

## **Geodiversidade do estado do Rio de Janeiro: avaliação quantitativa e análise das grades espaciais no mapeamento geoambiental**

### **Geodiversity in the state of Rio de Janeiro: quantitative assessment and spatial grid-based analysis for geoenvironmental mapping**

Pietro Meirelles Brites

Universidade Federal do Rio Janeiro – UFRJ

[pietrombrites@hotmail.com](mailto:pietrombrites@hotmail.com)

Fábia Antunes Zaloti

Universidade Federal do Rio Janeiro – UFRJ

[fabia.zaloti@gmail.com](mailto:fabia.zaloti@gmail.com)

Manoel do Couto Fernandes

Universidade Federal do Rio Janeiro – UFRJ

[manoel.fernandes@igeo.ufrj.br](mailto:manoel.fernandes@igeo.ufrj.br)

#### **Resumo**

Este artigo apresenta uma avaliação quantitativa da geodiversidade no estado do Rio de Janeiro, por meio de métodos de análise espacial com grades hexagonais e processamento cartográfico em diferentes resoluções. A geodiversidade, enquanto expressão da variedade de elementos geológicos, geomorfológicos, pedológicos e hidrológicos, desempenha papel fundamental na manutenção da biodiversidade, na provisão de serviços ecossistêmicos e na sustentação das paisagens naturais e culturais. Sua identificação e valorização são, portanto, essenciais para orientar estratégias de conservação e gestão territorial. A pesquisa identificou áreas prioritárias para a conservação ambiental, com destaque para a Região Norte Fluminense, as regiões Serrana e Norte da Região Metropolitana, e a Região do Médio Paraíba, sendo que a primeira apresenta um alarmante déficit de unidades de conservação. Conclui-se que a abordagem quantitativa adotada amplia a compreensão dos padrões espaciais da geodiversidade e oferece subsídios estratégicos para a formulação de políticas públicas voltadas à gestão territorial e à geoconservação no estado do Rio de Janeiro.

**Palavras-chave:** Geodiversidade, Estado do Rio de Janeiro, Geoconservação.

#### **Abstract**

This article presents a quantitative assessment of geodiversity in the State of Rio de Janeiro through spatial analysis methods using hexagonal grids and cartographic processing at multiple resolutions. Geodiversity—understood as the variety of geological, geomorphological, pedological, and hydrological elements—plays a fundamental role in supporting biodiversity, providing ecosystem services, and sustaining both natural and cultural landscapes. Its identification and valorization are therefore essential for guiding conservation strategies and land-use management. The study identified priority areas for environmental conservation, particularly in the Northern Fluminense region, the Serrana and Northern zones of the Metropolitan Region, and the Médio Paraíba region. The Northern Fluminense stands out for its alarming lack of protected areas. The findings suggest that the adopted quantitative approach enhances the understanding of geodiversity's spatial patterns and provides strategic input for the development of public policies aimed at land management and geoconservation in the State of Rio de Janeiro.

**Keywords:** Geodiversity, State of Rio de Janeiro, Geoconservation.

## **Introdução**

A geodiversidade é definida como a variação natural de elementos geológicos, geomorfológicos, pedológicos e hidrológicos que constituem a paisagem e sustentam a vida na Terra (Gray, 2013). Este conceito inclui não apenas os aspectos físicos, como rochas, solos e fósseis, mas também os processos que dão origem a essas formações, tornando-se um testemunho da história evolutiva do planeta (Moura-Fé et al, 2016; Oliveira et al, 2013). Portanto, a geodiversidade é um componente vital para o entendimento da geociência e para a promoção de políticas de preservação (Nieto, 2023).

O Brasil, com sua vasta extensão territorial e diversidade geológica, exemplifica a riqueza em geodiversidade, mas enfrenta desafios significativos em sua conservação, como apontado por Oliveira et al. (2013). Embora existam inventários detalhados, a grande extensão territorial do país e a ausência de políticas consistentes para proteger e valorizar a geodiversidade dificultam a implementação de estratégias eficazes, além de evidenciar a carência de articulação entre as esferas pública e privada na gestão da geodiversidade (Jorge; Guerra, 2016).

Nesse contexto, a criação dos seis Geoparques Mundiais da UNESCO no Brasil constitui um importante avanço nas iniciativas de geoconservação. No entanto, o país ainda carece de uma estrutura forte de proteção. Essa lacuna é evidenciada por estudos que enfatizam a necessidade de maior investimento em políticas públicas que integrem conservação e desenvolvimento sustentável (Machado, Florentino Júnior, 2021). A implementação de uma política nacional de geoconservação mais eficaz depende de ações colaborativas que contemplem tanto o fortalecimento da legislação quanto o apoio a práticas locais de preservação.

Um ponto sensível para os avanços em iniciativas de geoconservação é a otimização de processos de mapeamentos de geodiversidade. Nesse sentido, o presente artigo se propõe a desenvolver um mapeamento quantitativo da geodiversidade no estado do Rio de Janeiro, visando identificar áreas com maior diversidade geológica, geomorfológica, pedológica e hidrológica, com o intuito de subsidiar políticas de gestão territorial e conservação ambiental.

## **Fundamentação teórica**

O principal autor sobre o tema da geodiversidade e seus conceitos associados é Gray (2013), o qual destaca os elementos abióticos como agentes que interagem com as atividades humanas, sugerindo que sua diversidade proporciona uma nova perspectiva para analisar essas interações. A geoconservação, por sua vez, é um ramo da ciência que busca a caracterização, conservação e gestão do patrimônio geológico, para preservar a integridade dos elementos abióticos (Jorge; Guerra, 2016).

