

DESENVOLVIMENTO DE UM WEBGIS PARA O GEOTURISMO EM BRUMADINHO (MINAS GERAIS, BRASIL): INTEGRAÇÃO DE ATRATIVOS, GEODIVERSIDADE E INFRAESTRUTURA DE APOIO EM AMBIENTE CARTOGRÁFICO INTERATIVO

Development of a WebGIS for geotourism in Brumadinho (Minas Gerais, Brazil): integrating attractions, geodiversity and support infrastructure in an interactive cartographic environment

Sabrina Elis Cândido Gonçalves

Doutoranda em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação da PUC Minas. Bolsista CAPES

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3395-3698>

sabrinaelis46@gmail.com

Luiz Eduardo Panisset Travassos

Doutor em Geografia e Doutor em Carstologia. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6264-2429>

luizepanisset@gmail.com

Sandro Laudaes

Doutor em Geografia. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8873-695X>

sandrolaudaes@gmail.com

Artigo recebido em julho/2026 e aceito em setembro/2026

RESUMO

O geoturismo constitui uma modalidade de turismo associada à interpretação, à valorização e à conservação da geodiversidade e do patrimônio geológico, articulando conteúdos geológicos, geomorfológicos, paisagísticos e culturais. Em Brumadinho (Minas Gerais), inserido no Quadrilátero Ferrífero, esse potencial convive com forte herança minerária, patrimônio cultural expressivo e atrativos de projeção regional e internacional, mas as informações de interesse para a visita ainda se encontram dispersas em diferentes fontes. Este artigo apresenta o desenvolvimento e a validação funcional de uma aplicação WebGIS voltada ao geoturismo no município, construída com tecnologias livres e de código aberto (HTML, CSS, JavaScript e Leaflet), com dados estruturados em GeoJSON e apoio instrumental de inteligência artificial generativa na etapa de programação. A aplicação integra o limite municipal, dez atrativos de interesse geoturístico e turístico associado, organizados em seis categorias temáticas, além de camadas de mobilidade e infraestrutura de apoio, como vias, hospedagem, alimentação, serviços e saúde. Também foram implementadas ferramentas de busca, controle de camadas, medição de distâncias, geolocalização, mapa de referência e alternância entre bases cartográficas. A validação incluiu conferência das coordenadas, integridade dos arquivos, funcionamento das camadas e revisão humana do código e dos conteúdos gerados com assistência de IA. Os resultados demonstram a viabilidade de uma solução leve, executável no navegador e independente de servidor dedicado, com potencial para apoiar a comunicação geocientífica, a interpretação territorial e o planejamento da visita. O estudo também explicita limitações

relacionadas ao uso de fontes secundárias, à conectividade e à ausência de inventário sistemático de geossítios, indicando caminhos para o aprimoramento da ferramenta.

Palavras-chave: Geoturismo; WebGIS; Geodiversidade; Brumadinho; Quadrilátero Ferrífero.

ABSTRACT

Geotourism is a form of tourism associated with the interpretation, appreciation and conservation of geodiversity and geological heritage, linking geological, geomorphological, landscape and cultural content. In Brumadinho, Minas Gerais, Brazil, within the Iron Quadrangle, this potential coexists with a strong mining legacy, significant cultural heritage and attractions of regional and international relevance; however, information useful for visitation remains dispersed across different sources. This article presents the development and functional validation of a WebGIS application for geotourism in the municipality. The application was built with free and open-source technologies (HTML, CSS, JavaScript and Leaflet), GeoJSON-structured data, and instrumental support from generative artificial intelligence during the programming stage. It integrates the municipal boundary, ten attractions of geotourism interest and associated tourism, organised into six thematic categories, as well as mobility and support-infrastructure layers, including roads, lodging, food, services and health facilities. Search, layer control, distance measurement, geolocation, overview-map and basemap-switching tools were also implemented. Validation included checking coordinates, file integrity, layer operation and human review of code and content produced with AI assistance. The results demonstrate the feasibility of a lightweight, browser-based solution that does not require a dedicated application server and has potential to support geoscience communication, territorial interpretation and visitation planning. The study also identifies limitations related to the use of secondary sources, internet connectivity and the absence of a systematic geosite inventory, indicating priorities for further development.

Keywords: Geotourism; WebGIS; Geodiversity; Brumadinho; Iron Quadrangle.

1. INTRODUÇÃO

O geoturismo consolidou-se nas últimas décadas como uma modalidade de turismo diretamente relacionada à interpretação e à valorização do meio abiótico. Hose (1995) o definiu inicialmente a partir da oferta de serviços e recursos interpretativos capazes de auxiliar visitantes a compreender a geologia e a geomorfologia de um lugar, para além da apreciação estética. Em trabalhos posteriores, o autor aproximou explicitamente o conceito da geoconservação e da interpretação do patrimônio geológico (Hose, 2000; 2008; 2011). Newsome e Dowling (2010), por sua vez, reforçaram a centralidade da geologia e da paisagem no geoturismo.

