

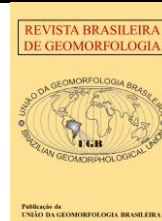


<https://rbgeomorfologia.org.br/>
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 27, nº 2 (2026)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v27i2.2778>



Artigo de Pesquisa

Índice de Geodiversidade para identificação de áreas prioritárias ao geopatrimônio no trajeto da BR-174 em Roraima, norte do Brasil

Geodiversity Index for identifying priority areas for geoheritage along the BR-174 route in Roraima, northern Brazil

Sérgio Mateus Sid Mendonça ¹, Fábio Luiz Wankler ² e Márcia Teixeira Falcão ³

- ¹ Universidade Federal de Roraima, Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais (PRONAT), Boa Vista, Brasil. E-mail: sergiosid.10@hotmail.com.
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5852-3672>
- ² Universidade Federal de Roraima, Departamento de Geologia, Boa Vista, Brasil. E-mail: fwankler@gmail.com.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3965-6723>
- ³ Universidade Estadual de Roraima, Departamento de Geografia, Boa Vista, Brasil. E-mail: marciafalcao.geog@uerr.edu.br.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3190-3192>

Recebido: 02/12/2025; Aceito: 06/04/2026; Publicado: 01/06/2026

Resumo: A geodiversidade, enquanto variedade abiótica da natureza, constitui a base para a identificação de elementos do geopatrimônio. Roraima, inserido no Escudo das Guianas, apresenta elevada geodiversidade, mas carece de estudos de quantificação em escala regional. Este trabalho objetivou quantificar a geodiversidade ao longo do corredor da BR-174 e identificar áreas prioritárias para futuros inventários de geossítios. Aplicou-se o método de índice de geodiversidade em SIG, analisando a riqueza de classes de litologia, geomorfologia e pedologia em malha de 15 x 15 km, classificada pelo método *Jenks*. Os resultados revelaram distribuição heterogênea, com 37% da área classificada como “alta” e “muito alta”, concentrando-se na região central (Caracarái, Iracema, Mucajaí, Amajari). Verificou-se que 67% dos pontos de interesse geológico previamente catalogados coincidem com essas áreas. Conclui-se que o índice é uma ferramenta eficaz para a prospecção de geopatrimônio em escala regional, e os setores mapeados como prioritários ao longo da BR-174 representam alvos para investigações futuras, subsidiando políticas de geoconservação e planejamento territorial.

Palavras-chave: Geodiversidade; Geopatrimônio; SIG; Mapeamento; Roraima.

Abstract: Geodiversity, as the abiotic variety of nature, provides the foundation for identifying geoheritage elements. Roraima, located within the Guiana Shield, exhibits high geodiversity but lacks regional-scale quantification studies. This study aimed to quantify geodiversity along the BR-174 corridor and identify priority areas for future geosite inventories. The geodiversity index method was applied using GIS, analyzing class richness of lithology, geomorphology, and pedology on a 15 × 15 km grid classified by the Jenks natural breaks method. Results revealed a heterogeneous distribution, with 37% of the area classified as "high" and "very high", concentrated in the central region (Caracarái, Iracema, Mucajaí, Amajari). A total of 67% of previously cataloged geological interest points coincided with these areas. We conclude that the index is an effective tool for regional-scale geoheritage prospecting, and the sectors mapped as priority along the BR-174 represent targets for future investigations, supporting geoconservation policies and territorial planning.

Keywords: Geodiversity; Geoheritage; GIS; Mapping; Roraima.

1. Introdução

O conceito de Geodiversidade, definido como a variedade natural de elementos e processos geológicos, geomorfológicos, pedológicos e hidrológicos (Gray, 2013; Tukiainen; Toivanen; Maliniemi, 2023), consolida-se como paradigma central para a compreensão dos sistemas terrestres. Esta diversidade abiótica constitui o arcabouço físico que sustenta os ecossistemas (*nature's stage*), uma vez que a variação no substrato geológico e na geomorfologia influencia diretamente os padrões de biodiversidade (Hjort et al., 2024; Maliniemi et al., 2024; Tukiainen; Bailey, 2023).

A quantificação da geodiversidade é fundamental para a geoconservação e para gestão de geopatrimônio – porções do território com valor científico, educativo ou turístico (Brilha, 2016). O presente estudo alinha-se à abordagem que quantifica a riqueza de classes de elementos abióticos (litologia, geomorfologia e pedologia), um método sistemático e reproduzível para análises em escala regional que prioriza a mensuração da heterogeneidade física, distinta de uma valoração qualitativa (Manosso et al., 2021; Silva et al., 2021). Estabelece-se, assim, uma distinção conceitual; a geodiversidade constitui a base física quantificada; o geopatrimônio compreende as porções desta geodiversidade que detêm valor; e o geoturismo representa a atividade que promove o uso sustentável desse patrimônio (Brilha, 2016).

No contexto brasileiro, marcado pela ausência de uma política nacional articulada para a proteção da geodiversidade (Kuhn et al., 2022), estudos quantitativos tornam-se imperativos para subsidiar a tomada de decisão. Esta lacuna é particularmente relevante na Amazônia, cuja complexidade geológica do Escudo das Guianas contrasta com a escassez de mapeamentos detalhados de geodiversidade que complementem os inventários de biodiversidade (Alsbach; Seijmonsbergen; Hoorn, 2024).

O estado de Roraima, inserido neste domínio geotectônico, apresenta paisagem de notória heterogeneidade abiótica. A rodovia BR-174, ao transpor este ambiente diverso, configura um eixo logístico estratégico cujo planejamento pode beneficiar-se de uma avaliação científica de sua geodiversidade. Nesse sentido, a quantificação aqui proposta serve como ferramenta de triagem espacial para identificar áreas candidatas a abrigar a geopatrimônio – os denominados *hotspots* de geodiversidade (Bétard; Peulvast, 2019) – cuja validação como sítios de interesse demandará etapas subsequentes de inventário qualitativo.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo: (i) quantificar a geodiversidade ao longo do corredor da BR-174 em Roraima, mediante aplicação do método do índice de geodiversidade em ambiente SIG; e (ii) identificar *hotspots* de geodiversidade, delimitando áreas candidatas prioritárias para futuras investigações de geopatrimônio e planejamento exploratório de ações de geoconservação. Os resultados poderão subsidiar políticas públicas e fornecer base técnica para iniciativas que conciliem conservação ambiental e desenvolvimento socioeconômico na região amazônica.

2. Área de Estudo

A BR-174, que atravessa Roraima no sentido norte-sul, é marcada por uma grande diversidade de formações geológicas. Seu posicionamento geográfico no extremo norte do Brasil é estratégico (Figura 1), com fronteiras ao norte com a República Bolivariana da Venezuela, ao sul com os estados do Amazonas e Pará, a leste com a República Cooperativista da Guiana e o oeste com o estado do Amazonas e novamente com a Venezuela (Júnior; Lima Gomes; Maia, 2023). A geodiversidade ao longo da rodovia deve-se ao fato de ela fazer um transecto N-S da porção do Escudo das Guianas – um terreno antigo que apresenta alta diversidade litológica e estrutural, formado

por rochas cristalinas recobertas por depósitos aluvionares (Bartorelli; Teixeira; De Brito Neves, 2020; Mendes et al., 2023).

