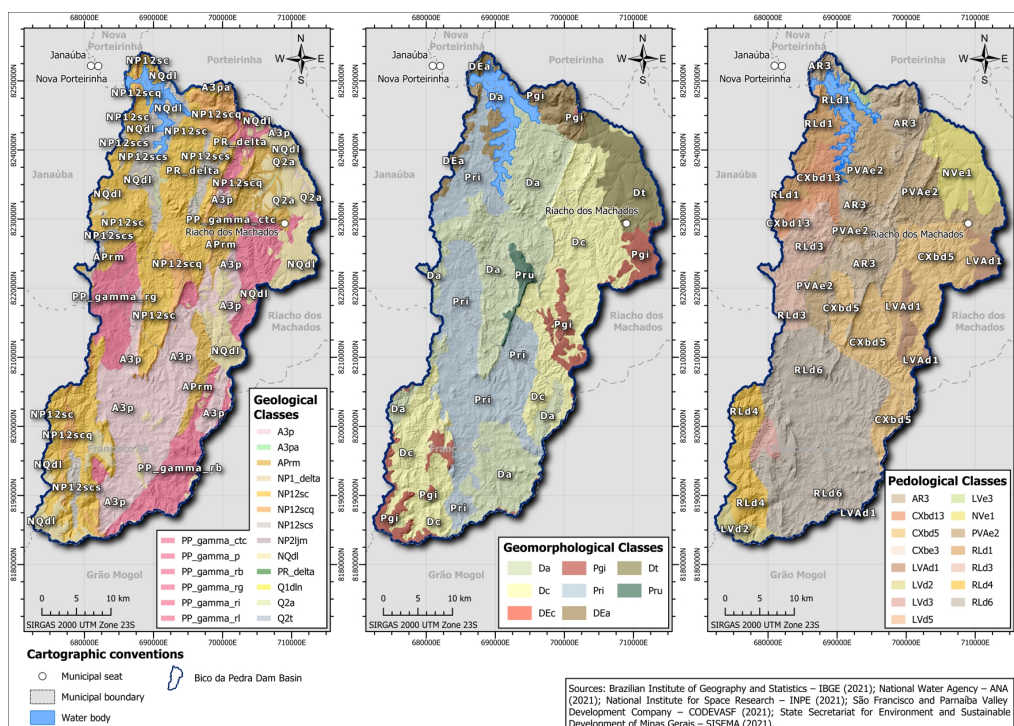
A declividade média da bacia foi obtida por MDE (SRTM), disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe, 2011). A declividade (Figura 5) influencia diretamente a velocidade de

escoamento e o risco de erosão. Maiores declividades aumentam a velocidade do escoamento superficial, encurtam o tempo de concentração e ampliam o risco de picos de cheia, sobretudo em áreas desprovidas de cobertura vegetal.

A declividade de álveo (S1) foi estimada pela relação entre a diferença de cota (ΔH), que foi de 510 m e o comprimento do rio (R), que foi 112 km. Assim a declividade de álveo (S1) foi de 4,56 m/km. A declividade do rio é moderadamente elevada, o que acelera o escoamento e pode superestimar picos de cheia em modelagens hidrológicas simplificadas.

A área da sub-bacia do Rio Gorutuba apresenta diversidade litológica, com destaque para as Formações Serra do Catuni, Riacho dos Machados, Porteirinha, Paciência e Barroão (Figura 6). Essas unidades geológicas incluem quartzitos, gnaisses, xistos, rochas ígneas e sedimentos aluvionares. As litologias predominantes possuem influência direta na vulnerabilidade ambiental e nos processos erosivos da bacia (Fernandes *et al.*, 2026).

Figura 6 – Geologia, geomorfologia e pedologia da área de contribuição da barragem Bico da Pedra.