Essa perspectiva se apoia no conceito de geodiversidade, entendido como a variedade de elementos, feições, sistemas e processos abióticos da natureza e os valores a eles associados (Gray, 2004). A partir desse quadro conceitual, inventários e avaliações do patrimônio geológico permitem reconhecer sítios de interesse, estimar seus valores e subsidiar estratégias de geoconservação, educação e uso público (Sharples, 2002; Brilha, 2016).

Brumadinho localiza-se na Região Metropolitana de Belo Horizonte, em Minas Gerais, e integra o Quadrilátero Ferrífero, província geológica marcada por registros arqueanos e paleoproterozoicos e por uma longa trajetória de exploração mineral, sobretudo de ferro e ouro (Dorr, 1969; Ruchkys, 2007). O município reúne serras, cachoeiras, patrimônio histórico, referências à mineração, comunidades tradicionais e equipamentos culturais de grande visibilidade, entre os quais o Instituto Inhotim (Faria, 2012). Ao mesmo tempo, a paisagem e a organização territorial expressam de forma contundente as relações entre geodiversidade, mineração, patrimônio e sociedade.

A oferta turística municipal é diversificada. Entre os atrativos naturais e paisagísticos destacam-se a Serra da Calçada, o Parque Estadual da Serra do Rola-Moça, cachoeiras e a Encosta da Serra da Moeda; entre os elementos histórico-culturais estão o centro histórico de Piedade do Paraopeba, a Igreja Matriz de Nossa Senhora da Piedade, a antiga Estação Ferroviária e o Sítio Histórico Quilombo do Sapé. O Instituto Inhotim articula arte contemporânea, jardim botânico, pesquisa e ações educativas, constituindo importante vetor de visitação no município.

Apesar dessa diversidade, as informações necessárias ao planejamento da visitação encontram-se distribuídas em portais institucionais, páginas dos atrativos, catálogos turísticos e plataformas de mapeamento. Falta, portanto, um ambiente cartográfico único que permita combinar pontos de interesse, vias de acesso e serviços de apoio. Aplicações WebGIS oferecem uma alternativa para essa integração ao possibilitarem a consulta e a navegação por dados geoespaciais diretamente no navegador, com baixo custo de acesso para o usuário final (Amorim; Schmidt, 2021).

Diante desse problema, este estudo tem como objetivo desenvolver e avaliar funcionalmente uma aplicação WebGIS voltada ao geoturismo em Brumadinho. Como objetivos específicos, busca-se: (i) organizar dados geoespaciais sobre atrativos de interesse geoturístico e turístico associado, rede viária e infraestrutura de apoio; (ii) implementar uma aplicação web de visualização interativa com tecnologias abertas; (iii) empregar inteligência artificial generativa apenas como apoio à programação e à prototipação; e (iv) verificar o funcionamento das camadas, das ferramentas e dos conteúdos, com revisão humana das respostas e do código gerados durante o desenvolvimento.

A designação dos dez pontos incluídos na aplicação como atrativos de interesse geoturístico e turístico associado é deliberada. O estudo não realizou inventário sistemático capaz de qualificá-los, em sentido estrito, como geossítios segundo critérios de valor científico. Essa distinção é importante para evitar que uma ferramenta de divulgação seja confundida com um inventário de patrimônio geológico. A proposta é construir uma base cartográfica funcional que possa, em etapas futuras, incorporar resultados de inventários e avaliações formais.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico que sustenta esta pesquisa articula três eixos complementares, necessários à compreensão da proposta do WebGIS desenvolvido para Brumadinho. O primeiro reúne os conceitos de geoturismo, geodiversidade e geoconservação, estabelecendo as bases para a interpretação e valorização dos elementos abióticos e de seus vínculos com o patrimônio e a visitação. O segundo aborda o uso de WebGIS e da cartografia interativa como instrumentos de organização, visualização e comunicação de informações geoespaciais em ambiente digital. Por fim, discute-se a incorporação recente da inteligência artificial generativa à cartografia e ao desenvolvimento de aplicações geoespaciais, com ênfase em suas possibilidades de apoio à prototipação e à programação, bem como na necessidade de validação técnica e revisão humana. Esses três eixos permitem situar conceitualmente a aplicação proposta e compreender tanto suas potencialidades quanto seus limites metodológicos.

2.1. Geoturismo, geodiversidade e geoconservação

A trajetória conceitual do geoturismo revela diferentes ênfases. A formulação de Hose (1995; 2000) possui forte base geológica, interpretativa e geoconservacionista, enquanto abordagens posteriores ampliaram o diálogo com a paisagem, a educação e o desenvolvimento territorial. No contexto brasileiro, Coutinho et al. (2019) chamam atenção para a necessidade de distinguir o geoturismo de modalidades genéricas de turismo de natureza, preservando a interpretação da geodiversidade como componente central.