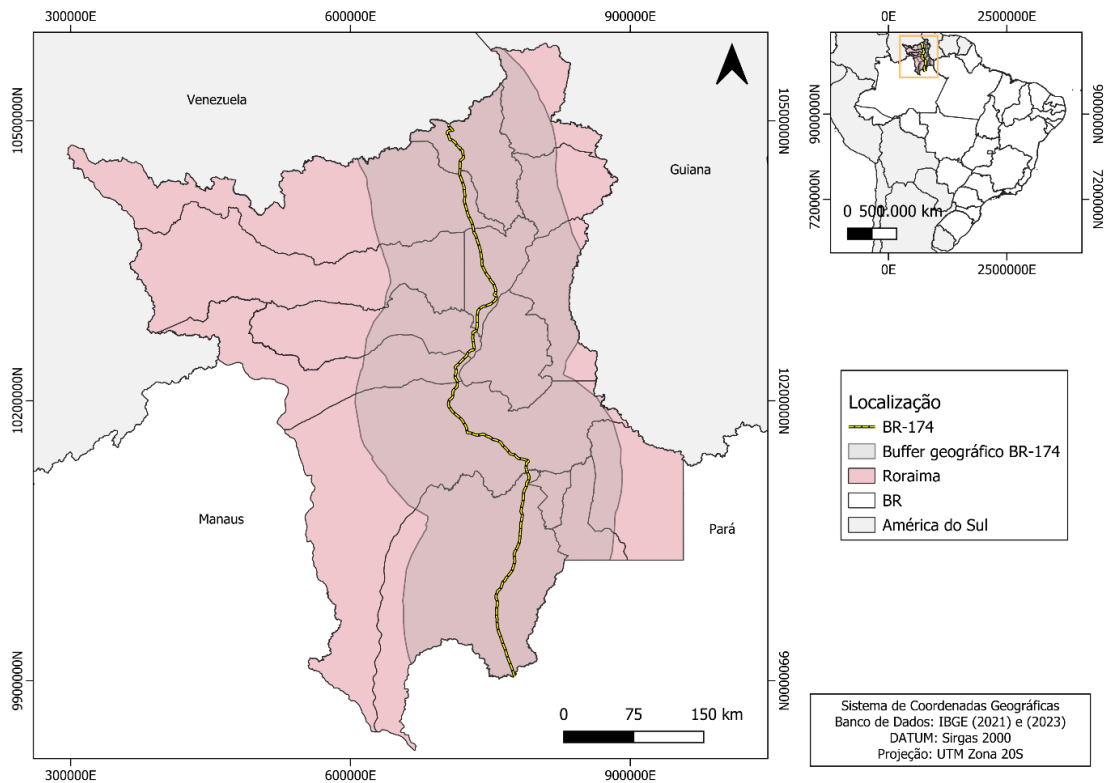


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo, identificando o buffer geográfico e os municípios do estado.

Segundo Reis et al., (2003), o estado de Roraima pode ser dividido em quatro domínio tectonoestruturais principais, mas que segundo Holanda; Marmos; Maia (2014) apresentam características litológicas, geomorfológicas de fitogeográficas distintas (Quadro 1).

A heterogeneidade geológica e geomorfológica (e climática) ao longo da BR-174 contribui para ocorrência de uma diversidade de solos, resultado de variados processos pedogenéticos, influenciados por condições bioclimáticas passadas e atuais. (Benedetti et al., 2011; Holanda; Marmos; Maia, 2014).

Conforme a classificação climática de Koppen, o estado de Roraima é caracterizado pela ocorrência de três tipos de clima: Af (equatorial úmido), Am (monçônico) e Aw (tropical sazonal ou de savana) (Alvares et al., 2013; Barni et al., 2022).

Quadro 1. Características dos domínios tectonoestratigráficos do estado de Roraima.

DOMÍNIO	LOCALIZAÇÃO	LITOLOGIA PRINCIPAL	RELEVO	COBERTURA VEGETAL	OBSERVAÇÃO
Surumu	Norte e Nordeste	Rochas vulcano-plutônicas e metassedimentares	Formas homogêneas; Planalto Interflúvio Amazonas-Orinoco e Planalto Sedimentar Roraima; serras tipo	Florestas e Cerrados	Relevo diversificado com variação entre serras e áreas planas

			apalacheano, relevo cuestiforme e <i>inselbergs</i>		
Parima	Noroeste	Terrenos granito- <i>greenstone</i>	Mares de morros	Floresta densa	Área com relevo suavemente ondulado
Guiana Central	Região central	Unidade paleoproterozoi- cas e cinturões metamórficos; sedimentos inconsolidados	Transição entre o Planalto das Guianas e a Planície Amazônica; mares de morros florestados. Pediplano com <i>inselbergs</i>	Floresta	Área de transição geomorfológicas marcante
Uatumã -Anauá	Sudeste	Terreno granito- gnáissicos e coberturas sedimentares	Formas de relevo homogêneas; Planalto Interflúvio Amazonas- Orinoco; mares de morros	Floresta tropical densa, com áreas antropizad as	Região com crescente impacto de assentamento agrícolas

2. Materiais e Métodos

A abordagem metodológica foi estruturada com o objetivo principal de quantificar a geodiversidade ao longo do trajeto da BR-174. Os procedimentos basearam-se na análise de dados espaciais digitais utilizando o Sistema de Informações Geográficas (SIG), seguindo um protocolo de análise quantitativa focado no índice de riqueza de classes. Esta etapa visa determinar a heterogeneidade abiótica da área de estudo, fornecendo base espacial para identificar macrozonas de interesse que servirão como áreas candidatas futuras investigações e geopatrimônio.

2.1 Base de dados e área de análise

Foram utilizadas bases cartográficas vetoriais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na escala 1:250.000, complementadas por bases do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), na escala 1:1.000.000, e pelos relatórios do Zoneamento Ecológico-Econômico de Roraima (ZEE-RR), na escala 1:850.000. Para garantir a compatibilidade entre as diferentes fontes, procedeu-se à uniformização para a escala mais detalhada (1:250.000), adotando-se como critério a generalização cartográfica das bases de menor resolução para o nível taxonômico correspondente, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1. Variáveis utilizada para a elaboração do estudo.

Elementos	Escala original	Classes utilizadas
Geologia	1:250.000	Unidade geológica
Geomorfologia	1:250.000	Unidade geomorfológica
Pedologia	1:250.000	Ordem de solos

Fonte: os Autores.

A área de estudo foi delimitada por um *buffer* geográfico de 100 km a partir do trajeto da BR-174. Esta distância foi estabelecida para abranger a transição entre os principais domínios tectonoestruturais do Escudo das Guianas adjacentes à rodovia, assegurando que a análise capturasse a variabilidade geológica em escala compatível com estudos exploratórios regionais.

2.2 Processamento dos dados geográficos

O processamento e a modelagem dos dados foram realizados em ambiente SIG utilizando *software* livre QGIS (versão 3.34.13), com o sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), fuso 20N, Datum SIRGAS 2000.

As camadas temáticas foram processadas individualmente para determinar a riqueza de classes em cada variável. Inicialmente, realizou-se o tratamento das bases para harmonizar a projeção entre os dados de entrada. Em seguida, os dados vetoriais de Geologia, Geomorfologia e Pedologia foram convertidos para o formato *raster* utilizando resolução espacial de 15 x 15 km.

Para cada célula da grade, o valor do índice parcial de diversidade foi calculado como a riqueza simples de classes, ou seja, o número absoluto de classes distintas (unidades geológicas, unidades geomorfológicas ou ordens de solos) cuja representação espacial interceptava a célula, independentemente da área ocupada por cada classe. Não foi aplicada ponderação por área ou normalização prévia dos valores, uma vez que as variáveis de entrada já se encontravam em escala categórica compatível. A ausência de ponderação baseia-se no pressuposto de que a presença de uma classe, ainda que em pequena extensão, contribui para a heterogeneidade abiótica da célula.

A resolução de 15 x 15 km foi adotada com compromisso entre o detalhe dos dados de base (1:250.000) e a necessidade de generalização para análise regional, sendo adequada para identificação de *hotspots* de geodiversidade. Reconhece-se que esta escala pode não capturar feições pontuais de interesse, configurando-se, portanto, como ferramenta exploratória para direcionar estudos futuros em escala mais detalhada.

Esta etapa resultou em mapas matriciais onde cada célula armazena o valor da riqueza de classes presentes, conforme abordagem similar à utilizada por Araujo e Pereira (2017).

2.3 Método de Índice de Geodiversidade

A quantificação da geodiversidade foi realizada com base no método de Índice de Geodiversidade, abordagem quantitativa que contabiliza a variedade de elementos abióticos em uma área definida. Esta abordagem tem sido aplicada e adaptada em diferentes contextos brasileiros (Araujo; Pereira, 2017; Pereira et al., 2013; Silva et al., 2021), fundamentando-se no princípio da riqueza de classes.

2.3.1 Cálculo dos índices parciais e integrado

Para cada variável analisada (geologia, geomorfologia e pedologia), foram calculados índices parciais de diversidade a partir das grades *rasters* de 15 x 15 km. O valor de cada célula foi determinado pela riqueza simples de classes, ou seja, o número absoluto de classes distintas (unidades geológicas, unidades geomorfológicas ou ordens de solos) cuja representação espacial interceptava a célula, independentemente da área ocupada por cada classe.