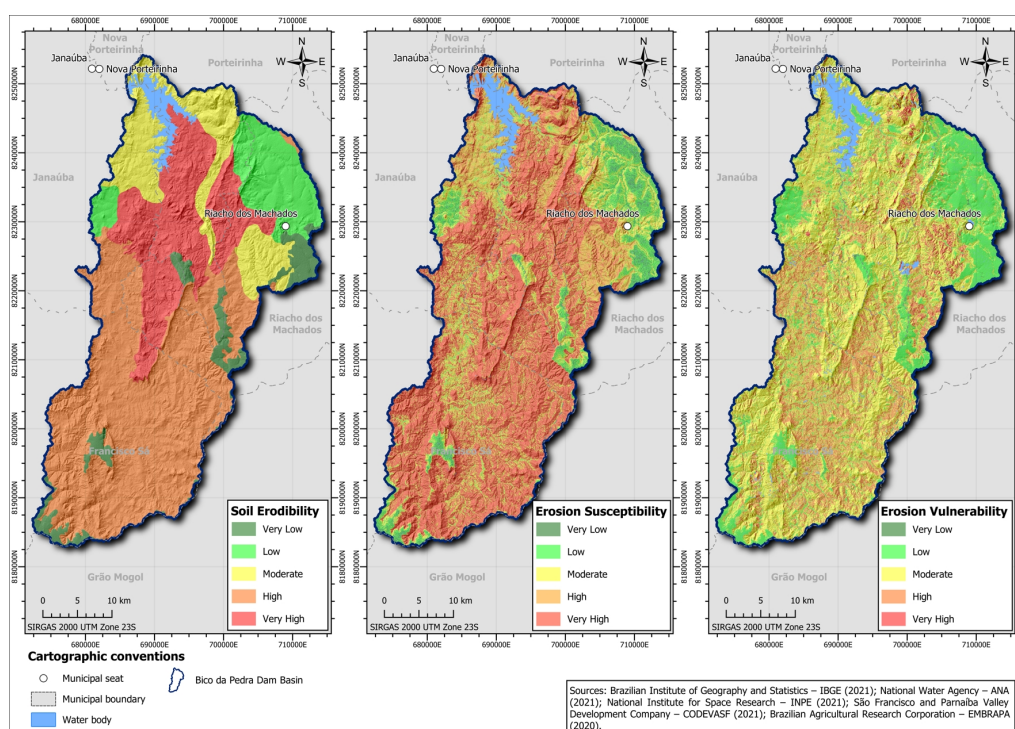


Fonte: (Ibge, 2021; Ana, 2021a; Inpe, 2011; Codevasf, [s.d.]; Ide-sisema, 2018).

A geomorfologia é dominada por três unidades principais: dissecação homogênea aguçada (Da, 27,18%); dissecação homogênea convexa (Dc, 26,47%) e; pediplano retocado inumado (Pri, 22,69%). Essas classes representam juntas mais de 76% da área da sub-bacia, com predominância de planaltos, colinas e depressões, influenciando diretamente a drenagem e os processos erosivos. Em relação aos solos, predominam as classes Neossolos Litólicos (41,49%), Cambissolos Háplicos (21,37%) e Argissolos Vermelho-Amarelos (12,53%). Os Neossolos, apesar de expressivos, são de baixa aptidão agrícola e alta suscetibilidade à degradação com uso intensivo (Fernandes *et al.*, 2026).

Em relação aos solos, aproximadamente 67,28% da área apresenta alta a muito alta erodibilidade (Figura 7), totalizando 109.571,38 ha, com distribuição ampla, especialmente na porção central e montante da sub-bacia. Apenas 16,4% apresentam erodibilidade baixa a muito baixa, restrita a áreas pontuais.

Figura 7 – Erodibilidade do solo, suscetibilidade e vulnerabilidade à erosão da área de contribuição da barragem Bico da Pedra.



Fonte: (Ibge, 2021; Ana, 2021a; Inpe, 2011; Codevasf, [s.d.]; Embrapa, 2020; Simões *et al.*, 2020).

Em relação à suscetibilidade à erosão hídrica, a classe muito alta de suscetibilidade ocupa 54,05% da sub-bacia (88.035,87 ha), indicando elevada fragilidade do solo frente aos agentes erosivos, especialmente nas áreas com maior declividade. Classes muito baixa e baixa somam apenas 11,85 da área total.

Além disso, as classes muito baixa, baixa e de média vulnerabilidade à erosão hídrica representam 75% da sub-bacia (122.620,08 ha), demonstrando maior resiliência geral. No entanto, áreas altamente vulneráveis somam 18,76% e as de muito alta vulnerabilidade, 2,37% (3.860,86 ha), concentrando-se no nordeste da sub-bacia, nos municípios de Riacho dos Machados e Porteirinha. Nesses casos, a vegetação, o uso e a ocupação do solo são fatores que influenciam a vulnerabilidade, sendo maior em áreas de uso antrópico, como agricultura e pecuária, especialmente quando esses aspectos são associados a solos erodíveis e altas declividades.

Embora a erodibilidade represente a suscetibilidade natural do solo aos processos erosivos, a vulnerabilidade à erosão hídrica resulta da integração entre essa suscetibilidade e as condições de cobertura e uso da terra. Dessa forma, áreas classificadas com elevada erodibilidade não necessariamente apresentam os maiores níveis de vulnerabilidade, uma vez que a presença de vegetação nativa ou de coberturas capazes de proteger o solo reduz o impacto direto das gotas de chuva e o escoamento superficial. Em contrapartida, áreas com erodibilidade moderada podem apresentar elevada vulnerabilidade quando