Do ponto de vista metodológico, a geodiversidade se fundamenta na quantificação, qualificação e mapeamento dos geossítios, valendo-se de ferramentas de análise dos fatores abióticos que buscam identificar e valorizar esses componentes como parte do patrimônio natural (Gray, 2013; Jorge; Guerra, 2016). A abordagem qualitativa geralmente envolve a identificação e descrição detalhada dos elementos geológicos, geomorfológicos, pedológicos e hidrológicos, focando na caracterização dos geossítios e na interpretação dos processos associados, o que contribui para a valorização cultural e científica desses locais (Brilha, 2016).

Por outro lado, a avaliação quantitativa busca mensurar a diversidade destes elementos por meio da coleta e análise de dados que representam os diferentes elementos da geodiversidade em uma determinada área. Isso inclui a quantificação da variedade e distribuição espacial, utilizando ferramentas como Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para o mapeamento e a análise espacial (Forte et al., 2018). A seleção dos elementos a serem incluídos na análise deve considerar critérios claros, como representatividade, relevância científica e vulnerabilidade ambiental. A escala espacial é igualmente fundamental, pois a escolha da resolução, da extensão dos dados e da análise impacta diretamente os resultados e a aplicabilidade do mapeamento (Pereira et al., 2013).

Entre as técnicas de classificação, o uso de grades espaciais (ou células de mapeamento) é amplamente empregado para organizar e comparar a diversidade em diferentes setores do território. O tamanho e o formato dessas grades devem ser definidos com base nos objetivos do estudo e nas características da área de interesse, buscando equilibrar a precisão e a manejabilidade dos dados (Santos, 2016).

Além disso, a aplicação prática do conceito de geodiversidade, especialmente em sua vertente quantitativa, baseia-se principalmente na análise da diversidade, da distribuição espacial e na comparação entre diferentes áreas, conforme citado anteriormente (Pereira et al., 2013; Santos, 2016). Contudo, surgem questionamentos pertinentes nessa abordagem, tais como: Quais são os elementos selecionados para a análise da geodiversidade

e quais os critérios para essa escolha? Qual será a escala espacial adotada para a representação? Qual é a escala dos dados selecionados? De que forma esses dados serão tratados para possibilitar a elaboração de um mapeamento de geodiversidade? Qual método de classificação será utilizado? Haverá o uso de grades? Em caso afirmativo, qual será o tamanho e o formato dessas grades, e por quê?

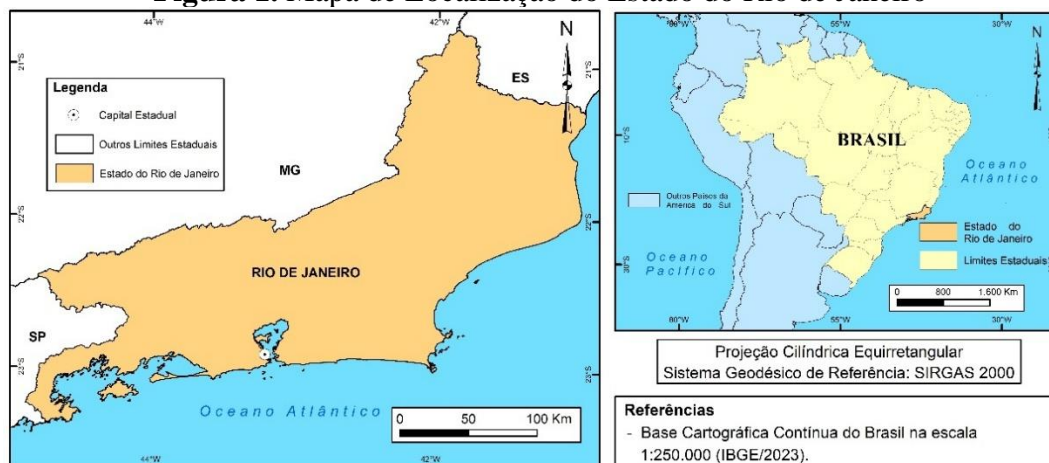
É evidente que a escolha pela abordagem quantitativa na análise da geodiversidade envolve diferentes níveis de complexidade. Por essa razão, existem inúmeras tentativas tanto de alcançar um consenso sobre o conceito de geodiversidade quanto de definir as metodologias mais adequadas para a realização desse tipo de mapeamento (Brilha, 2016; Forte et al., 2018).

### Área de estudo

O Estado do Rio de Janeiro, localizado na Região Sudeste do Brasil, apresenta uma área de 43.780 km<sup>2</sup>, sendo um dos menores estados do país em extensão territorial, mas com elevada densidade populacional (IBGE, 2023). Suas coordenadas geográficas variam entre 20°26'34'' e 23°33'57'' de latitude sul e 40°58'01'' e 44°53'45'' de longitude oeste (Figura 1). Limita-se ao norte e noroeste com Minas Gerais, ao nordeste com o Espírito Santo, ao oeste com São Paulo e, ao sul e leste, com o Oceano Atlântico, o que confere ao estado características geográficas e econômicas estratégicas.

Geologicamente, o estado está inserido na Província Geotectônica Mantiqueira e possui uma formação rica e diversificada, destacando-se os terrenos cristalinos do Pré-Cambriano, compostos por rochas metamórficas, como gnaisses, quartzitos e xistos, além de rochas graníticas (Dantas et al., 2017).

**Figura 1.** Mapa de Localização do Estado do Rio de Janeiro



Fonte: os autores (2025).

A faixa litorânea apresenta formações sedimentares do Quaternário, como as planícies costeiras da Baixada Fluminense e da Região dos Lagos. O relevo do Rio de Janeiro é marcado pela grande diversidade, com formas que incluem serras, morros, planícies e depressões, resultante da interação entre fatores geológicos, climáticos e geomorfológicos. As principais unidades de relevo incluem o planalto cristalino, associado à Serra do Mar e à Serra da Mantiqueira, e as áreas de planícies costeiras e fluviais (Dantas et al., 2000).