Não foi aplicada a ponderação por área ou normalização prévia dos valores, uma vez que as variáveis de entrada já se encontravam em escala categórica comparável. A ausência de ponderação baseia-se no pressuposto de que a presença de uma classe, ainda que em pequena extensão, contribui para a heterogeneidade abiótica da

célula. Este procedimento assegura que todos os componentes abióticos contribuam de forma equilibrada para a análise final (Pereira et al., 2013).

O Índice de Geodiversidade (Igeo) foi obtido pela soma aritmética dos índices parciais, conforme a seguinte equação:

$$Igeo = IDL + IDG + IDP$$

Onde:

Igeo: Índice de Geodiversidade

IDL: Índice de diversidade litológica (número de classes litológicas por célula)

IDG: Índice de diversidade geomorfológica (número de classes geomorfológicas por célula)

IDP: Índice de diversidade pedológica (número de classes de solos por célula)

A quantificação foi executada mediante álgebra de mapas no ambiente QGIS (versão 3.34.13).

2.3.2 Classificação e interpretação dos resultados

Os valores obtidos para o índice integrado foram classificados em cinco categorias (Tabela 2) utilizando o método de quebras naturais (*natural breaks - Jenks*). Esta técnica identifica agrupamentos naturais nos dados, minimizando a variância intraclases e maximizando a variância interclasse, sendo particularmente adequada para dados de geodiversidade por respeitar a distribuição estatística original dos valores.

Tabela 2. Intervalo de classe resultantes da aplicação do método *natural breaks (Jenks)* aos dados dos mapas temáticos.

Classificação/Variável	Geologia	Geomorfologia	Pedologia	Geodiversidade
Muito alto	> 4,2963	> 2,9900	> 3,4268	> 9,9988
Alto	3,6803 - 4,2963	2,5399 - 2,9900	2,9470 - 3,4268	8,8658 - 9,9988
Moderado	3,0644 - 3,6803	2,0899 - 2,5399	2,4672 - 2,9470	7,7329 - 8,8658
Baixa	2,4484 - 3,0644	1,6399 - 2,0899	1,9873 - 2,4672	6,5999 - 7,7329
Muito Baixa	≤ 2,4484	≤ 1,6399	≤ 1,9873	≤ 6,5999

Fonte: os Autores.

Os resultados do Igeo foram interpretados como indicadores de heterogeneidade abiótica, delineando macrozonas com maior riqueza de elementos físicos. Estas áreas configuram-se como candidatas prioritárias para futuras investigações de geopatrimônio.

2.3.3 Análise espacial regional e convergência exploratória

Para facilitar a interpretação regional dos padrões de geodiversidade, a área de estudo foi compartimentada em três zonas geográfica (Quadro 2):

Quadro 2. Compartimentação de zonas de geodiversidade.

Zona	Localidade
Norte	Estende-se da fronteira com Venezuela e Guiana até a confluência dos rios Tacutu e Uraricoera.
Central	Compreende a área entre a confluência dos rios Tacutu e Uraricoera e o baixo curso do rio Branco.
Sul	Abrange desde o baixo curso do rio Branco até os limites com os estados do Amazonas e Pará.

Fonte: os Autores.

Esta compartimentação baseia-se na transição entre os principais domínios tectonoestruturais e permite uma análise diferenciada dos padrões de geodiversidade ao longo do corredor viário.

Para contextualizar os resultados, realizou-se uma análise exploratória de convergência espacial entre as áreas de alto Igeo e elementos de interesse geológico previamente catalogados na região (cachoeiras, corredeiras e serras), obtidos a partir de dados vetoriais disponibilizados por Holanda, Marmos e Maia (2014). Ressalta-se que este cruzamento possui caráter meramente ilustrativo e exploratório, não constituindo uma avaliação de potencial geoturístico nem validação qualitativa dos elementos como geossítios. Seu objetivo é apenas verificar a correspondência espacial entre a heterogeneidade abiótica quantificada e feições já reconhecidas na literatura, fornecendo um indicativo preliminar para direcionar futuros inventários de campo.

3. Resultados

A análise quantitativa da geodiversidade no *buffer* geográfico da BR-174 revelou distribuição espacial heterogênea dos índices, refletindo a complexidade geológica, geomorfológica e pedológica da região. A integração dos índices parciais permitiu delimitar macrozonas com elevada heterogeneidade abiótica, as quais configuram áreas prioritárias para futuras investigações de geopatrimônio.

3.1. Diversidade geológica

A diversidade geológica, representada pela variedade de litotipos no *buffer* geográfico da BR-174 (Figura 2), apresenta distribuição espacial assimétrica. Os valores mais elevados concentram-se na porção central do corredor, predominantemente na margem direita da rodovia, onde se inserem os domínios tectonoestratigráficos Guiana Central e Uatumã-Anauá.

A classificação do Índice de Diversidade Geológica em cinco categorias evidencia que as áreas com diversidade “alta” e “muito alta” predominam nas zonas central e sul do *buffer*, nas proximidades do eixo viário. Em contraste, os valores mais baixos localizam-se na zona norte e nas extremidades leste e oeste das demais zonas.

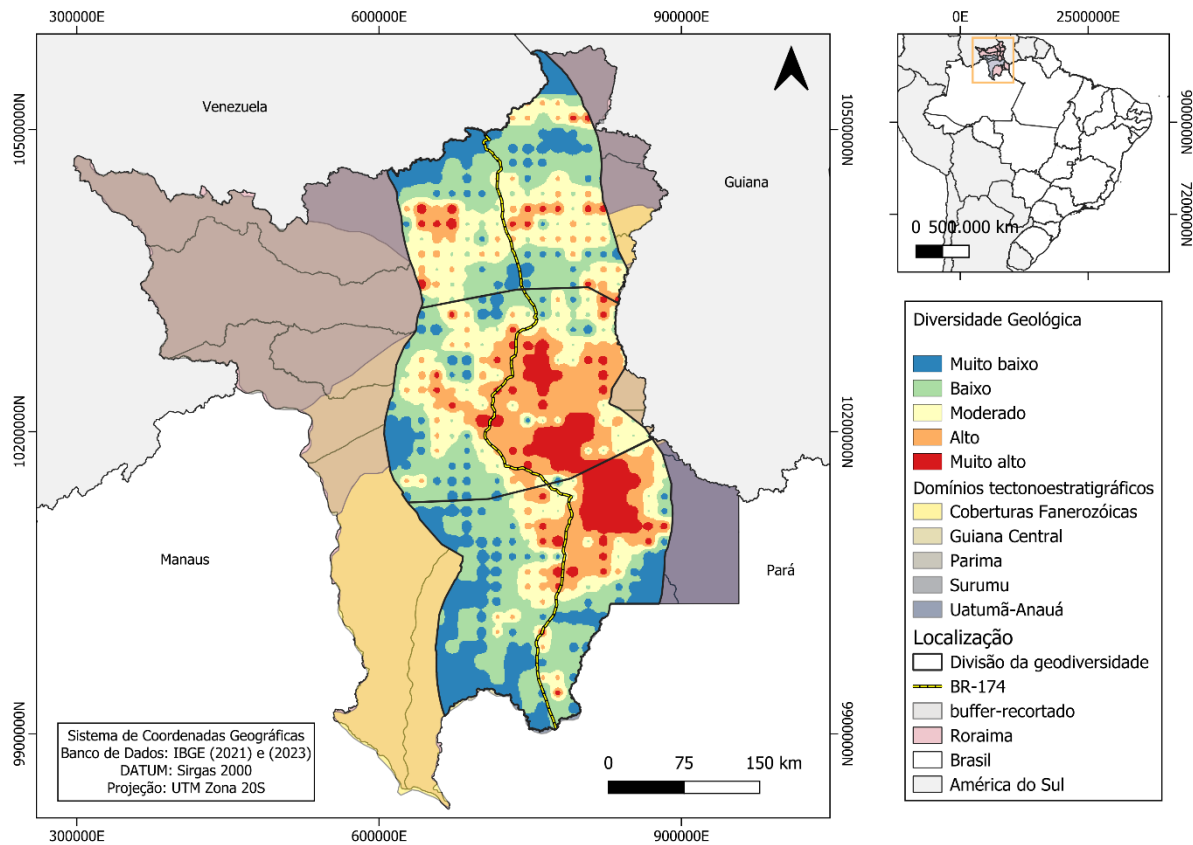


Figura 2. Mapa de diversidade geológica da área de estudo.