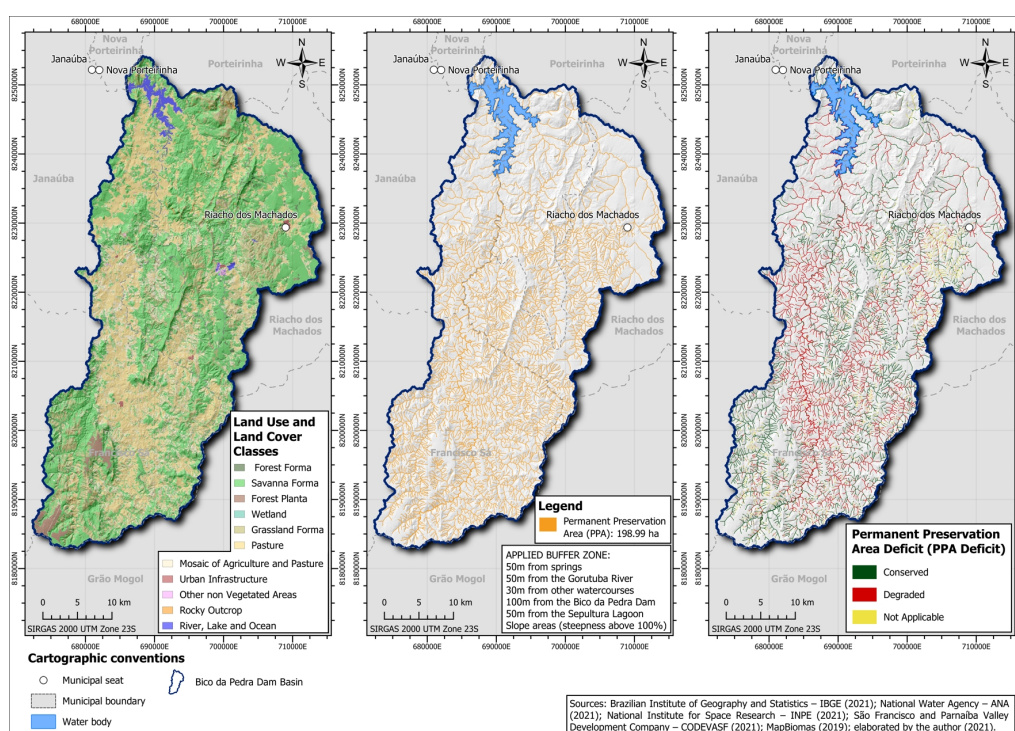
submetidas à supressão da vegetação ou a usos agropecuários intensivos, que aumentam a exposição do solo aos processos erosivos. Essa distinção reforça a importância da análise integrada adotada neste estudo, permitindo identificar áreas prioritárias para intervenção a partir da interação entre fatores naturais e antrópicos.

4.2 Caracterização do meio biótico

A análise do uso e cobertura do solo da sub-bacia do Rio Gorutuba, área de contribuição da barragem Bico da Pedra, identificou 11 classes de uso e cobertura ao todo. O mapeamento foi realizado com base nos dados do MapBiomas, processados no Google Earth Engine, utilizando imagens dos sensores Landsat 5, 7 e 8, com resolução espacial de 30 m.

Verificou-se a predominância de áreas naturais (61,66%), especialmente a Formação Savânica, que cobre 47,21% da área total, vegetação típica do Cerrado (Figura 8). As Formações Florestais representam 1,06% e as Florestas Plantadas, ligadas à silvicultura, 1,35%.

Figura 8 – Vegetação e ocupação do solo da área de contribuição da barragem Bico da Pedra.



Fonte: (Ibge, 2021; Ana, 2021a; Inpe, 2011; Codevasf, [s.d.]; mapbiomas, 2021).

Quanto ao uso antrópico, este corresponde a 38,35% da sub-bacia, com destaque para: pastagens (24,12%), com vegetação exótica e fragmentos de cerrado; mosaico de agricultura e pastagem (13,85%); infraestrutura urbana e outras áreas não vegetadas (0,37%). Também foram identificadas áreas úmidas, campestres, afloramentos rochosos e corpos d'água (1,03%) (Fernandes *et al.*, 2026). As Áreas de Preservação Permanente (APPs) foram delimitadas conforme o Código Florestal (Brasil, 2012), considerando: as faixas marginais de 50 m para nascentes e o Rio Gorutuba, 30 m para os demais cursos d'água, 100

m no entorno da barragem Bico da Pedra, 50 m para a Lagoa da Sepultura, bem como a delimitação de áreas com declividades acima de 45%. A área total de APP estimada foi de 198,99 hectares, composta majoritariamente por matas ciliares, essenciais para a conservação hídrica, estabilidade das margens e controle de sedimentos. A análise cruzada entre o uso e cobertura do solo e as APPs revelou que: 46,51% das APPs estão conservadas; 43,84% apresentam degradação, principalmente nos municípios de Francisco Sá e Janaúba, onde se concentra a maior pressão antrópica sobre os cursos d'água, especialmente no Rio Gorutuba e seus afluentes diretos.

4.3 Caracterização do meio socioeconômico

Os dados socioeconômicos foram obtidos a partir do Censo de 2010 e do PIB municipal (Ibge, 2018). A interpolação espacial das variáveis socioeconômicas foi realizada por cruzamento entre os setores censitários e os limites da sub-bacia. A economia regional é fortemente concentrada no município de Janaúba, responsável por mais de 50% do PIB agregado da sub-bacia. O setor terciário (comércio e serviços) predomina na maioria dos municípios, mas em Riacho dos Machados, a indústria se destaca, respondendo por cerca de 47% do PIB municipal.

Em relação ao saneamento básico, de acordo com os dados levantados, a cobertura dos serviços na sub-bacia do Rio Gorutuba é precária. Apenas 16,04% dos domicílios possuem acesso adequado à coleta de esgoto (via rede ou fossa séptica). Mesmo entre os domicílios com esgotamento sanitário, 16,32% não têm acesso a outros serviços básicos, como abastecimento de água tratada ou coleta de lixo regular.

A deficiência no abastecimento de água por rede geral afeta pelo menos dois terços da população, situação agravada pela recorrência de secas. Em 2019 e 2020, a redução da captação no reservatório Bico da Pedra impactou negativamente a produção agrícola, a atividade industrial e o cotidiano das famílias dependentes da barragem (Igam, 2020).