A geodiversidade constitui o substrato material dessa abordagem. Gray (2004) reconhece valores científicos, educativos, estéticos, culturais e econômicos associados aos componentes abióticos. No campo do turismo, o interesse não se limita à contemplação: a interpretação deve favorecer a compreensão das feições geológicas e geomorfológicas e aproximar o conhecimento geocientífico do público (Moreira, 2014; Jorge, 2018).

Brilha (2016) diferencia geossítios e sítios da geodiversidade a partir de seus valores e finalidades. Geossítios são ocorrências in situ de elementos da geodiversidade com alto valor científico; sua identificação exige inventário e avaliação fundamentados em critérios explícitos. O patrimônio geológico resulta do conjunto de geossítios selecionados, enquanto sítios da geodiversidade podem apresentar especial relevância educativa, turística ou cultural, mesmo sem serem definidos prioritariamente pelo valor científico.

A geoconservação, nesse contexto, compreende medidas destinadas a conservar elementos e processos significativos da geodiversidade, compatibilizando proteção, pesquisa, educação e uso

público (Sharples, 2002). O inventário é uma etapa estruturante porque permite definir o que deve ser conservado, por quais razões e sob quais prioridades (Brilha, 2016). O geoturismo pode contribuir para esse processo quando a visitação é acompanhada de interpretação qualificada, valorização social e estratégias de gestão.

No Brasil, o Serviço Geológico do Brasil mantém o GEOSSIT, sistema destinado ao cadastro e à avaliação de geossítios e sítios da geodiversidade. No Quadrilátero Ferrífero, Ruchkys (2007) demonstrou a relevância do patrimônio geológico e mineiro e discutiu seu potencial para iniciativas de geoconservação e geoturismo. Esse contexto fornece base conceitual para aplicações digitais capazes de aproximar informação geocientífica, patrimônio e visitação.

2.2. WebGIS e cartografia interativa aplicados ao geoturismo

Sistemas de Informação Geográfica disponibilizados na web, usualmente denominados WebGIS, permitem acessar, visualizar e consultar dados geoespaciais por meio de navegadores, sem exigir a instalação de software SIG pelo usuário final. Arquiteturas baseadas em HTML, CSS, JavaScript e bibliotecas cartográficas de código aberto ampliaram a possibilidade de criar aplicações leves e compatíveis com computadores e dispositivos móveis.

A biblioteca Leaflet destaca-se por oferecer uma API concisa para mapas interativos e por permitir a integração de camadas vetoriais, marcadores, janelas informativas e diferentes provedores de mapas base (Agafonkin, 2026). Em conjunto com o formato GeoJSON e com dados abertos, como os disponibilizados pelo OpenStreetMap, essa arquitetura favorece soluções de baixo custo, manutenção relativamente simples e elevada portabilidade.

No campo das geociências, plataformas digitais vêm sendo utilizadas para inventário, interpretação e divulgação. O GEOSSIT organiza informações e avaliações sobre geossítios e sítios da geodiversidade, enquanto a plataforma Geo 360° BR, também mantida pelo Serviço Geológico do Brasil, utiliza recursos imersivos para divulgar atrativos geoturísticos e conteúdos geocientíficos. Essas iniciativas ilustram como ambientes digitais podem aproximar informação espacial, educação e visitação.

Uma aplicação WebGIS geoturística em escala municipal não substitui inventários, estudos de capacidade de carga, planos de manejo ou sistemas corporativos de gestão. Sua contribuição reside sobretudo na síntese espacial e na comunicação: ao permitir que o usuário combine atrativos, acessos e equipamentos de apoio, o mapa torna visíveis relações territoriais que se perdem quando os dados permanecem dispersos em páginas independentes.

2.3. Cartografia na era da inteligência artificial generativa

A incorporação recente da inteligência artificial generativa à cartografia e aos SIG ampliou as possibilidades de prototipação de interfaces, geração de código e apoio a tarefas de comunicação cartográfica. Sun et al. (2025) identificam aplicações em geração de mapas, análise geográfica e avaliação de capacidades de cognição espacial, ao mesmo tempo em que destacam limitações e a necessidade de validação especializada.

A produção de mapas e aplicações geoespaciais exige conhecimento sobre fontes, sistemas de referência, escala, generalização, simbologia, legibilidade e qualidade dos dados. Por isso, a facilidade de produzir código a partir de linguagem natural não elimina a responsabilidade técnica do pesquisador. Kang e Wang (2026) ressaltam, entre outros aspectos, riscos de alucinação, problemas de reprodutibilidade, vieses, questões autorais e limitações de explicabilidade em aplicações de IA generativa à cartografia.