As áreas com diversidade “alta” e “muito alta” coincidem espacialmente com zonas de transição litológica e com a influência de estruturas geológicas complexas (Figura 3). Na zona central, a presença do hemi-gráben do Tacutu – um sistema de falhas normais mesozoicas – justapõe unidades litológicas paleoproterozoicas às sequências vulcano-sedimentares juro-cretáceas, resultando na elevada heterogeneidade observada (Sander et al., 2024). Neste domínio (Guiana Central) ocorrem rochas supracrustais de alto grau metamórfico (Complexo Cauarane), associações magmáticas anortosito-mangerito-rapakivi (Suíte Mucajá) e os gnaisses, magmatitos e charnockitos do Complexo Rio Urubu. Na zona sul, o domínio Uatumã-Anauá é constituído por granitoides da associação vulcano-plutônica Uatumã e do Complexo Jauaperi. Em ambas as zonas, a presença de depósitos pleistocênicos (Formações Boa Vista e Içá) e depósitos coluvionares e aluvionares recentes contribui para o padrão de alta diversidade identificado (Alsbach; Seijmonsbergen; Hoorn, 2024; Holanda; Marmos; Maia, 2014).



Figura 3. Feições geológicas representativas das áreas de alta diversidade: A) estratos basculados do Complexo Cauarane; B) exposição do Granito Rapakivi (Suite Mucajai); C) contato entre os litotipos dos frupos Mucajai/Cauarane e sedimentos da Formação Boa Vista; D) migmatitos do Cinturão rio Urubu; E) granitóides da associação vulcano-plutônica Uatumã. Fonte: autoria

Em contraste, a borda nordeste (Zona Norte) e a porção sudeste (Zona Sul) apresentam valores “baixo” e “muito baixo” de diversidade geológica. A primeira é dominada pelo Supergrupo Roraima, uma sequência vulcano-sedimentar paleoproterozóica espessa e homogênea, equanto a segunda é recoberta por cobertura sedimentares cenozoicas, incluindo depósitos aluvionares, terraços fluviais da Formação Viruá e sedimentos da Formação Içá (Mendes et al., 2023).

O padrão de distribuição espacial reflete a compartimentação geotectônica regional: a maior diversidade litológica associa-se aos terrenos cristalinos do Escudo das Guianas, caracterizados pela sobreposição de eventos magmáticos e metamórficos proterozóicos, enquanto as bacias sedimentares exibem menor heterogeneidade. Conforme demonstrado em estudo anteriores (Silva et al., 2021), a diversidade geológica constitui um dos principais controles da variabilidade geomorfológica e pedológica, contribuindo para a definição dos setores de maior diversidade ao longo do corredor da BR-174.

3.2 Diversidade Geomorfológica

O mapa de diversidade geomorfológica (Figura 4) evidencia a distribuição espacial deste componente ao longo do corredor da BR-174. A análise revela um padrão bem definido: os valores mais elevados (“alto” e “muito alto”) concentram-se no eixo central da área de estudo, coincidindo com o traçado da rodovia. Em contraste, as classes “baixo” e “muito baixo” predominam nas extremidades oeste e sudeste do *buffer* geográfico.

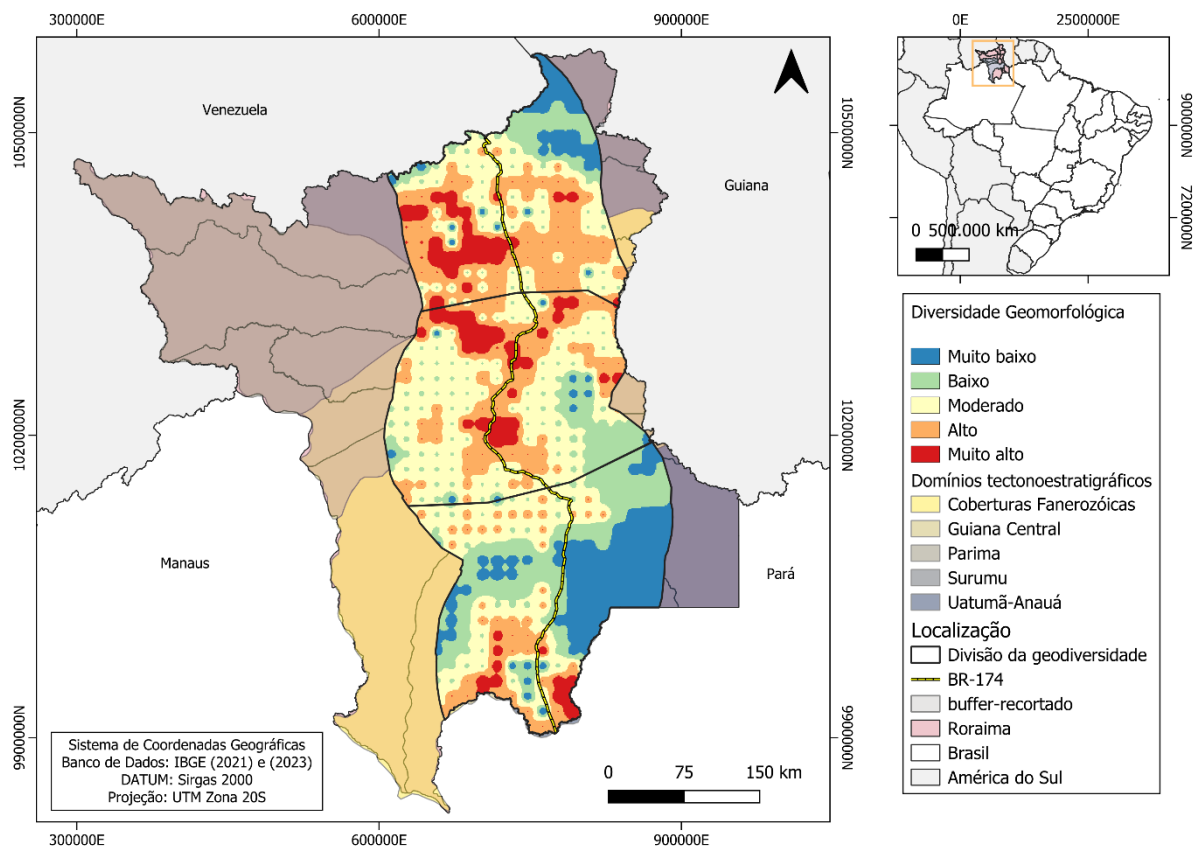


Figura 4. Mapa de diversidade geomorfológica da área de estudo.

As áreas de alta diversidade na porção central associam-se a modelados de planaltos residuais e relevos dissecados, onde a atuação da rede de drenagem foi agente modelador. Cursos d’água como os rios Maú e Contingo, originários do maciço do Monte Roraima, caracterizam-se por elevado gradiente topográfico, com predominância de corredeiras e cachoeiras (Figuras 5A, 5B, 5D) que potencializam processos de intemperismos e erosão (Schaefer; Dalrymple, 1995). O rio Branco (Figura 5C), principal eixo fluvial, integra esses distintos domínios geomorfológicos desde suas cabeceiras até a confluência com o rio Negro (Holanda; Marmos; Maia, 2014).

Na zona norte, a diversidade geomorfológica expressa-se por serras alinhadas com forte controle estrutural, como a Serra da Guariba (5A), margeadas pelos sedimentos do pediplano pleistocênico da Depressão Boa Vista. Destacam-se também feições graníticas residuais (*inselbergs*) como o Sítio Arqueológico Pedra Pintada (Figura 5B), que associam relevo acidentado a registros culturais.