Nesse cenário, projetos hidroambientais voltados à conservação e à melhoria das condições ambientais proporcionam benefícios coletivos amplos, abrangendo não apenas os moradores diretamente inseridos na área de intervenção, mas também a população das regiões adjacentes. Nesse contexto, a mobilização da população beneficiária é uma etapa fundamental para garantir o êxito das ações propostas, promovendo o engajamento comunitário e a corresponsabilidade pela preservação dos recursos naturais.

Durante a execução das atividades de diagnóstico e elaboração do projeto hidroambiental área de contribuição da barragem Bico da Pedra, na sub-bacia do Rio Gorutuba, integrante da bacia do Rio Verde Grande, foi promovida a mobilização social por meio da articulação com instituições públicas e privadas de atuação regional. Essa mobilização visou sensibilizar, esclarecer e engajar os proprietários rurais e representantes institucionais locais quanto aos objetivos, benefícios e metodologia do projeto.

As ações de mobilização foram conduzidas por meio de reuniões presenciais e virtuais, adaptadas às restrições impostas pela pandemia de Covid-19. Entre as instituições convidadas a participar das reuniões encontram-se: Prefeituras Municipais: Francisco Sá, Riacho dos Machados, Janaúba e Porteirinha;

Órgãos de assistência técnica e desenvolvimento rural: EMATER-MG, CMDRS (Conselhos Municipais de Desenvolvimento Rural Sustentável), DIG (Distrito de Irrigação Gorutuba); Associações comunitárias rurais: representando comunidades locais dispersas no território da sub-bacia; Empresas privadas atuantes na região: Viena S/A, Rio Rancho Agropecuária S/A e RDM (Equinox Gold).

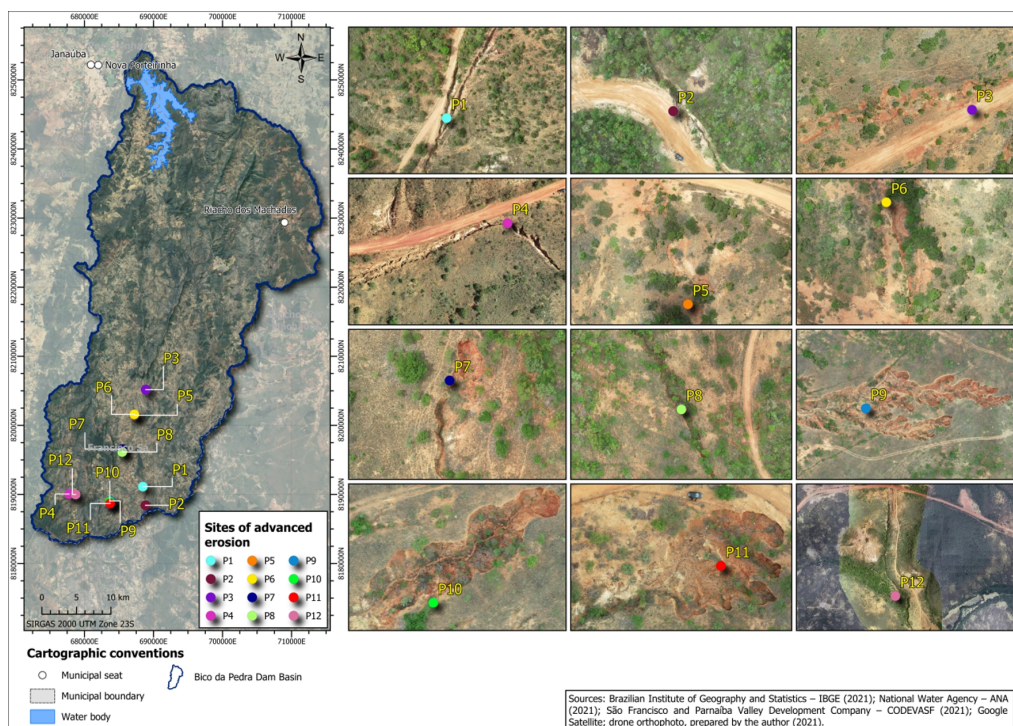
Devido à baixa adesão às reuniões por parte de associações comunitárias rurais durante o período pandêmico, optou-se por fortalecer a articulação com os CMDRS e lideranças locais, utilizando-se de contatos telefônicos, encontros presenciais e participação em reuniões previamente agendadas. A atuação dessas lideranças foi fundamental para o sucesso da mobilização, especialmente no apoio ao cadastramento de propriedades e na sensibilização dos produtores rurais quanto à importância das intervenções propostas. Esse processo de articulação garantiu maior adesão às ações e legitimidade social ao projeto. No total, foram realizadas 14 reuniões estratégicas.

Os resultados socioeconômicos demonstram que a efetividade das intervenções hidroambientais depende não apenas das condições físicas da bacia, mas também do envolvimento dos proprietários rurais e das comunidades locais. A adoção de práticas conservacionistas, a recuperação de Áreas de Preservação Permanente (APPs) e a manutenção das estruturas implantadas exigem participação ativa dos atores locais, tornando a mobilização social um componente estratégico para garantir a continuidade das ações e ampliar seus benefícios ambientais ao longo do tempo. Nesse contexto, as reuniões comunitárias e as visitas técnicas realizadas durante o diagnóstico contribuíram para identificar demandas locais, promover o diálogo com os proprietários rurais e favorecer a construção conjunta das propostas de intervenção.