As planícies costeiras, como a Baixada Fluminense e a Região dos Lagos, são formadas por depósitos sedimentares do Quaternário e estão associadas a processos fluviais e marinhos recentes. Essas áreas apresentam relevos de baixa altitude, com terrenos predominantemente planos, intercalados por lagoas, restingas e cordões litorâneos. Já as áreas montanhosas, como a Serra dos Órgãos, são compostas por rochas do embasamento cristalino e possuem alta declividade, exercendo grande influência sobre o clima, a hidrografia e a vegetação (Dantas et al., 2000).

O clima do Estado do Rio de Janeiro apresenta forte influência da sua topografia. A altitude é o principal fator controlador da temperatura, com as regiões mais elevadas da Serra e do Vale do Paraíba registrando médias anuais em torno de 14°C, enquanto as áreas de baixada e litoral apresentam temperaturas médias entre 22°C e 24°C, com menor variabilidade espacial. A precipitação, igualmente influenciada pelo relevo, é mais intensa nas regiões montanhosas da porção centro-sul do estado, em função das chuvas orográficas, enquanto as baixadas litorâneas e o Norte Fluminense apresentam índices mais baixos. A sazonalidade é marcada por períodos chuvosos na primavera e verão (outubro a março), impulsionados pela Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e convecção local, e por meses mais secos no outono e inverno (abril a setembro) (Silva, 2014).

O estado do Rio de Janeiro é drenado por diversas bacias hidrográficas que deságuam no Oceano Atlântico, destacando-se rios como o Paraíba do Sul, Macacu e Guandu, entre outros importantes cursos d'água (INEA, 2013). Além disso, influenciam diretamente a dinâmica ambiental, o uso do solo e o abastecimento das populações.

Os solos do Estado do Rio de Janeiro apresentam uma grande diversidade, refletindo a complexidade ambiental e geológica da região (Carvalho Filho; Lumbreras; Santos, 2000). Entre as classes dominantes destacam-se os Latossolos, que incluem variações como o Latossolo Vermelho-Escuro, Vermelho-Amarelo, Amarelo e a variação Una, caracterizados por sua profundidade e alta capacidade de drenagem. Os Podzólicos

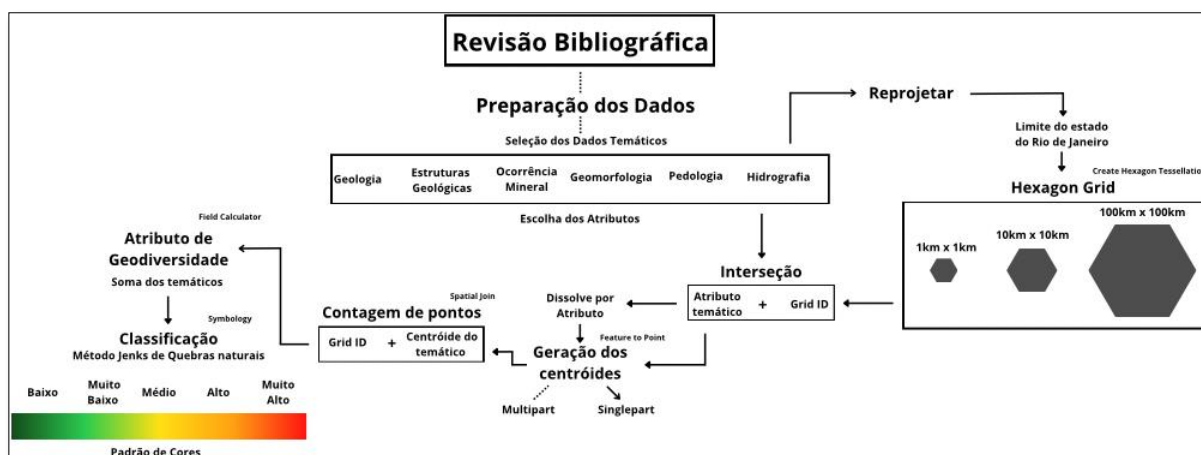
também são relevantes, com tipos como Podzólico Vermelho-Escuro, Vermelho-Amarelo e Amarelo, solos geralmente ácidos e com camada de horizonte eluvial. Solos hidromórficos, como o Podzol Hidromórfico e Gleissolos (Glei Húmico e Pouco Húmico), indicam áreas sujeitas à saturação por água. Outras classes presentes são os Brunizém Avermelhados, Solos Brunos Não-Cálcicos, Planossolos, Solonchaks, Cambissolos, Solos Litólicos, Areias Quartzosas Marinhas, Solos Aluviais e Solos Orgânicos, cada um associado a diferentes ambientes, desde áreas costeiras até planaltos e várzeas.

## Metodologia

Embora trabalhos recentes na temática da geodiversidade busquem identificar áreas de alta diversidade dos elementos abióticos por meio de análises integradas (Santos et al., 2017), é importante destacar que, devido à grande variabilidade territorial e às particularidades de cada região, não existe um consenso para a aplicação de uma metodologia única e universal. Esse entendimento de que não é possível estabelecer um método único para todos os contextos constitui o consenso na área, reconhecendo a necessidade de adaptação metodológica conforme as características específicas do território e os objetivos do estudo. Diante disso, este trabalho opta por utilizar uma abordagem metodológica amplamente discutida na literatura recente, baseada na análise espacial por células, que possibilita flexibilidade e detalhamento na avaliação da geodiversidade (Hjort; Luoto, 2010; Meira; Da Silva, 2021; Alberico et al., 2023).

A síntese da metodologia adotada neste estudo está apresentada no fluxograma da Figura 2 que ilustra as etapas sequenciais do processo.

**Figura 2.** Fluxograma da metodologia



Fonte: os autores (2025).



Primeiramente, foi feita uma ampla revisão bibliográfica com as principais publicações sobre a temática e definida a escala de avaliação da geodiversidade, que, neste caso, foi a escala regional, e os parâmetros de cada tema selecionado para classificação. Essa escolha se baseou na classe com o maior nível de detalhamento e na tabela de atributos mais completa. Consequentemente, as bases cartográficas selecionadas deveriam ser compatíveis com essa escala. Assim, optou-se por utilizar bases entre as escalas 1:250.000 a 1:400.000, sempre priorizando aquelas mais próximas da primeira mencionada (Quadro 1).