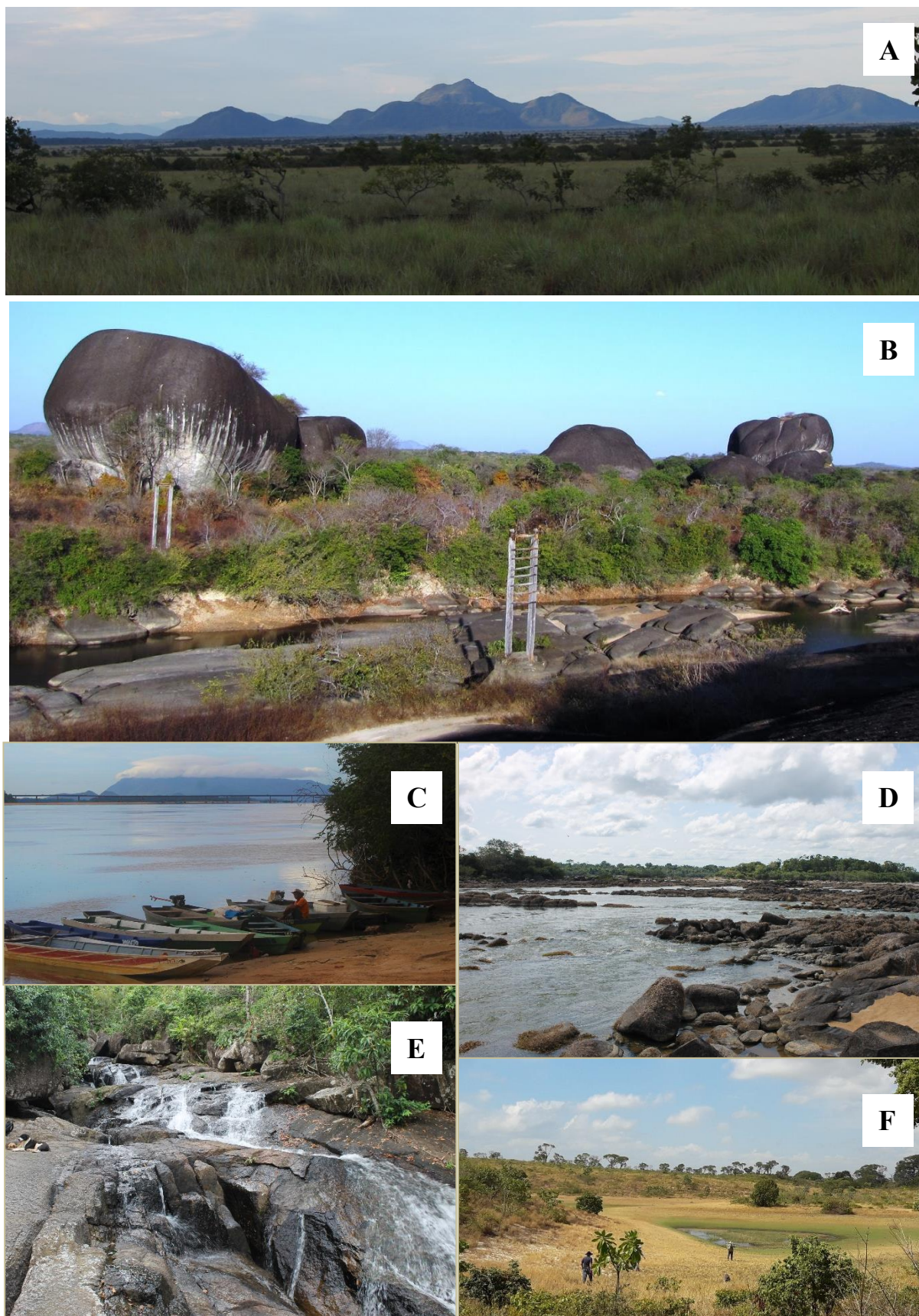


Figura 5. Feições geomorfológicas representativas: Zona Norte – (A) Serra do Guariba; (B) Inselberg granítico (Pedra Pintada). Zona central – (C) Rio Branco e Serra Grande; (D) Corredeiras do Bem-Querer; (E) Cachoeira do Evando; (F) Paleodunas parabólicas. Fonte: autoria.

Na zona central, além das corredeiras e cachoeiras, ocorrem feições singulares como as paleodunas parabólicas do município de Boa Vista (Figura 5F), testemunhos de paleoclimas secos que contribuem para a heterogeneidade geomorfológica regional. As corredeiras do Bem-Querer (Figura 5D), no município de Caracaraí, representam um nível de base que separa morfologicamente o alto e baixo curso do rio Branco.

Em contrapartida, as baixas diversidades registradas nas extremidades oeste e sudeste associam-se a compartimentos de relevo homogêneos, notadamente as extensas superfícies do Pediplano Rio Branco-Rio Negro e da Planície Amazônica. A morfologia da paisagem estabelece-se, portanto, como controle primário na distribuição dos solos e da rede hidrográfica, conformando variável-chave para a compreensão da heterogeneidade abiótica regional.

3.3 Diversidade Pedológica

A diversidade pedológica, componente da geodiversidade, representa a variedade de solos e seus processos formativos (Hjort et al., 2024; Tukiainen; Toivanen, 2025). O mapa de diversidade pedológica (Figura 6) evidencia distribuição espacial assimétrica, com concentração de valores “alto” e “muito alto” na região central adjacente à BR-174, enquanto os índices mais baixos (“baixo” e “muito baixo”) predominam na porção sudeste.

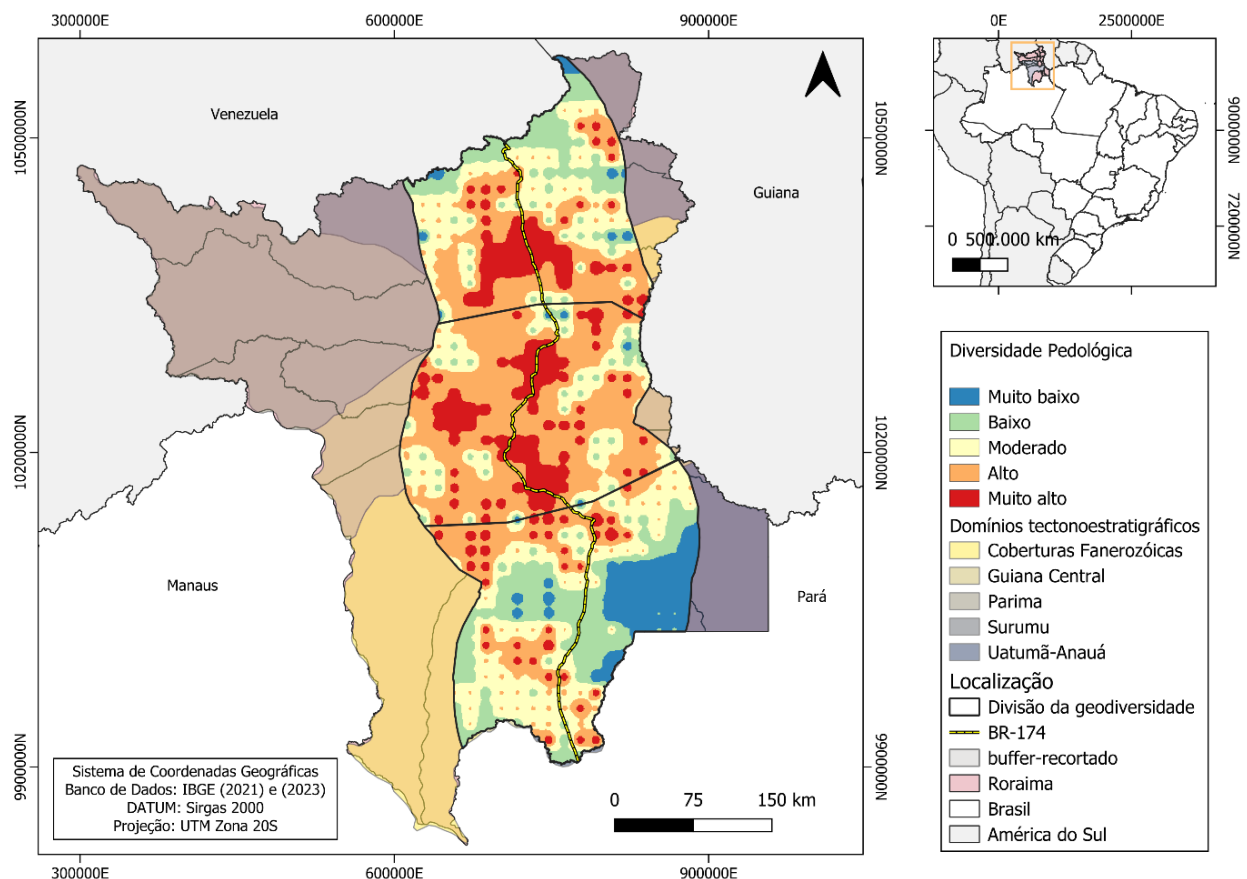


Figura 6. Mapa de diversidade pedológica da área de estudo.