4.4 Proposições de medidas de mitigação dos impactos ambientais decorrentes da erosão

Durante o levantamento de campo realizado na área de contribuição da barragem Bico da Pedra, foi observada a ocorrência de diversos processos erosivos, inclusive voçorocas (Figura 9), especialmente associados ao escoamento superficial descontrolado. Conforme Andrade, Portocarrero e Capeche (2005) a erosão hídrica resulta, em grande parte, da ação combinada de chuvas intensas e manejo inadequado do solo, promovendo a saturação e posterior arraste de partículas pela água excedente. O uso inadequado do solo no meio rural, somado à ocupação de áreas ambientalmente frágeis, como margens de rios, áreas de preservação permanente e terrenos com alta declividade, tem sido uma das principais causas da degradação ambiental na bacia.

Figura 9 – Ocorrência de processos voçorocas na área de contribuição da barragem Bico da Pedra, aerofotolevantamento.



Fonte: (Ibge, 2021; Ana, 2021a; Codevasf, [s.d.]).

É observado também que a ausência de planejamento na construção de estradas vicinais, muitas vezes sem dispositivos de drenagem (Figura 10), e a adoção de práticas agropecuárias incompatíveis com a capacidade de uso do solo, agravam ainda mais essa situação.

Figura 10 – Travessia no rio Gorutuba, Distrito de Catuni – Francisco Sá/MG (Junho/ 2021 e Setembro/ 2021)



Fonte: Arquivo próprio dos autores (2026).

As voçorocas observadas às margens de estradas rurais da sub-bacia, são resultantes do aumento do escoamento concentrado que dá origem a sulcos que, em estágio avançado, evoluíram para ravinas. Nos trechos mais críticos, nas porções montantes da sub-bacia, foram identificadas voçorocas (Figura 11), feições erosivas profundas e extensas que indicam degradação severa do solo, conforme a classificação de

Galeti (1987).

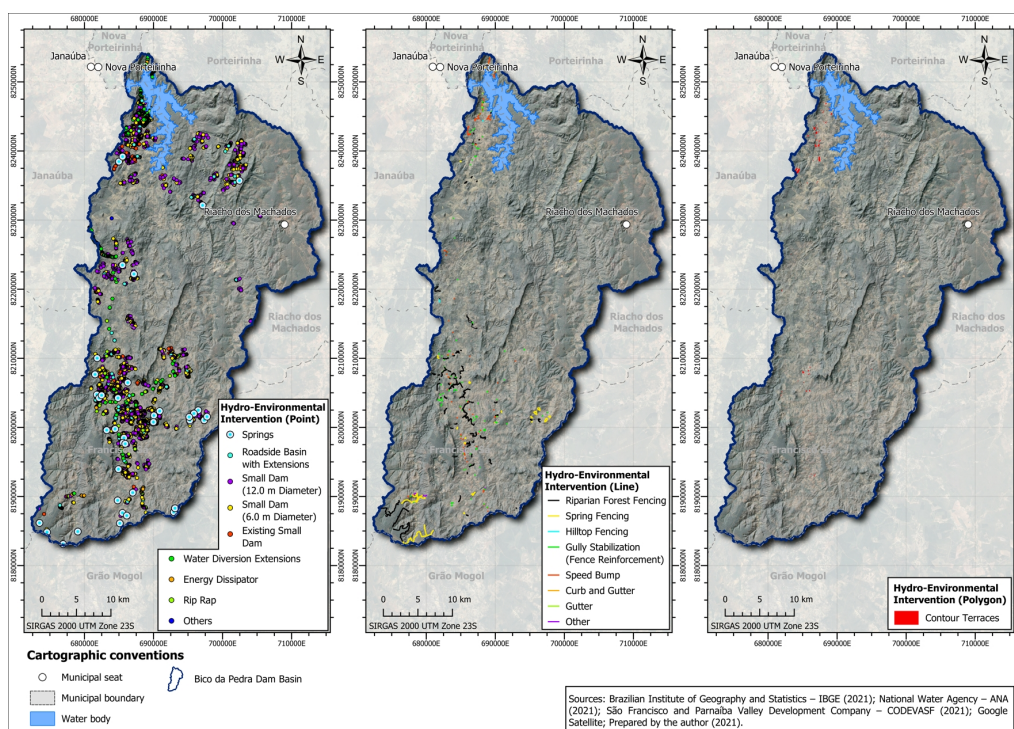
Figura 11 – Travessia no rio Gorutuba, Distrito de Catuni – Francisco Sá/MG (Junho/ 2021 e Setembro/ 2021)



Fonte: Arquivo próprio dos autores (2026).

Esses processos, quando não contidos, culminam no assoreamento dos cursos d'água, prejudicando diretamente a vazão dos rios e o volume útil dos reservatórios, como observado na barragem Bico da Pedra. A ausência de vegetação ciliar, associada ao desmatamento e à fragilidade natural dos solos, potencializa a perda de solo e aumenta os sedimentos nos corpos hídricos, comprometendo sua função ecológica e o abastecimento.