**Quadro 1. Metadados**

TEMA	ATRIBUTO	EXEMPLO	ESCALA	ANO	FONTE	LINK
Geologia	nm_unidade	Granito Vila dois Rios	1:400.000	2016	CPRM	<a href="https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/18458">https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/18458</a>
Pedologia	legenda	NVe - Nitossolo Vermelho Eutrófico	1:250.000	2023	IBGE	<a href="https://geofp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/vetores/escala_250_mil/versao_2023">https://geofp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/vetores/escala_250_mil/versao_2023</a>
Geomorfologia	nm_unidade	Serra dos Órgãos	1:400.000	2016	CPRM	<a href="https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/18458">https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/18458</a>
Estruturas geológicas	TIPO	Falha ou zona de cisalhamento compressional	1:400.000	2016	CPRM	<a href="https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/18458">https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/18458</a>
Ocorrências minerais	SUBSTÂNCIA	Mármore	1:400.000	2016	CPRM	<a href="https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/18458">https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/18458</a>
Hidrografia	nome	Rio Paraíba do Sul	1:250.000	2023	IBGE	<a href="https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas/15759-brasil.html?=&amp;t=downloads">https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas/15759-brasil.html?=&amp;t=downloads</a>
Unidades de conservação	N/A	Parque Nacional da Serra dos Órgãos	N/A	2024	MMA	<a href="https://dados.mma.gov.br/cs_CZ/dataset/unidadesdeconservacao/resorce/9ec98f66-44ad-4397-8583-a1d9cc3a9835?inner_span=True">https://dados.mma.gov.br/cs_CZ/dataset/unidadesdeconservacao/resorce/9ec98f66-44ad-4397-8583-a1d9cc3a9835?inner_span=True</a>
Limites estaduais, fronteiras e capitais	N/D	N/D	1:250.000	2023	IBGE	<a href="https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas/15759-brasil.html?=&amp;t=downloads">https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas/15759-brasil.html?=&amp;t=downloads</a>

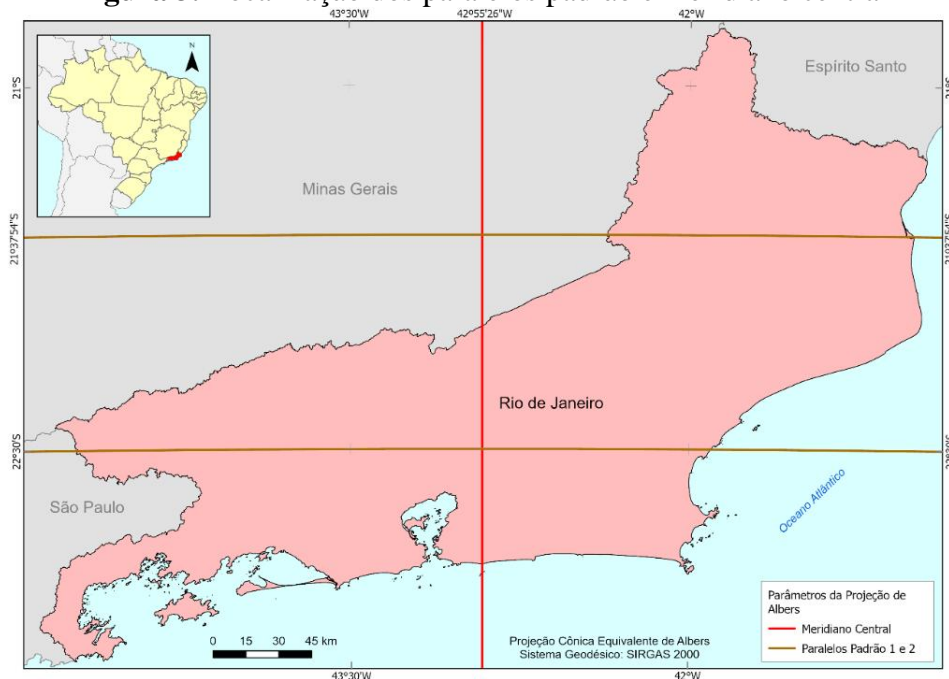
Fonte: os autores (2025).

Na segunda fase, foi necessário adaptar os dados à proposta apresentada, utilizando-se o software ArcGIS PRO 3.4. Para isso, escolheu-se o sistema de projeção Albers, ou seja, cônica equivalente com dois paralelos padrões, com o sistema geodésico de referência SIRGAS 2000, devido à particularidade de o estado do Rio de Janeiro estar localizado em dois fusos UTM (22S e 23S), empregar a projeção UTM poderia causar distorções métricas à medida que se afasta do meridiano central de cada fuso, além de descontinuidades, principalmente na transição de um fuso para outro, uma vez que ela é projetada para trabalhar com um único fuso.

Esse sistema de projeção é especialmente adequado para áreas que se estendem predominantemente no sentido leste-oeste, como é o caso do estado, proporcionando maior precisão na representação espacial. Os parâmetros utilizados foram os seguintes: Meridiano Central: -42,92392000; Paralelo Padrão 1: -21,63178070; Paralelo Padrão 2: -22,50035630;

Latitude de Origem: -32,00000000. A figura 3 ilustra os paralelos padrão e meridiano central adotados no estudo.

**Figura 3.** Localização dos paralelos padrão e meridiano central



Fonte: os autores (2025).