Esta distribuição heterogênea reflete a variação espacial dos fatores controladores da pedogênese. Os *hotspots* de diversidade pedológica na porção central coincidem com a zona de transição entre os domínios geológicos da Guiana Central e Uatumã-Anauá. Nesse setor, a justaposição de litologias contrastantes e a convergência de compartimentos geomorfológicos distintos – notadamente a interface entre o Planalto das Guianas

e a Planície Amazônica – geram um mosaico complexo de condições para a formação dos solos (Holanda; Marmos; Maia, 2014; Sander et al., 2024). Processos geomorfológicos adicionais, como a deposição eólica que formou paleodunas (Dias et al., 2025), contribuem para a ampliação da variabilidade pedológica.

Em contrapartida, os baixos índices de diversidade registrados na porção sudeste correlacionam-se com a homogeneidade litológica e geomorfológica do embasamento cristalino do domínio Uatumã-Anauá, associado às superfícies suavemente onduladas do Pediplano Rio Branco-Rio Negro (Benedetti et al., 2011). Esta uniformidade de substratos e relevo restringe a gama de processos pedogenéticos, resultando em paisagem edáfica menos diversa (Vale Júnior; Cruz; Nascimento, 2017).

4. Discussão

4.1 Índice de Geodiversidade

O Índice de Geodiversidade (Igeo), metodologia quantitativa reconhecida na literatura (Hermuche et al., 2022; Manosso et al., 2021; Silva et al., 2021; Toivanen et al., 2024), revelou um padrão espacial heterogêneo ao longo do corredor da BR-174, com concentração de altos valores na região central, associada aos domínios tectonoestruturais da Guiana Central e Uatumã-Anauá (Figura 7). Este padrão reflete a complexidade geológica do Escudo das Guianas, onde a justaposição de litologias variadas e estruturas complexas, combinada a relevo dissecado, resulta em maior riqueza de classes abióticas (Holanda; Marmos; Maia, 2014; Mendes et al., 2023). Em contraste, as baixas diversidades nas bordas oeste e sudeste correspondem a ambientes geologicamente homogêneos, com predomínio de coberturas sedimentares recentes e relevo de baixa amplitude (Benedetti et al., 2011; IBGE, 2006, 2023).

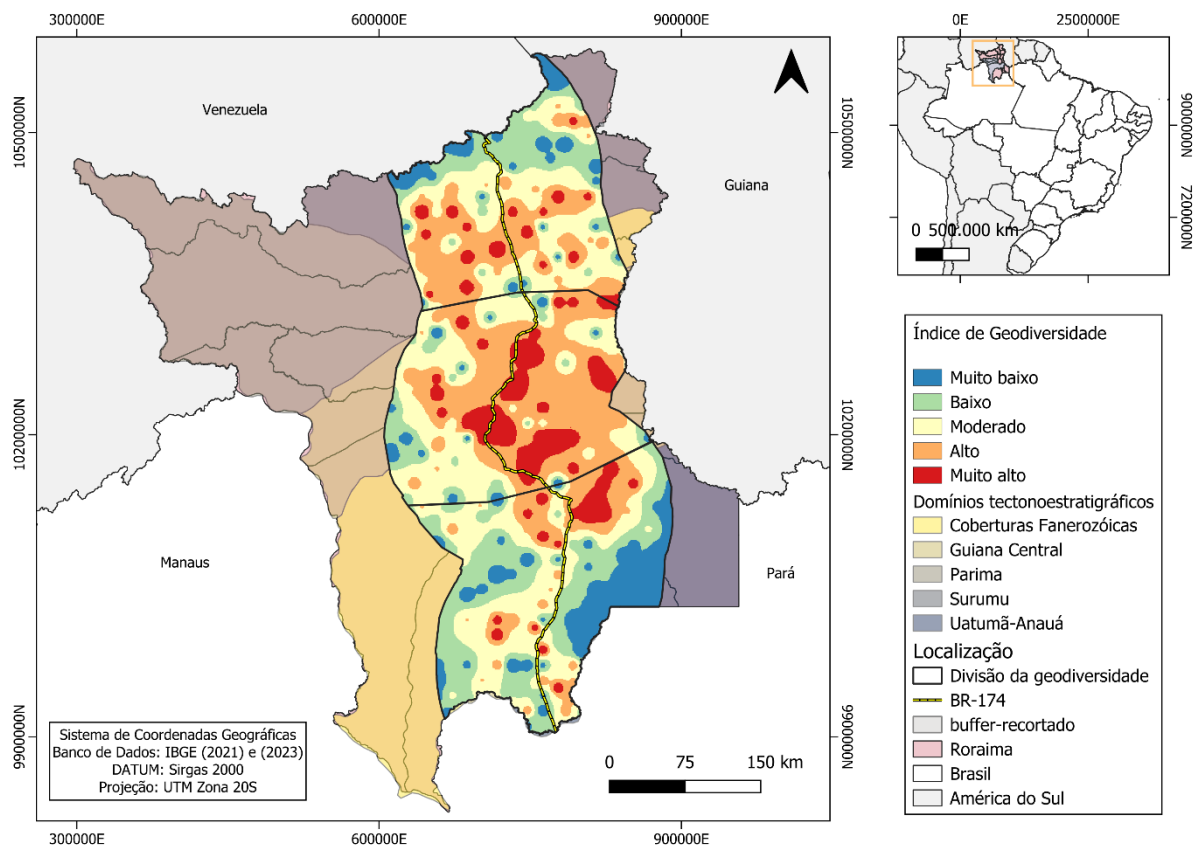


Figura 7. Mapa do índice de geodiversidade (Igeo) da área de estudo.

É importante destacar que o Igeo quantifica a variedade e distribuição dos elementos abiótico, mas não atribui, por si só, valor a esses elementos. Esta distinção é central para a interpretação dos resultados: as áreas de alta geodiversidade configuram-se como zonas prioritárias para prospecção de geopatrimônio, ou seja, *hotspots* onde a probabilidade de ocorrência de elementos com potencial valor científico, educacional ou turístico é estatisticamente maior (Hjort et al., 2024; Tukiainen; Bailey, 2023). A convergência espacial observada entre áreas de alto Igeo e das feições de interesse previamente catalogadas (cachoeiras, corredeiras, serras), cuja quantificação será demonstrada a seguir, reforça esta premissa, indicando que o índice atua como filtro para orientar futuras investigações.

O corredor da BR-174, por intersectar setores de alta heterogeneidade abiótica, configura um eixo estratégico para ações de geoconservação. No entanto, é importante ressaltar que os resultados aqui apresentados não constituem uma medida direta de potencial geoturístico, o qual depende de critérios adicionais não avaliados neste estudo, como acessibilidade, infraestrutura, segurança e valor cênico (Carrión-Mero et al., 2022). A quantificação da geodiversidade representa, portanto, a etapa inicial de um processo mais amplo que deve incluir inventários qualitativos de geossítios, valoração do geopatrimônio e diagnóstico socioeconômicos.

Os resultados obtidos fornecem base técnica para o ordenamento territorial, subsidiando estratégias de conservação do patrimônio abiótico em conformidade com as diretrizes de desenvolvimento sustentável para a Amazônia (Alsbach; Seijmonsbergen; Hoorn, 2024; Santo et al., 2021; Tukiainen; Bailey, 2023). Estudos complementares em escala de detalhe, incluindo caracterização geológica de campo e avaliações de vulnerabilidade, são necessárias para consolidar as áreas aqui identificados como candidatas a futuras iniciativas de geoconservação e geoeducação (Costa; Nascimento; Silva, 2022; Valdati et al., 2022).

4.2 Áreas de interesse geoturístico (geológico)

A quantificação da geodiversidade por meio do índice integrado (Igeo) em ambiente SIG revelou um padrão espacial heterogêneo ao longo do corredor da BR-174, com valores elevados concentrando-se nos setores centrais, coincidentes com os domínios tectonoestruturais da Guiana Central e Uatumã-Anauá. Esta abordagem metodológica, consolidada na literatura (Araujo; Pereira, 2017; Hermuche et al., 2022; Silva et al., 2021), fornece subsídios objetivos para a identificação de *hotspots* – setores com concentração elevada de elementos abióticos que constituem a base física para a prospecção de geopatrimônio (Brilha, 2016; UNESCO; IUGS, 2023).