Como desdobramento do trabalho de campo, diagnóstico e aplicação dos critérios de priorização espacial, obteve-se um total de 580 propriedades rurais cadastradas na área de estudo. Desse total, registraram-se 347 propriedades anuentes (60%) para a implementação de intervenções hidroambientais e 233 não anuentes (40%). A partir dos cadastros anuentes e da análise detalhada dos processos erosivos locais, consolidou-se o panorama das intervenções prioritárias necessárias para a mitigação da degradação ambiental. A partir dos cadastros anuentes e da análise dos processos erosivos, foram consolidadas as intervenções necessárias à demanda do local (Figura 12).

Figura 12 – Intervenções hidroambientais propostas na área de contribuição da barragem Bico da Pedra.

Fonte: (Ibge, 2021; Ana, 2021a; Codevasf, [s.d.]).

As intervenções hidroambientais propostas foram projetadas para controlar o escoamento superficial, reduzir a velocidade da água e aumentar sua infiltração no solo. Entre as técnicas adotadas, destacam-se: bacias de captação de água de enxurradas e bacias de estrada, paliçadas, cercamento de nascentes, topos de morro e mata ciliar (APPs), terraços, entre outros. Essas práticas foram definidas com base em critérios técnicos como tipo de solo, declividade e características da paisagem, visando à sustentabilidade e à viabilidade das intervenções no contexto local.

Para as bacias de captação de água de enxurradas, recomendou-se bacias de 6 m e 12 m de raio, além da recuperação de estruturas pré-existentes. Essas bacias promovem infiltração, retenção de sedimentos e prevenção de erosões. As bacias em estradas foram, ocasionalmente, complementadas com bigodes e lombadas para direcionamento da água. Quanto às reformas, essas incluem ações de desassoreamento e recuperação de estruturas com uso de pá mecânica. Além de controle de escoamento superficial e infiltração da água no solo, essas estruturas também são recomendadas para a contenção dos processos erosivos.

Outras obras ou intervenções recomendadas são: a construção de bigodes nas extremidades das estradas, estruturas lineares projetadas para desviar a água das sarjetas para locais seguros, como talvegues ou bacias; as lombadas em estradas, barreiras transversais construídas no leito das estradas com a função de interceptar o escoamento superficial e redirecionar a água de chuva para dispositivos de drenagem como os bigodes, reduzindo a velocidade do fluxo e prevenindo erosões; terraceamento de infiltração em nível do tipo “Nichols” para retenção das águas pluviais e de sedimentos, alocados em áreas de pastagens ou até mesmo de lavouras, com o objetivo de infiltração no solo e recarga do lençol

freático; cercamento das áreas com cercas de arame liso, com a finalidade de evitar o acesso de animais às nascentes e áreas ciliares, visando a proteção da vegetação e dos recursos hídricos; e paliçadas, estruturas de madeira para estabilização de voçorocas e encostas com difícil acesso a maquinário pesado, com vegetação densa e/ou afloramento rochoso, promovendo contenção de sedimentos e controle de erosão.

Os resultados evidenciam que a priorização de áreas para intervenções hidroambientais deve considerar simultaneamente os fatores físicos, bióticos e socioeconômicos, uma vez que a degradação ambiental resulta da interação entre esses componentes. A utilização integrada de dados de relevo, solos, uso e cobertura da terra, recursos hídricos e informações socioeconômicas permitiu identificar áreas prioritárias para intervenção, fornecendo subsídios técnicos para o planejamento ambiental e para a gestão territorial da área de contribuição da barragem Bico da Pedra.

5 CONCLUSÃO

A análise das características da área de contribuição da barragem Bico da Pedra permitiu identificar características que favorecem a formação de processos erosivos, evidenciadas na grande amplitude de elevação, presença de altas declividades, decorrente de geomorfologia dissecada, e predominância de Neossolos. Apesar da vegetação nativa ainda existente na região, destaca-se o uso e ocupação intensiva do solo para atividades agropecuárias, principalmente com pastagens. A ocupação antrópica aumenta a vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica, quando associados aos solos erodíveis e declividades acentuadas, bem como causa pressão nas APPs, responsáveis por proteger áreas sensíveis, como margens de rios.

As visitas técnicas ao local corroboraram as informações secundárias levantadas, observando-se a presença de processos erosivos avançados, como voçorocas, localizadas em áreas com as características de vulnerabilidade mais evidentes. A locação de intervenções hidroambientais nessas áreas e em outras em que se verificou a necessidade de implementação, deverão contribuir para a estabilização do solo e infiltração da água, garantindo a possibilidade de desenvolvimento da região.

Cabe ressaltar algumas limitações metodológicas inerentes a este estudo. O diagnóstico baseou-se predominantemente em dados secundários de escala regional, o que, embora permita uma visão macro e oriente o direcionamento inicial das prioridades e das campanhas de campo, apresenta limitações de detalhamento que podem ocultar áreas locais críticas. Para mitigar essa restrição, as visitas de campo desempenharam um papel fundamental, servindo tanto para a validação das áreas mapeadas quanto para a identificação de demandas reais não captadas pelos recortes macroespaciais. Adicionalmente, destacou-se a restrição imposta pela dependência da anuência dos proprietários rurais, fator que, por vezes, impede a implantação de intervenções em locais de alta vulnerabilidade ambiental.