Também é necessário distinguir o uso de IA generativa como assistência de programação da inteligência artificial geoespacial (GeoAI), voltada à modelagem e ao raciocínio sobre dados espaço-temporais. O presente estudo não desenvolveu um sistema GeoAI nem delegou análises espaciais autônomas a um modelo. A IA foi empregada para apoiar a prototipação da interface e a geração inicial de trechos de HTML, CSS e JavaScript, posteriormente verificados e corrigidos pelos autores.

Sistemas agênticos podem ampliar a automação de tarefas de desenvolvimento, mas sua confiabilidade ainda depende de mecanismos de governança, conhecimento externo e validação. Guan, Cui e Juhász (2026), em preprint dedicado ao desenvolvimento de WebGIS, discutem justamente a necessidade de estruturas de controle capazes de reduzir falhas associadas à variabilidade dos modelos e à perda de contexto. Essa literatura reforça a adoção, neste trabalho, de uma abordagem com revisão humana em todas as etapas decisivas.

3. METODOLOGIA DE TRABALHO

A pesquisa possui natureza aplicada e foi orientada à elaboração de uma ferramenta WebGIS para organizar, representar e divulgar informações de interesse geoturístico em Brumadinho. O percurso metodológico foi estruturado em seis etapas: revisão teórico-conceitual; delimitação da área de estudo; levantamento e organização dos dados; estruturação das camadas geoespaciais; arquitetura e implementação da aplicação; e testes funcionais com validação humana (Figura 1).

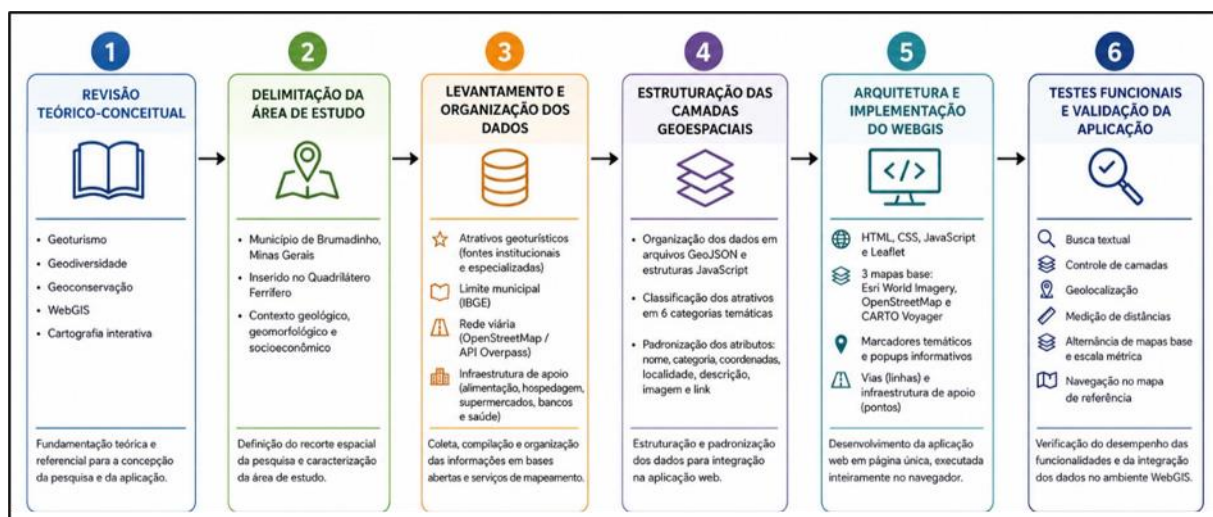


Figura 1 – Fluxograma metodológico da pesquisa para o desenvolvimento do WebGIS de geoturismo em Brumadinho, Minas Gerais.

Fonte: Elaborado pelos autores com auxílio de inteligência artificial generativa e com base nos procedimentos metodológicos da pesquisa.

3.1. Área de estudo e fontes de dados

A área de estudo corresponde ao município de Brumadinho, na Região Metropolitana de Belo Horizonte. Sua escolha decorre da inserção no Quadrilátero Ferrífero, da diversidade de feições naturais e referências culturais e da forte relação histórica e territorial com a mineração. Esse conjunto de características permite discutir o geoturismo não apenas como promoção de atrativos, mas como instrumento de interpretação da paisagem e das relações entre sociedade, patrimônio e geodiversidade.

O levantamento de dados reuniu informações de fontes institucionais e especializadas, entre elas o Portal Minas Gerais, páginas do Instituto Inhotim e o catálogo Céu de Montanhas, complementadas por serviços de mapeamento. O limite municipal foi obtido a partir da malha territorial do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A rede viária foi extraída do OpenStreetMap com apoio da API Overpass, incluindo rodovias, vias principais, estradas de terra e acessos. Equipamentos de apoio — alimentação, hospedagem, supermercados, bancos e serviços de saúde — foram compilados com seus respectivos endereços ou referências de localização.