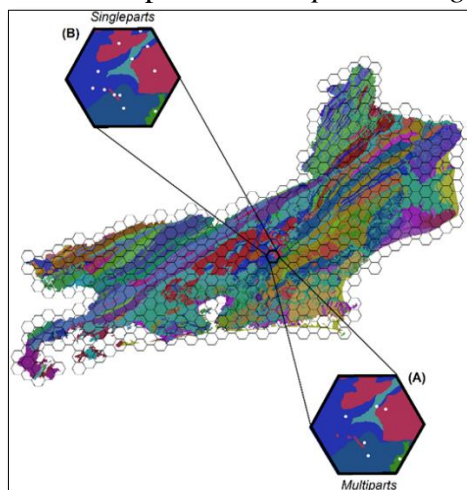
Ademais, foi executada a criação das grades com formato hexagonal, conforme discutido atualmente no âmbito científico (Lopes et al., 2023). Isso se deve ao fato de que o formato hexagonal minimiza as distorções espaciais e melhora a precisão das análises, graças ao número máximo de seis vizinhos equidistantes. Além disso, para esse tipo de análise, é fundamental que todas as células da grade sejam do mesmo tamanho e se encaixem perfeitamente, criando, assim, uma malha de recorte analítica precisa, e o hexágono é a forma geométrica que proporciona menos variações nas distâncias entre o seu centro e seu limite externo (Chrobak et al., 2021). Os tamanhos das células escolhida para análise e comparação entre si foram 1km x 1km, 10 km x 10 km e 100 km x 100 km, mantendo uma proporcionalidade entre as grades.

Na terceira fase da metodologia, foram realizados todos os procedimentos necessários para a elaboração do índice de geodiversidade, com posterior representação gráfica em forma de mapa. Inicialmente, procedeu-se à interseção entre a grade contendo o identificador único de cada célula (*Grid ID*) e os diversos temas selecionados. Em seguida, aplicou-se a operação de *Dissolve by Attribute* para a agregação de feições que compartilham um ou mais valores comuns em atributos específicos (*Grid ID*), conforme cada atributo temático. Após essa etapa, foi realizada a geração dos centróides das feições resultantes,



utilizando a ferramenta *Feature to Point*. Esta operação foi conduzida sob duas perspectivas distintas: A primeira, no modelo de *multiparts*, consiste na geração de pontos a partir das geometrias agrupadas, sem considerar a quantidade de vezes que essas geometrias se repetem; já a segunda, no modelo de *singleparts*, gera pontos para cada ocorrência individual das geometrias, ou seja, considerando todas as repetições existentes (Figura 4).

**Figura 4.** Exemplos de *Multiparts* e *Singleparts*



Fonte: os autores (2025).

Posteriormente, efetuou-se um *Spatial Join* entre os centróides e a grade, com o objetivo de quantificar, para cada célula identificada pelo *Grid ID*, o número de centróides associados a cada atributo temático. A partir dessa contagem, foi calculado o índice de geodiversidade mediante a soma simples dos totais de centróides registrados em cada célula, integrando, assim, a diversidade espacial de atributos temáticos presentes em cada unidade da grade.

Por fim, para a classificação do índice de geodiversidade, optou-se por utilizar a quebra natural, ou método *Jenks*, pois trata-se de dados com distribuições heterogêneas e não uniformes. Como o objetivo é identificar padrões espaciais relevantes e evitar a sobre-representação de valores extremos, esse método foi o escolhido, pois permite uma análise mais precisa das características geodiversas do território. Isso facilita a compreensão e a visualização dos padrões espaciais, permitindo uma análise mais eficiente e detalhada (Chen et al., 2013). A classificação é dividida em cinco classes: Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta, sendo que cada uma corresponde a um intervalo numérico específico apresentado no mapa final.

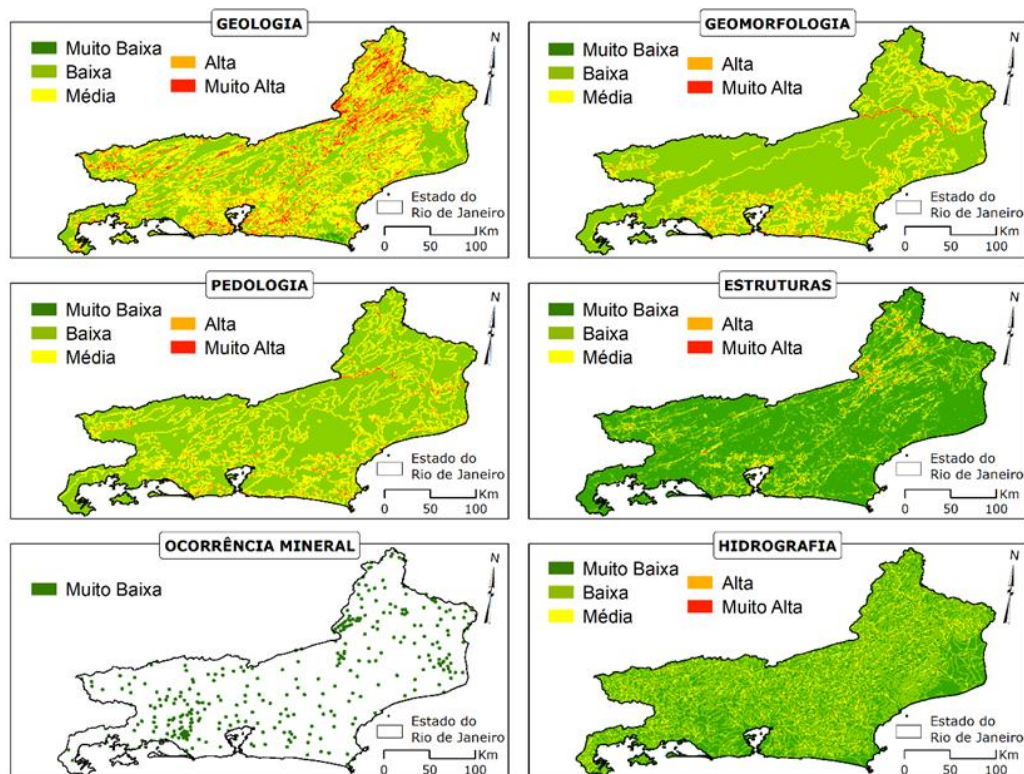
## Resultados

Com base na metodologia de avaliação previamente delineada, esta seção apresenta os resultados obtidos para os índices de geodiversidade, considerando tanto os índices parciais quanto o índice final. A seguir se exhibe os resultados parciais obtidos para os diferentes componentes analisados, considerando distintas escalas de resolução espacial com o método *multipart*: enquanto o mapa da Figura 5 é fundamentado em uma grade com resolução de 1 km x 1 km, o mapa da Figura 6 possui uma grade com a resolução de 10 km x 10 km, e o mapa da figura 7 sintetiza os resultados com base em uma grade de 100 km x 100 km, permitindo a análise comparativa das variações nos padrões de geodiversidade em diferentes níveis de detalhamento.