Diante dessas limitações, recomenda-se que trabalhos futuros adotem metodologias mais refinadas e específicas para a realidade de cada bacia, priorizando, quando houver disponibilidade de recursos

financeiros e tempo de pesquisa, a geração sistemática de dados primários in loco para maior precisão metodológica. Sugere-se, ainda, o monitoramento contínuo e a avaliação quantitativa da efetividade das obras hidroambientais pós-implementação.

Em suma, os resultados desse estudo permitiram uma visão abrangente dos aspectos físicos, bióticos e socioeconômicos que influenciam diretamente na dinâmica ambiental e na disponibilidade hídrica da região, essencial para orientar o planejamento e a implementação de intervenções hidroambientais adequadas à realidade local.

6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à TPF Engenharia pelo apoio institucional e pelas condições oferecidas para o desenvolvimento deste trabalho. Estendem também seus agradecimentos a todos os colegas da empresa que, direta ou indiretamente, contribuíram nas diferentes etapas do projeto, seja por meio de suporte técnico, discussões construtivas ou colaboração operacional, fundamentais para a realização deste estudo: Fábio Chaffin Barbosa, Fábio Luciano Prates, Carolina Oliveira Santos e Abmael de S. Lima Junior (Equipe de Coordenação); Alerson Falieri Suarez, Maria Luzia Botelho Borges e Jullius Cesar F. Barros (Equipe de Especialistas); e Altair Silva, Murilo Antônio Oliveira Ruas, Maria Nattally de C. Rocha (Equipe Complementar e de Apoio).

Referências

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

ANA, AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas 2017 5k**: Bho 2017 5k. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/0c698205-6b59-48dc-8b5e-a58a5dfcc989>. Acesso em: 19 ago. 2026.

ANA, AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Unidades de Gestão de Recursos Hídricos**: Ugrhs. Brasília: ANA, 2020. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/985f8821-2da3-4108-85a9-95985b37f3fe>. Acesso em: 19 ago. 2026.

ANA, AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Massas d'Água**. Brasília: ANA, 2021a. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/7d054e5a-8cc9-403c-9f1a-085fd933610c>. Acesso em: 19 ago. 2026.

ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Verde Grande**. Brasília: ANA, 2013. 138 p. Disponível em: <https://verdegrande.cbh.gov.br/wp-content/uploads/2025/07/PLANO-DE-RECURSOS-HIDRICOS-DA-BACIA-DO-RIO-VERDE-GRANDE.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2026.

ANA, AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **SAR – Sistema de Acompanhamento de Reservatórios**. ANA, 2021b. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/sar/>.

ANDRADE, Aluísio Granato de; PORTOCARRERO, Hugo; CAPECHE, Claudio Lucas. **Práticas mecânicas e vegetativas para controle de voçorocas**. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/966296/praticas-mecanicas-e-vegetativas-para-controle-de-vocorocas>. Acesso em: 2 set. 2026.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**: Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Brasília: Presidência da República, 2012.

BRASIL. **Decreto nº 8.834, de 9 de agosto de 2016**: Dispõe sobre o programa de revitalização da bacia hidrográfica do rio são francisco. Brasília: Presidência da República, 2016.

codevasfbicodapedra CODEVASF, COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA. **Limite da área de contribuição da barragem Bico da Pedra**. Montes Claros: CODEVASF, [s.d.]. Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/>. Acesso em: 19 jul. 2021.

EMBRAPA. **Mapa de Erodibilidade dos Solos à Erosão Hídrica do Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2020.

FERNANDES, Luiz Arnaldo *et al.* Interfaces pedológicas e fitogeográficas da Região Norte de Minas Gerais. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v. 19, n. 3, p. e23918, 2026. DOI: <http://doi.org/10.55905/revconv.19n.3-028>. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/23918>. Acesso em: 31 ago. 2026.

GALETI, Paulo Anestar. **Práticas de controle à erosão**. [S.l.]: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1987.

GUERRERO, João Vitor Roque *et al.* Mapping potential erosive zones in a brazilian watershed: towards sustainable territorial planning= mapeamento de zonas de potencial erosivo em uma bacia hidrográfica brasileira: rumo a um planejamento territorial sustentável. 2023. DOI: <http://doi.org/10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2023.204576>.

HORDONES, Rafael H *et al.* Toward effective river restoration in brazil: a systematic review of current practices, regional disparities, and success metrics. **Restoration Ecology**, Wiley Online Library, v. 33, n. 4, p. e70041, 2025. DOI: <http://doi.org/10.1111/rec.70041>.

HORTON, Robert E. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological society of America bulletin**, Geological Society of America, v. 56, n. 3, p. 275–370, 1945.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produto Interno Bruto dos Municípios**. [Rio de Janeiro]: IBGE, 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html>. Acesso em: 19 ago. 2026.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Bases cartográficas contínuas: Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas/15759-brasil.html>. Acesso em: 19 ago. 2026.

IDE-SISEMA, INFRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS DO SISTEMA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DE MINAS GERAIS. **Visualizador de mapas**. Belo Horizonte: SISEMA, 2018. Disponível em: <https://visualizador.idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>. Acesso em: 19 ago. 2026.