A seleção inicial dos atrativos considerou sua recorrência nas fontes consultadas, diversidade temática, interesse paisagístico, natural, cultural, educativo ou recreativo e possibilidade de representação espacial na aplicação. Como o trabalho não incluiu campanha de inventário geológico nem avaliação quantitativa de valor científico, a seleção tem caráter funcional e demonstrativo. A IA generativa não foi utilizada como fonte primária de dados geográficos ou turísticos.

3.2. Estruturação dos dados

Os dados vetoriais foram organizados em arquivos GeoJSON e estruturas JavaScript carregadas no lado do cliente. A escolha do GeoJSON decorreu de sua simplicidade, abertura e compatibilidade com bibliotecas web. Cada registro de atrativo recebeu campos padronizados para nome, categoria, coordenadas, localidade, descrição, informações complementares, imagem e ligação para conteúdo adicional.

Para a visualização, os dez atrativos foram agrupados em seis categorias temáticas operacionais: áreas naturais; áreas urbanas; educativo e científico; cultural e paisagístico; esportivo e de aventura; e outros tipos de turismo. Essas categorias servem à organização da interface e não constituem uma tipologia universal de geoturismo. A distinção foi mantida porque parte dos pontos possui interesse geoturístico direto e parte funciona como patrimônio ou infraestrutura de visitação associada.

Antes da implementação, foram verificados a estrutura dos arquivos GeoJSON, a padronização dos atributos, a coerência das coordenadas geográficas e a compatibilidade das camadas com o sistema de referência empregado no mapa. Essa etapa foi essencial para separar problemas de dados de eventuais falhas de código ou de visualização.

3.3. Arquitetura e implementação do WebGIS

A aplicação foi desenvolvida a partir de um prompt autoral utilizado no Genspark AI Workspace 4.0 (Genspark, s.d.), no qual foram descritas a finalidade, a organização visual, as camadas e as ferramentas desejadas. O ambiente de IA foi empregado como assistente de programação e prototipação, não como fonte de coordenadas ou conteúdo factual.

O produto foi concebido como aplicação de página única, executada integralmente no navegador e sem servidor de aplicação dedicado. A estrutura foi definida em HTML, a apresentação em CSS e a interatividade em JavaScript, com Leaflet como núcleo cartográfico. O enquadramento inicial foi ajustado ao limite municipal e foram configurados controle de escala e renderização vetorial.

Foram disponibilizadas três bases cartográficas: imagem de satélite da Esri World Imagery, mapa urbano do OpenStreetMap e CARTO Voyager. Os atrativos foram representados por marcadores temáticos associados a janelas informativas, enquanto as vias foram representadas por linhas e os equipamentos de apoio, por pontos. O usuário pode ativar e desativar as camadas de acordo com seu interesse.

Além da navegação básica, foram implementados busca textual, controle de camadas, geolocalização aproximada, medição de distâncias, alternância entre mapas base, controle de escala,

modo de tela cheia e mapa de referência. A Figura 2 sintetiza os principais comandos utilizados para orientar a geração inicial da aplicação.



Figura 2 – Etapas do prompt utilizado para orientar a geração inicial da aplicação WebGIS.

Fonte: Elaborado pelos autores com auxílio de inteligência artificial generativa e com base no prompt textual utilizado.

3.4. Testes funcionais e validação da aplicação

A validação funcional examinou o carregamento das camadas, a visualização dos marcadores, a abertura das janelas informativas, a alternância das bases cartográficas, o controle de visibilidade, a busca textual, a geolocalização, a medição de distâncias e a navegação geral. Também foram conferidas as coordenadas dos atrativos e a correspondência entre os registros estruturados e o conteúdo exibido.

Os testes foram realizados de forma iterativa. Quando uma versão gerada com assistência de IA apresentava falha, o problema era identificado, descrito e submetido a nova rodada de correção, seguida de verificação pelos autores. Esse procedimento não constitui validação estatística de usabilidade; trata-se de validação funcional do protótipo. A avaliação com diferentes perfis de usuários permanece como etapa futura.

3.5. Uso responsável de IA generativa na concepção do WebGIS

O uso de IA generativa foi tratado como uma variável metodológica que exigia transparência. Foram verificados a acurácia posicional dos elementos, a integridade dos arquivos, a correspondência entre bases cartográficas e provedores reconhecidos, o funcionamento das ferramentas e a redação das informações. O conteúdo gerado ou reorganizado pela IA não foi aceito automaticamente.