A convergência espacial entre áreas de alto Igeo e feições de interesse geológico previamente catalogadas – como cachoeiras, corredeiras e formações geológicas notáveis (Figura 8) – demonstra a eficácia do método como ferramenta de filtragem para identificação de áreas prioritárias. A análise quantitativa revela que 67% das feições catalogadas coincidem espacialmente com setores de alta diversidade, indicando significativa correspondência entre a heterogeneidade abiótica mensurada e a ocorrência de elementos de interesse geológico conhecidos.

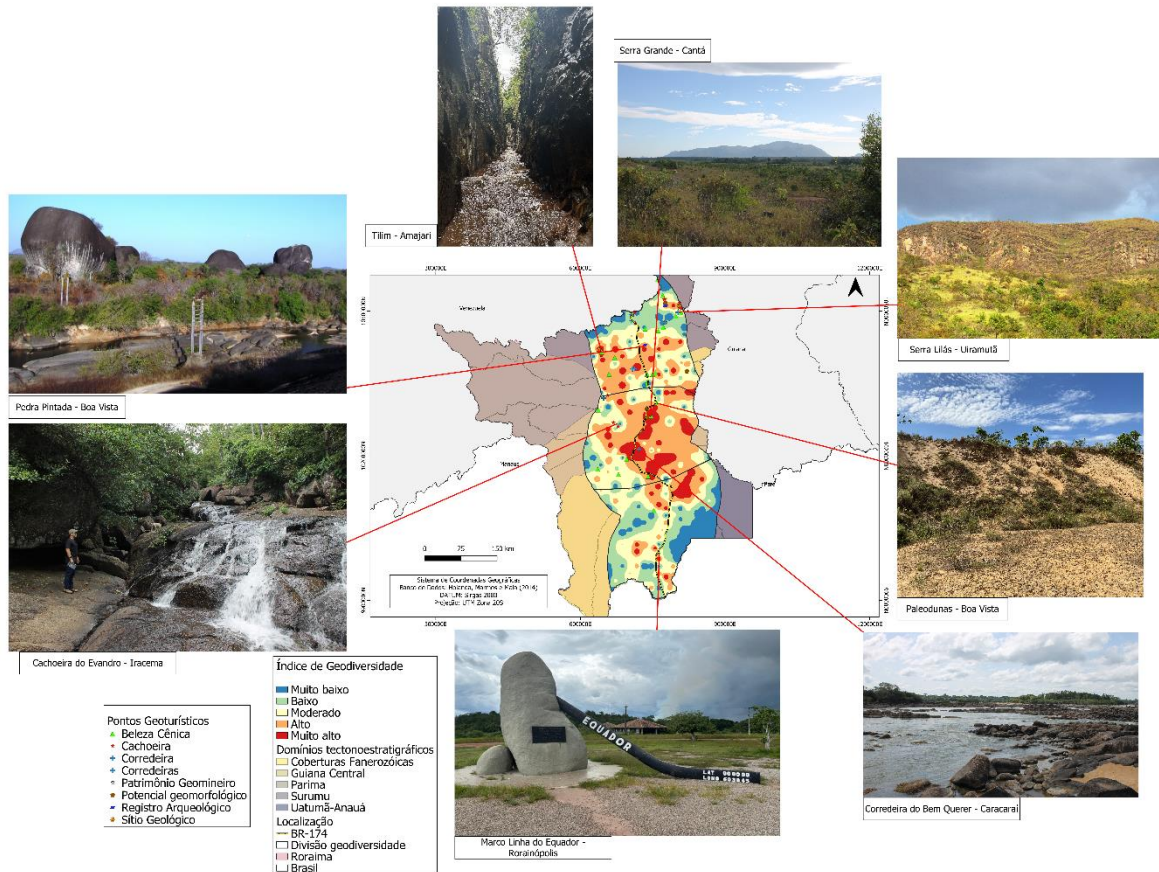


Figura 8. Mapa do índice de geodiversidade com elementos de interesse geológico previamente catalogados. Fonte: autoria (banco de dados: acervo pessoal, Dias et al. (2024), Holanda et al. (2014) e Veras et al., 2020).

Estes locais apresentam interesse multidisciplinar para as Geociências, abrangendo: (i) estudos estratigráficos e paleoclimáticos nas coberturas sedimentares proterozóicas; (ii) investigações petrológicas nas associações ígneo-metamórfica da Suíte Mucajá e Complexo Cauarane; e (iii) análises geomorfológicas e de riscos geológicos nas áreas de maior instabilidade estrutural (Alsbach; Seijmonsbergen; Hoorn, 2024; Holanda; Marmos; Maia, 2014).

É fundamental ressaltar, contudo, que esta relação espacial não constitui validação automática do potencial geoturístico. Municípios como Alto Alegre, Amajari e Boa Vista, que apresentam valores médios de Igeo mas possuem feições paisagísticas notáveis, exemplificam como áreas de menor diversidade abiótica podem igualmente abrigar elementos relevantes para o geopatrimônio (Andrade et al., 2021; Cunha, 2013; Dias et al., 2025; Falcão et al., 2018). Este cenário evidencia que a quantificação da geodiversidade, embora necessária, não esgota a avaliação do potencial territorial.

A abordagem regional adotada cumpre, assim, sua função primária como ferramenta exploratória, identificando áreas prioritárias que deverão ser submetidas a etapas subsequentes de investigação. A catalogação sistemática e valoração qualitativa de sítios de interesse geológico constituem processo para transformar a diversidade quantificada em geopatrimônio valorizado (UNESCO; IUGS, 2023). A consolidação desse potencial dependerá da elaboração de planos de gestão territorial que integrem a conservação de patrimônio abiótico a estratégias de desenvolvimento regional sustentável.

5. Conclusões

A análise quantitativa da geodiversidade ao longo do corredor da BR-174 em Roraima permitiu identificar um padrão espacial heterogêneo, com valores que variam de moderados a altos – correspondendo a 37% da área estudada – concentrando-se principalmente nos setores centrais do traçado viário. A aplicação do índice de geodiversidade mostrou-se eficaz como ferramenta exploratória para a identificação de áreas prioritárias para a conservação do patrimônio abiótico em escala regional.

Este estudo constitui uma das primeiras análises integradas da geodiversidade ao longo de todo o corredor da BR-174, preenchendo lacuna importante no conhecimento científico regional. Os setores que apresentaram os maiores valores de geodiversidade coincidem espacialmente com os domínios tectonoestruturais da Guiana Central e Uatumã-Anauá, destacando- nos municípios de Mucajaí, Amajari, Iracema e Caracaraí. A análise de convergência espacial revelou que 67% dos elementos de interesse geológico previamente catalogados coincidem com áreas de alta geodiversidade, evidenciando a correspondência entre a heterogeneidade abiótica mensurada e a ocorrência de feições de interesses conhecidos.

Contudo, é fundamental ressaltar que a quantificação da geodiversidade representa uma etapa preliminar no processo de valoração do geopatrimônio. Os resultados aqui apresentados fornecem subsídios técnicos para futuras investigações, mas não constituem, por si só, uma avaliação do potencial geoturístico, o qual depende de critérios adicionais não abordados neste estudo, como acessibilidade, infraestrutura, segurança e valor cênico.

Recomenda-se que as áreas identificadas como prioritárias sejam alvos de investigações subsequentes, incluindo: (i) inventariação de geossítios com caracterização geológica detalhada; (ii) avaliações de vulnerabilidade ambiental e capacidade de carga; (iii) estudos específicos sobre acessibilidade e infraestrutura.

A consolidação de uma base científica para políticas públicas de geoconservação na região dependerá da integração entre a quantificação da geodiversidade aqui realizada e essas etapas subsequentes de valoração qualitativa de patrimônio abiótico.

Contribuição dos Autores: Concepção: S.M.S.M, F.L.W, M.T.F; metodologia, redação do manuscrito: S.M.S.M, redação e revisão: F.L.W, M.T.F; revisão crítica: S.M.S.M, F.L.W, M.T.F; aprovação final do manuscrito: todos os autores. Os autores leram e concordaram com a versão final do manuscrito.

Financiamento: Este trabalho foi financiado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior (CAPES), ao subsídio financeiro através do Programa de Desenvolvimento da Pós-Graduação – Parcerias Estratégicas nos Estados III (processo: 88887.798719/2022-00).