IGAM, INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Portaria IGAM nº 52, de 31 de agosto de 2020:** Declara situação crítica de escassez hídrica superficial na porção hidrográfica localizada na bacia de contribuição do reservatório bico da pedra. 2020. Disponível em: <https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=52422>.

INMET, INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de Dados Meteorológico – Janaúba.** [Brasília]: INMET, 2021. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 19 ago. 2026.

INPE, INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **TOPODATA:** Banco de dados geomorfométricos do brasil. São José dos Campos, SP: INPE, 2011. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>. Acesso em: 19 ago. 2026.

MAPBIOMAS. **Coleção 6 da série anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil.** [S. l.]: MapBiomass, 2021. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/iniciativas-e-produtos/cobertura-e-uso-da-terra/cobertura-30m/numero-de-classes/>. Acesso em: 19 ago. 2026.

MAPBIOMAS. **MapBiomass Água:** mapeamento da superfície de água e corpos hídricos do brasil. 2026. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/iniciativas-e-produtos/agua/>. Acesso em: 31 ago. 2026.

NICOLETE, Donizeti Aparecido Pastori; PIROLI, Edson Luís. Spatio-temporal analysis of soil loss and sediment export using gis and the invest-sdr model: application in the rio pardo basin, brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, Elsevier, p. 105793, 2025. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jsames.2025.105793>.

OPENSTREETMAP, OPENSTREETMAP CONTRIBUTORS. **OpenStreetMap.** [S. l.]: OpenStreetMap Foundation, 2021. Disponível em: <https://www.openstreetmap.org/copyright>. Acesso em: 19 ago. 2026.

RAMALHO, José Arthur do Nascimento *et al.* Assessment of surface runoff, accelerated erosion, and diffuse pollution potential in the potengi river watershed, rio grande do norte, brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, Elsevier, p. 105829, 2025. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jsames.2025.105829>.

SANTANA, Rodrigo Nobre *et al.* Precision restoration to minimize soil loss in a watershed in the atlantic forest domain. **Land Degradation & Development**, Wiley Online Library, 2025. DOI: <http://doi.org/10.1002/ldr.70270>.

SANTOS, Alessandra dos Santos *et al.* Identification of priority areas for the control of soil erosion and the influence of terrain factors using rusle and gis in the caeté river basin, brazilian amazon. **Earth**, MDPI, v. 6, n. 2, p. 35, 2025. DOI: <http://doi.org/10.3390/earth6020035>.

SCHWAMBACK, Dimaghi *et al.* Land use transformations in the brazilian savanna: A decade of soil erosion and runoff measurements. **Catena**, Elsevier, v. 246, p. 108412, 2024. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108412>.

SICAR, SISTEMA NACIONAL DE CADASTRO AMBIENTAL RURAL. **Base de Downloads.** [Brasil]: SICAR, 2021. Disponível em: <https://consultapublica.car.gov.br/publico/imoveis/index>. Acesso em: 19 ago. 2026.

SILVA, Edilson Freitas da *et al.* Multidecadal analysis of erosion susceptibility in a watershed heavily impacted by deforestation in southeastern amazonia. **International Journal of Sediment Research**, Elsevier, v. 40, n. 3, p. 426–438, 2025. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2025.01.010>.

SILVA, Luiza Maria Affonso Lopes *et al.* Pagamento por serviços ambientais e práticas conservacionistas do solo: estudo de caso em uma propriedade rural inserida na sub-bacia hidrográfica do rio turvo-mg. **Ciência Florestal**, SciELO Brasil, v. 35, p. e85863, 2025. DOI: <http://doi.org/10.5902/1980509885863>.

SIMÕES, Margareth *et al.* **Mapa de vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica do Brasil - 2019 (Primeira aproximação).** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2020. Disponível em: https://geoinfo.dados.embrapa.br/datasets/vulnerabilidade_2019_bra%3Ageonode%3Avulnerabilidade_2019_bra/metadata_detail. Acesso em: 31 ago. 2026.

STRAHLER, Arthur N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, Wiley Online Library, v. 38, n. 6, p. 913–920, 1957. DOI: <http://doi.org/10.1029/TR038i006p00913>.

Histórico de submissão:

Submetido em: 24 de maio de 2026 | Revisado em: 16 de junho de 2026 | Aceito em: 18 de agosto de 2026 |

Publicado em: 09 de setembro de 2026



Acesso Aberto

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da **Licença Creative Commons**, que permite o uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o trabalho original seja devidamente citado.



Direitos Autorais

Os autores retêm os direitos autorais e concedem à revista o direito de primeira publicação, com o trabalho simultaneamente licenciado sob a **Licença Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)**.

Como citar este artigo (ABNT NBR 6023:2025):

OLIVEIRA NETO, Antônio Duarte de *et al.* Diagnóstico hidroambiental para subsidiar a elaboração de projetos e a implantação de intervenções na área de contribuição da Barragem Bico da Pedra. **Revista Vozes**, Teófilo Otoni/MG, v. 14, n. 29, p. 105-128, 2026. Disponível em: <https://revistas.ufvjm.edu.br/vozes/article/view/1582>. DOI: <http://doi.org/10.70597/vozes.v14i29.1582>.