Em vez de classificar toda falha do protótipo como 'alucinação', adotou-se uma distinção operacional: erros factuais ou conteúdos inexistentes seriam tratados como possíveis alucinações,

enquanto falhas de carregamento, integração ou execução foram classificadas como problemas de código e de implementação. Essa distinção evita atribuir à IA uma categoria explicativa imprecisa para defeitos comuns de desenvolvimento de software.

A plataforma foi acessada em 21 de maio de 2026. O fluxo de prompt definiu finalidade, interface, estrutura cartográfica, organização dos atrativos, informações exibidas, infraestrutura turística e urbana, ferramentas cartográficas e organização geral da aplicação. As bases de dados, coordenadas, textos e imagens necessários à aplicação foram inseridos ou conferidos pelos autores.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O produto, denominado “Geoturismo em Brumadinho (MG)”, organiza a navegação em um painel lateral retrátil e uma área principal de mapa. O painel concentra busca, seleção de mapas base, controle das camadas temáticas, mobilidade, infraestrutura, legenda e referências, mantendo a visualização funcional em diferentes dimensões de tela.

As camadas de atrativos reúnem dez pontos. Na categoria áreas naturais estão Serra da Calçada, Cachoeira da Ostra e Parque Estadual da Serra do Rola-Moça; na categoria educativo e científico, o Instituto Inhotim; na categoria cultural e paisagístico, o centro histórico de Piedade do Paraopeba e o Sítio Histórico Quilombo do Sapé; na categoria esportivo e de aventura, Topo do Mundo e Verde Folhas; na categoria áreas urbanas, a antiga Estação Ferroviária de Brumadinho; e, em outros tipos de turismo, a Igreja Matriz de Nossa Senhora da Piedade.

A interface permite acessar cada atrativo pelo marcador ou pela busca textual. A seleção reposiciona o mapa e abre uma janela com imagem, descrição, localização e informações complementares. A Figura 3 apresenta uma visão geral da aplicação e um exemplo de janela informativa associada à Cachoeira da Ostra.

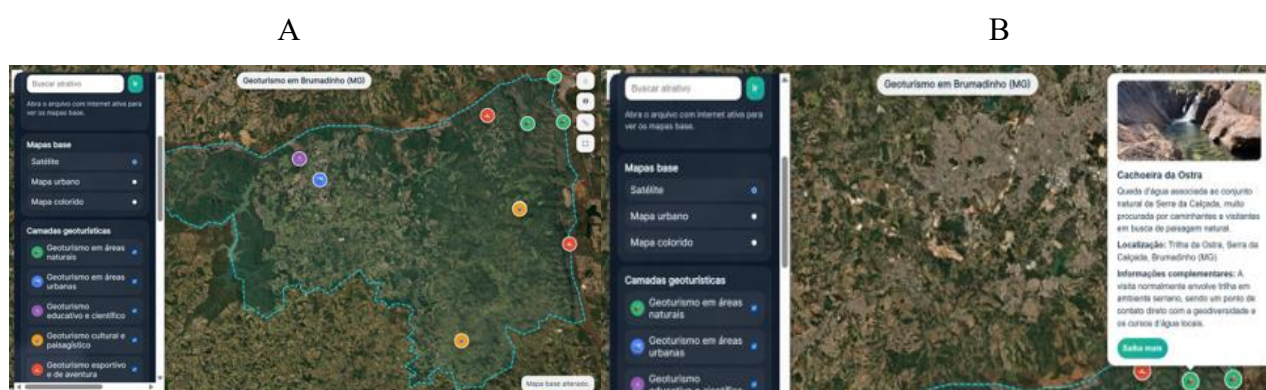


Figura 3 – Interface do WebGIS de geoturismo em Brumadinho (MG). A) Vista geral do mapa com limite municipal, marcadores temáticos e painel de camadas. B) Exemplo de janela informativa da Cachoeira da Ostra.

Fonte: Elaborado pelos autores.

As camadas de mobilidade e infraestrutura abrangem rodovias e vias principais, estradas de terra e acessos, restaurantes e lanchonetes, hotéis e pousadas, supermercados, bancos e estabelecimentos de saúde. A ativação independente dessas camadas permite combinar, por exemplo, atrativos naturais com pontos de apoio ao longo dos principais eixos de deslocamento. Essa integração constitui uma das principais vantagens do WebGIS em comparação com listas ou páginas isoladas.

Entre as ferramentas de navegação, a medição de distâncias utiliza polilinhas e cálculo de comprimento com base na fórmula de Haversine. Também foram implementados recentralização sobre o município, geolocalização aproximada, alternância de mapas base, tela cheia e mapa de referência. Uma caixa de status fornece retorno textual sobre operações executadas, contribuindo para a legibilidade da interação.