A Tabela 1 sintetiza a contabilização dos índices analisados, organizados por temas. Esta categorização temática permite uma avaliação quantitativa das frequências e distribuições relativas dos indicadores, destacando padrões relevantes para a compreensão das dinâmicas investigadas. Os resultados evidenciam a predominância quantitativa de certos temas, como a geologia, as estruturas geológicas e a hidrografia. No contexto deste estudo, a geologia refere-se às unidades litológicas, como por exemplo Granito Vila Dois Rios, enquanto as estruturas geológicas dizem respeito a elementos de deformação e disposição das rochas, como falhas, zonas de cisalhamento e contatos. Além disso, observam-se variações significativas entre os tamanhos das grades, como é de se esperar, mas também uma grande variação quantitativa em relação aos métodos, sugerindo nuances específicas a serem exploradas na discussão.

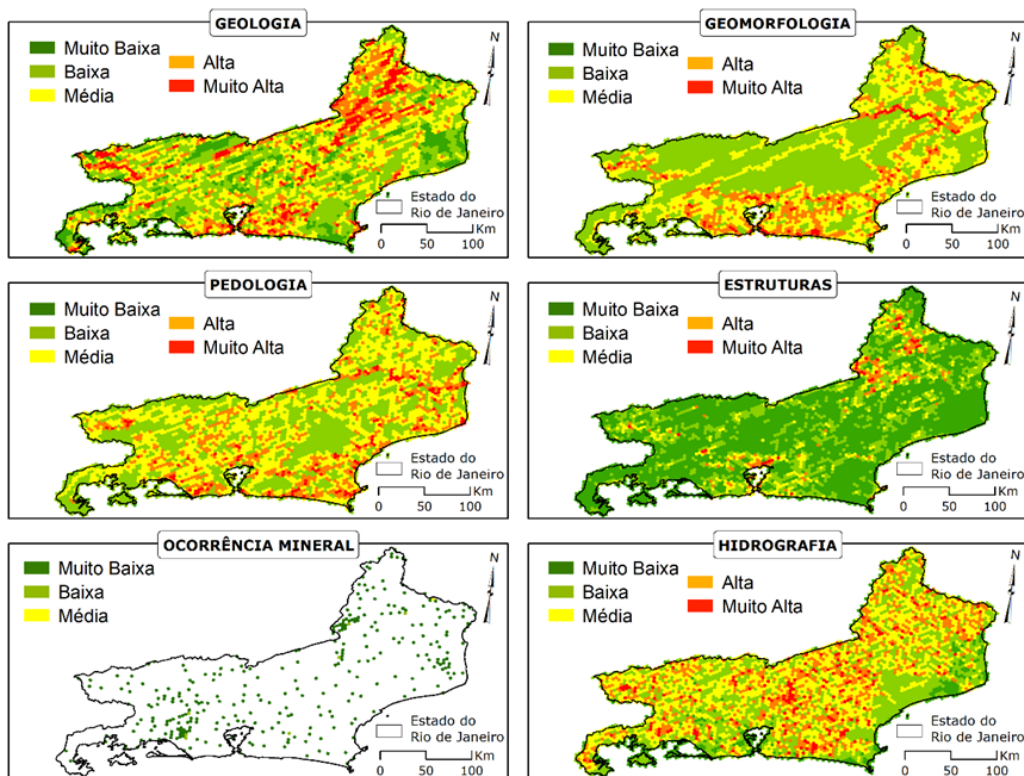
O índice da geologia reflete a diversidade geológica regional. Essa variação se relaciona à presença de terrenos tectônicos distintos e complexos da Faixa Ribeira, como o Terreno Ocidental e Oriental, além de registros de eventos magmáticos e metamórficos associados à formação do Gondwana e à posterior fragmentação (Dantas et al., 2017). O índice da geomorfologia apresenta variações destacáveis, as quais estão associadas a diferentes compartimentos de relevo, incluindo planícies litorâneas, serras, depressões, maciços costeiros entre outros.