Agradecimentos: Agradecemos aos revisores que avaliaram este manuscrito e Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Roraima (PRONAT/RR).

Conflito de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Referências

1. ALSBACH, C. M. E.; SEIJMONSBERGEN, A. C.; HOORN, C. Geodiversity in the Amazon drainage basin. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, v. 382, n. 2269, p. 20230065, 2024. DOI: 10.1098/rsta.2023.0065
2. ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507
3. ANDRADE, M. M. N. et al. Estado da Arte da Geodiversidade da Amazônia Legal. *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, v. 10, n. 1, p. 380–405, 2021. DOI: 10.21664/2238-8869.2021v10i1.p380-405

4. ARAUJO, A. M.; PEREIRA, D. I. A New Methodological Contribution for the Geodiversity Assessment: Applicability to Ceará State (Brazil). **Geoheritage**, v. 10, n. 4, p. 591–605, 2017. DOI: 10.1007/s12371-017-0259-3
5. BARNI, P. E. et al. Precipitação no extremo norte da Amazônia: distribuição espacial no estado de Roraima, Brasil. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 420–436, 2022. DOI: 10.14393/SN-v32-2020-52769
6. BARTORELLI, A.; TEIXEIRA, W.; DE BRITO NEVES, B. B. **Geocronologia e evolução tectônica do Continente Sul-Americano**: a contribuição de Umberto Giuseppe Cordani. São Paulo: Solaris, 2020. 464p.
7. BENEDETTI, U. G. et al. Gênese, química e mineralogia de solos derivados de sedimentos pliopleistocênicos e de rochas vulcânicas básicas em Roraima, Norte Amazônico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 299–312, 2011. DOI: 10.1590/S0100-06832011000200002
8. BÉTARD, F.; PEULVAST, J. P. Geodiversity Hotspots: Concept, Method and Cartographic Application for Geoconservation Purposes at a Regional Scale. **Environmental Management**, v. 63, n. 6, p. 822–834, 2019. DOI: 10.1007/s00267-019-01168-5
9. BRILHA, J. Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review. **Geoheritage**, v. 8, n. 2, p. 119–134, 2016. DOI: 10.1007/s12371-014-0139-3
10. COSTA, S. S. S.; NASCIMENTO, M. A. L.; SILVA, M. L. N. Roteiro virtual pelos geossítios do geoparque aspirante seridó: ferramentas cartográficas livres do google® para geoeducação. **Terrae Didactica**, v. 18, p. e022004, 2022. DOI: 10.20396/td.v18i00.8667435
11. CUNHA, L. D. A paisagem da serra do Tepequém-RR e sua potencialidade para o geoturismo. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.
12. DIAS, J. et al. O Potencial Geoturístico de Paleodunas no Extremo Norte da Amazônia Brasileira. **TURYDES: Turismo y Desarrollo Local Sostenible**, v. 18, n. 38, p. e1668, 2025. DOI: 10.51896/turydes/v18n38.1668
13. FALCÃO, M. T. et al. Potencial turístico da geodiversidade do município do Uiramutã–Roraima. **Revista Eletrônica Casa de Makunaima**, v. 1, n. 1, p. 30–39, 2018.
14. GRAY, M. **Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature**. 2ª Ed. Hoboken: Wiley, 2013. 495p.
15. HERMUCHE, P. et al. A quantificação da geodiversidade e o potencial turístico no polo Velho Chico – SE. **Revista Espaço e Geografia**, v. 21, n. 2, p. 355-381, 2022.
16. HJORT, J. et al. Towards a taxonomy of geodiversity. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 382, n. 2269, p. 20230060, 2024. DOI: 10.1098/rsta.2023.0060
17. HOLANDA, J. L. R.; MARMOS, J. L.; MAIA, M. A. M. **Geodiversidade do estado de Roraima**. Manaus: CPRM, 2014. 58p.
18. IBGE. **Mapa de Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. Escala 1:5.000.000.
19. IBGE. **BDIA - Banco de Dados e Informações Ambientais**. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home>. Acesso em: 20 fev. 2025.
20. JÚNIOR, A. C. R. A.; LIMA GOMES, M.; MAIA, V. V. Focos de calor e El Niño: implicações no estado de Roraima–Brasil. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, v. 25, n. 1, p. 123–145, 2023. DOI: 10.35701/rcgs.v25.929
21. KUHN, C. E. S. et al. Public Policies for Geodiversity in Brazil. **Geoheritage**, v. 14, n. 2, p. 74, 2022. DOI: 10.1007/s12371-022-00705-9
22. MALINIEMI, T. et al. Too much diversity—Multiple definitions of geodiversity hinder its potential in biodiversity research. **Diversity and Distributions**, v. 30, n. 6, p. e13843, 2024. DOI: 10.1111/ddi.13843
23. MANOSSO, F. C. et al. Spatial pattern of geodiversity assessment in the Marrecas River drainage basin, Paraná, Brazil. **Ecological Indicators**, v. 126, p. 107703, 2021. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107703
24. MENDES, T. A. A. et al. **Mapa geológico do Estado de Roraima**. Boa Vista: CPRM, 2023. Escala 1:1.000.000.
25. PEREIRA, D. I. et al. Geodiversity Assessment of Paraná State (Brazil): An Innovative Approach. **Environmental Management**, v. 52, n. 3, p. 541–552, 2013. DOI: 10.1007/s00267-013-0100-2
26. REIS, N. J.; FRAGA, L. M.; ALMEIDA, M. E. Geologia do estado de Roraima, Brasil. **Géologie de la France**, n. 2-3-4, p. 121–134, 2003.
27. SANDER, C. et al. Evolução morfológica recente e controles atuantes no médio curso do sistema do Rio Branco, Roraima. **Acta Geográfica**, v. 18, n. 50, p. 22–46, 2024. DOI: 10.18227/2177-4307.acta.v18i50.8232

28. SANTO, C. M. E. et al. Perspectivas sobre a valorização da geodiversidade e a geoconservação na Amazônia. **Caminhos de Geografia**, v. 22, n. 82, p. 273–291, 2021. DOI: 10.14393/RCG228256036
29. SCHAEFER, C.; DALRYMPLE, J. Landscape evolution in Roraima, North Amazonia: Planation, paleosols and paleoclimates. **Zeitschrift für Geomorphologie**, v. 39, n. 1, p. 1–28, 1995.
30. SILVA, J. et al. The Geodiversity of Brazil: Quantification, Distribution, and Implications for Conservation Areas. **Geoheritage**, v. 13, n. 3, p. 75, 2021. DOI: 10.1007/s12371-021-00598-0
31. TOIVANEN, M. et al. Geodiversity data for Europe. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 382, n. 2269, p. 20230173, 2024. DOI: 10.1098/rsta.2023.0173
32. TUKIAINEN, H.; BAILEY, J. J. Enhancing global nature conservation by integrating geodiversity in policy and practice. **Conservation Biology**, v. 37, n. 3, p. e14024, 2023. DOI: 10.1111/cobi.14024
33. TUKIAINEN, H.; TOIVANEN, M. What on Earth is geodiversity? **Nordia Geographical Publications**, v. 54, n. 2, p. 79–93, 2025. DOI: 10.30671/nordia.163412
34. TUKIAINEN, H.; TOIVANEN, M.; MALINIEMI, T. Geodiversity and Biodiversity. **Geological Society, London, Special Publications**, v. 530, n. 1, p. 31–47, 2023. DOI: 10.1144/SP530-2022-107
35. UNESCO; IUGS. **Guidelines for the assessment of the international significance of geological heritage in UNESCO Global Geopark applications**. Paris: UNESCO, 2022. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386952>. Acesso em: 19 mar. 2025.
36. VALDATI, J. et al. Roteiro geoturístico em Timbé do Sul – SC. **Geographia Opportuno Tempore**, v. 8, n. 2, p. 78-95, 2022.
37. VALE JÚNIOR, J. F.; CRUZ, D. L. S.; NASCIMENTO, P. P. R. R. **Relatório Executivo do Estudo de Solos para o Zoneamento Ecológico Econômico do Estado de Roraima (ZEE-RR)**. Boa Vista: Instituto de Inteligência Socioambiental Estratégica da Amazônia, 2017. 120p. Disponível em: <https://zee-rr.institutopiatam.org.br/wp-content/uploads/2022/03/Pedologia.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2025.



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