A validação iterativa identificou três falhas recorrentes nas versões intermediárias: o arquivo HTML era aberto sem renderizar o mapa; em outra versão, as camadas de dados não eram carregadas; e, em uma terceira, informações adicionais associadas aos pontos não apareciam nas janelas. Em cada caso, a causa foi tratada como problema de implementação e o código foi revisto até que o comportamento esperado fosse restabelecido. Duas rodadas adicionais de correção foram necessárias para estabilizar essas funções.

Esse resultado é metodologicamente relevante porque mostra tanto a utilidade quanto o limite do uso de IA generativa no desenvolvimento. A ferramenta acelerou a criação do protótipo e a reescrita de trechos de código, mas não eliminou a necessidade de diagnóstico técnico, conferência de dados e julgamento cartográfico. A revisão humana, portanto, integrou o método e não apenas uma etapa editorial posterior.

A arquitetura também impõe limitações. O carregamento de mapas base e imagens depende de conexão à internet, o que reduz a autonomia em áreas com cobertura de rede precária. A representação pontual simplifica atrativos que, na realidade, correspondem a áreas, trilhas ou conjuntos de feições. A ausência de banco de dados espacial em servidor restringe consultas complexas, controle de versões e atualização colaborativa em maior escala.

Apesar dessas restrições, a solução confirma a viabilidade de um WebGIS leve e de baixo custo para comunicação geoturística municipal. A adoção de tecnologias abertas e formatos interoperáveis reduz a dependência de licenças proprietárias e facilita a replicação do modelo. Essa característica é particularmente relevante para grupos de pesquisa, instituições de ensino e gestores que necessitam divulgar informação espacial sem manter infraestrutura servidora complexa.

Do ponto de vista conceitual, a principal cautela reside na natureza dos pontos representados. A inclusão, no mesmo ambiente, de feições naturais, patrimônio cultural, equipamentos científicos e outros atrativos favorece uma leitura territorial integrada, mas não autoriza classificar todos como

geossítios. O GEOSSIT e a metodologia de Brilha (2016) deixam claro que a qualificação de geossítio exige valor científico demonstrado e inventário específico. Por essa razão, o WebGIS deve ser entendido, nesta etapa, como instrumento de divulgação e organização espacial, e não como inventário de patrimônio geológico.

Essa distinção também fortalece a contribuição do trabalho: o protótipo estabelece a infraestrutura informacional sobre a qual uma etapa posterior de inventário pode operar. A incorporação futura de polígonos, trilhas, valores científicos, educativos e turísticos, risco de degradação, recomendações de visitação e conteúdos interpretativos permitirá aproximar a aplicação de um instrumento de apoio à geoconservação.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo apresentou o desenvolvimento e a validação funcional de uma aplicação WebGIS voltada ao geoturismo em Brumadinho, integrando dez atrativos de interesse geoturístico e turístico associado, limite municipal, rede viária e infraestrutura de apoio. A solução reúne, em um único ambiente interativo, informações antes dispersas e oferece recursos de busca, controle de camadas, geolocalização, medição de distâncias e alternância de bases cartográficas.

A arquitetura baseada em HTML, CSS, JavaScript, Leaflet e GeoJSON mostrou-se adequada à proposta de uma aplicação leve e executável no navegador. O uso de IA generativa contribuiu para a prototipação e para a geração inicial de código, mas os testes evidenciaram que a ferramenta não substitui a validação especializada. Problemas de carregamento e integração precisaram ser diagnosticados e corrigidos por meio de revisão humana, assim como coordenadas, textos e escolhas cartográficas foram conferidos antes da consolidação do produto.

O trabalho também permitiu explicitar um limite conceitual relevante. Os pontos incorporados ao WebGIS não foram submetidos a inventário sistemático de patrimônio geológico; por isso, a aplicação não deve apresentá-los indistintamente como geossítios. Nesta fase, a contribuição do sistema está na comunicação, na interpretação do território e no apoio ao planejamento da visitação. A distinção entre atrativos, sítios da geodiversidade e geossítios deve ser mantida em versões futuras.

Como desdobramentos, recomenda-se realizar inventário e avaliação quantitativa de geossítios e sítios da geodiversidade; representar trilhas, áreas e percursos com geometrias adequadas; incorporar informações sobre vulnerabilidade, risco de degradação e condições de visitação; criar mecanismos de atualização dos dados; e realizar testes de usabilidade com turistas, estudantes, pesquisadores, moradores e gestores. Esses avanços podem transformar o protótipo em uma ferramenta mais robusta de comunicação geocientífica, educação, geoconservação e gestão da visitação em Brumadinho.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio por meio de bolsas de produtividade em pesquisa e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudos, fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

AGAFONKIN, V. **Leaflet**: an open-source JavaScript library for mobile-friendly interactive maps. Disponível em: <https://leafletjs.com>. Acesso em: 8 jun. 2026.

AMORIM, F. R.; SCHMIDT, M. A. R. WebMapa: desenvolvimento de mapas web por um complemento QGIS. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 73, n. 3, 2021.