**Figura 5.** Diversidade por tema 1 km x 1 km

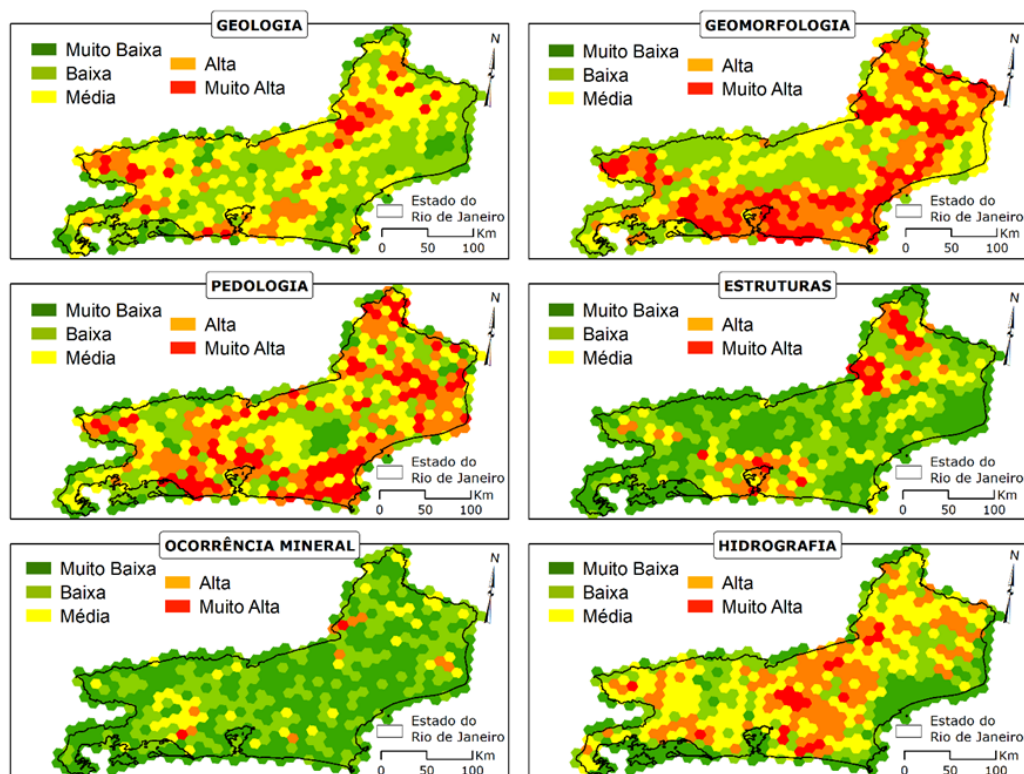


Fonte: os autores (2025).

**Figura 6.** Diversidade por tema 10 km x 10 km



Fonte: os autores (2025).

**Figura 7.** Diversidade por tema 100 km x 100 km

Fonte: os autores (2025).

**Tabela 1.** Contabilização dos índices por temas *multipart* e *singleparts*

ÍNDICES	TAMANHO DA GRADE <i>MULTIPARTS</i>			TAMANHO DA GRADE <i>SINGLEPARTS</i>		
	1 km x 1 km	10 km x 10km	100 km x 100 km	1 km x 1 km	10 km x 10km	100 km x 100 km
Índice da geologia	0 a 6	1 a 7	2 a 13	1 a 14	3 a 27	9 a 82
Índice da geomorfologia	0 a 5	0 a 6	0 a 6	1 a 8	1 a 11	4 a 21
Índice da pedologia	0 a 4	0 a 6	0 a 7	0 a 6	1 a 9	3 a 22
Índice das estruturas geológicas	1 a 27	4 a 57	17 a 179	-	-	-
Índice da ocorrência mineral	0 a 1	0 a 3	0 a 9	-	-	-
Índice da hidrografia	0 a 4	0 a 6	2 a 19	0 a 10	2 a 19	8 a 51

Fonte: os autores (2025).

A geomorfologia do território é marcada por feições como escarpas da Serra do Mar e as planícies do Vale do Paraíba, onde processos de erosão e deposição desempenham papéis importantes na formação e na dinâmica do relevo (Dantas et al., 2017). O índice da pedologia indicam a variabilidade no tipo de solo. Em áreas de alta declividade, predominam solos rasos ou ausentes, como o caso dos cambissolos em vasta extensão ao longo da Serra



dos órgãos, enquanto nas planícies sedimentares encontram-se solos mais espessos, como os Argissolos ou Latossolos. Essa relação reflete os processos de formação pedológica associados a diferentes tipos de rocha e condições climáticas (Dantas et al., 2017).

O índice das estruturas geológicas apresenta amplas variações refletindo as intensas deformações tectônicas em algumas áreas específicas, como ao longo da Serra do Mar, mas principalmente no extremo nordeste do estado. A região é atravessada por grandes zonas de cisalhamento, como a Zona do Rio Paraíba do Sul, além de falhas e dobras associadas à colisão orogênica e ao magmatismo pós-colisional (Dantas et al., 2017). A ausência de variação no método *singlepart* indica uma abordagem mais restritiva para este tipo de análise.

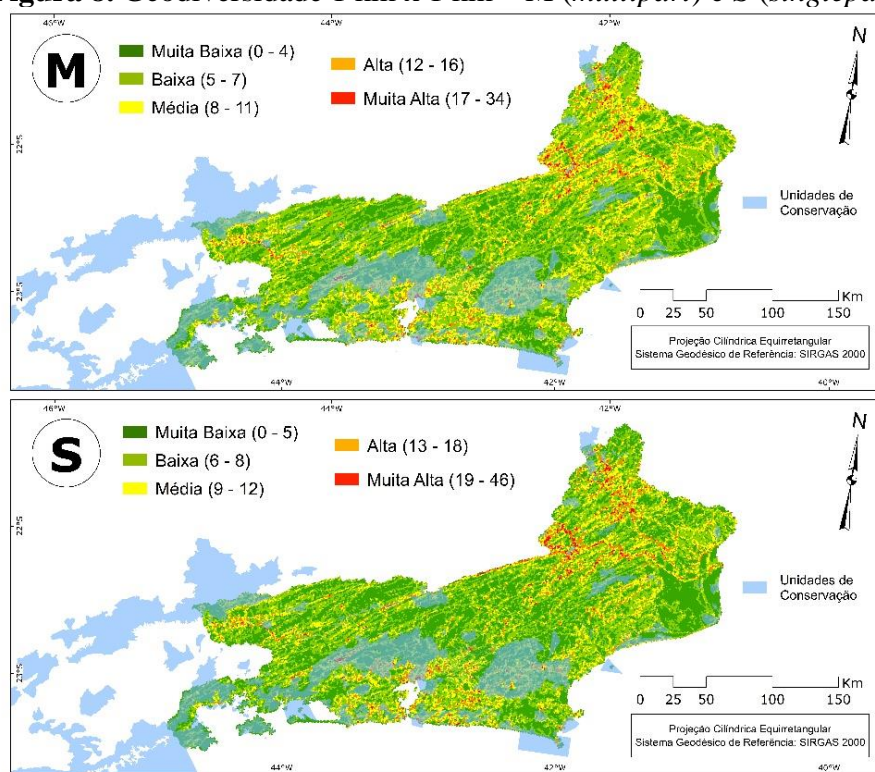
O índice de ocorrência mineral destaca sua distribuição pontual de recursos minerais. As áreas de maior concentração, como os depósitos de gnaiss em Volta Redonda, Santo Antônio de Pádua e argila em Campos dos Goytacazes, estão relacionadas a estruturas específicas e contextos geológicos favoráveis, como o embasamento cristalino e as zonas de contato litológico (Dantas et al., 2017). O método *singleparts* não foi aplicado devido à natureza localizada dessas ocorrências. O índice da hidrografia exibe grandes variações entre os métodos *multipart* e *singleparts*. A rede hidrográfica do estado é composta por bacias como a do Rio Paraíba do Sul, da Baía de Guanabara, Piabanha, influenciadas por fatores geomorfológicos e geológicos. Apesar de inconsistências quiméricas dos dados de origem, o método *singleparts* foi mantido para padronização, embora sua aplicação em escala regional apresente limitações em análises das continuidades dos cursos d'água.