BRILHA, J. Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review. **Geoheritage**, v. 8, n. 2, p. 119-134, 2016.

CÉU DE MONTANHAS. **Céu de Montanhas**: turismo sustentável em Brumadinho. Disponível em: <https://ceudemontanhas.com.br/>. Acesso em: 16 set. 2026.

COUTINHO, A. C. A.; URBANO, D. G.; MATE, A. J.; NASCIMENTO, M. A. L. Turismo e geoturismo: uma problemática conceitual. **Rosa dos Ventos**, v. 11, n. 4, p. 754-767, 2019

DORR, J. V. N. **Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil**. Washington: United States Geological Survey, 1969. (USGS Professional Paper, 641-A). Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/pp/0641a/report.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2026.

FARIA, D. M. C. P. **Análisis de la capacidad del turismo en el desarrollo económico regional: el caso de Inhotim y Brumadinho**. 2012. Tese (Doutorado em Economia) – Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

GENSPARK. **Introducing Genspark AI Workspace 4.0**: your AI employee, now everywhere. [S. l.], s.d. Disponível em: <https://www.genspark.ai/blog/genspark-ai-workspace-4>. Acesso em: 21 mai. 2026.

GRAY, M. **Geodiversity**: valuing and conserving abiotic nature. Chichester: John Wiley & Sons, 2004.

GUAN, B.; CUI, W.; JUHÁSZ, L. **A dual-helix governance approach towards reliable agentic artificial intelligence for WebGIS development**. arXiv, 2026. Preprint.

HOSE, T. A. Selling the story of Britain's stone. **Environmental Interpretation**, v. 10, n. 2, p. 16-17, 1995.

HOSE, T. A. European “geotourism”: geological interpretation and geoconservation promotion for tourists. In: BARETTINO, D.; WIMBLEDON, W. A. P.; GALLEGU, E. (ed.). **Geological heritage**:

its conservation and management. Madrid: Instituto Tecnológico Geominero de España, 2000. p. 127-146.

HOSE, T. A. Towards a history of geotourism: definitions, antecedents and the future. In: BUREK, C. V.; PROSSER, C. D. (ed.). **The history of geoconservation**. London: Geological Society, 2008. p. 37-60. (Special Publications, 300).

HOSE, T. A. The English origins of geotourism (as a vehicle for geoconservation) and their relevance to current studies. **Acta Geographica Slovenica**, v. 51, n. 2, p. 343-359, 2011.

INSTITUTO INHOTIM. **Brumadinho**. Disponível em: <https://www.inhotim.org.br/institucional/brumadinho/>. Acesso em: 16 set. 2026.

JORGE, M. C. O. O papel das comunidades locais, sua importância e os novos desafios acerca da sustentabilidade ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (org.). **Geoturismo, geodiversidade e geoconservação: abordagens geográficas e geológicas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2018. p. 51-80.

KANG, Y.; WANG, C. Envisioning generative artificial intelligence in cartography: mapmaking, map use, and ethics. **International Journal of Cartography**, v. 12, n. 2, p. 334-360, 2026.

MINAS GERAIS. **Portal Minas Gerais: Brumadinho**. Disponível em: <https://www.minasgerais.com.br/pt/apoio-destino/brumadinho>. Acesso em: 16 set. 2026.

MOREIRA, J. C. **Geoturismo e interpretação ambiental**. 2. ed. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2014.

NEWSOME, D.; DOWLING, R. (ed.). **Geotourism: the tourism of geology and landscape**. Oxford: Goodfellow Publishers, 2010.

OPENSTREETMAP CONTRIBUTORS. **OpenStreetMap**. Disponível em: <https://www.openstreetmap.org>. Acesso em: 8 jun. 2026.

RUCHKYS, Ú. A. **Patrimônio geológico e geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: potencial para a criação de um geoparque da UNESCO**. 2007. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

SCHOBENHAUS, C.; SILVA, C. R. (org.). **Geoparques do Brasil: propostas**. Rio de Janeiro: CPRM, 2012. v. 1. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/jspui/handle/doc/1209>. Acesso em: 8 jun. 2026.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Plataforma do SGB oferece passeio virtual por diversos atrativos geoturísticos do Brasil**. 15 abr. 2026. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/w/plataforma-do-sgb-oferece-passeio-virtual-por-diversos-atrativos>. Acesso em: 16 set. 2026.

SHARPLES, C. **Concepts and principles of geoconservation**. Tasmania: Tasmanian Parks & Wildlife Service, 2002.

SUN, C.; LAN, T.; WU, Z.; SHI, X.; CHENG, D.; JIANG, S. Generative Artificial Intelligence and Its Applications in Cartography and GIS: an exploratory review. **Journal of Geodesy and Geoinformation Science**, v. 8, n. 2, p. 74-89, 2025.