Os índices de geodiversidade foram calculados com base na sobreposição de grades hexagonais (1 km<sup>2</sup>, 10 km<sup>2</sup> e 100 km<sup>2</sup>) com camadas temáticas (geologia, geomorfologia, pedologia, etc.). Cada célula da grade recebeu um valor correspondente à quantidade de elementos abióticos presentes nela, contabilizados por meio de centróides. Por exemplo, se uma célula de 10 km<sup>2</sup> intersectar cinco tipos de rochas (geologia), três formas de relevo (geomorfologia) e dois tipos de solo (pedologia), seu índice total será a soma dessas ocorrências (5 + 3 + 2 = 10). A Tabela 1 do artigo sintetiza esses valores, mostrando intervalos como "0 a 6" para geologia em *multipart* (1 km<sup>2</sup>) ou "9 a 82" em *singleparts* (100 km<sup>2</sup>). Os mapas finais de geodiversidade são representados a seguir, e sintetizam os resultados obtidos ao longo da análise. Os mapas das figuras 8, 9, e 10 se apresentam para alçar um comparativo abrangente entre os métodos *singleparts* e *multipart*, incorporando todos os temas temáticos selecionados. Essa representação permite visualizar as diferenças

na distribuição da geodiversidade em diferentes abordagens metodológicas, destacando áreas de maior e menor complexidade.

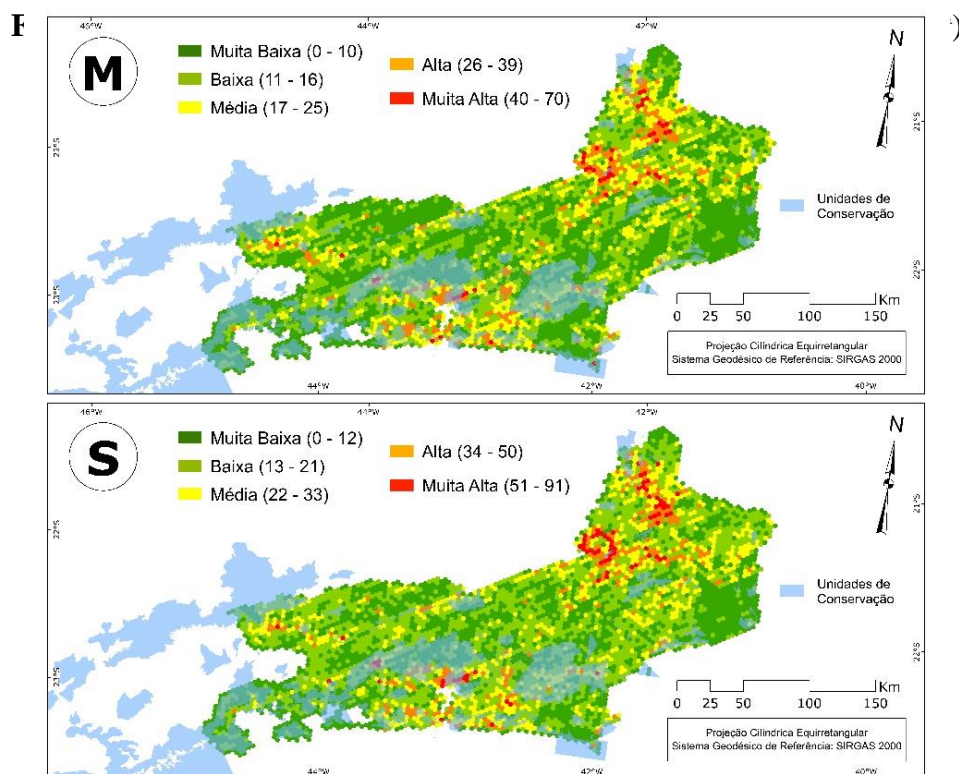
Já os mapas das figuras 11, 12 e 13 por sua vez, oferecem uma perspectiva focada ao excluir os temas de Hidrografia e Estruturas. Essa exclusão permite identificar o impacto isolado dos demais componentes na avaliação da geodiversidade, evidenciando padrões específicos e potenciais divergências na representação final, uma vez que são os dois temas de maior discussão. A hidrografia, em sua vertente *singlepart*, possui a problemática da continuidade dos vetores em formato de linha, o que influencia a geração e, consequentemente, a contagem dos centróides. As estruturas apresentam a maior discrepância em relação aos demais temas no que diz respeito ao número de classes, o que pode indicar uma sobre-representação das estruturas geológicas em comparação com os outros temas.

**Figura 8.** Geodiversidade 1 km x 1 km – M (*multipart*) e S (*singlepart*)



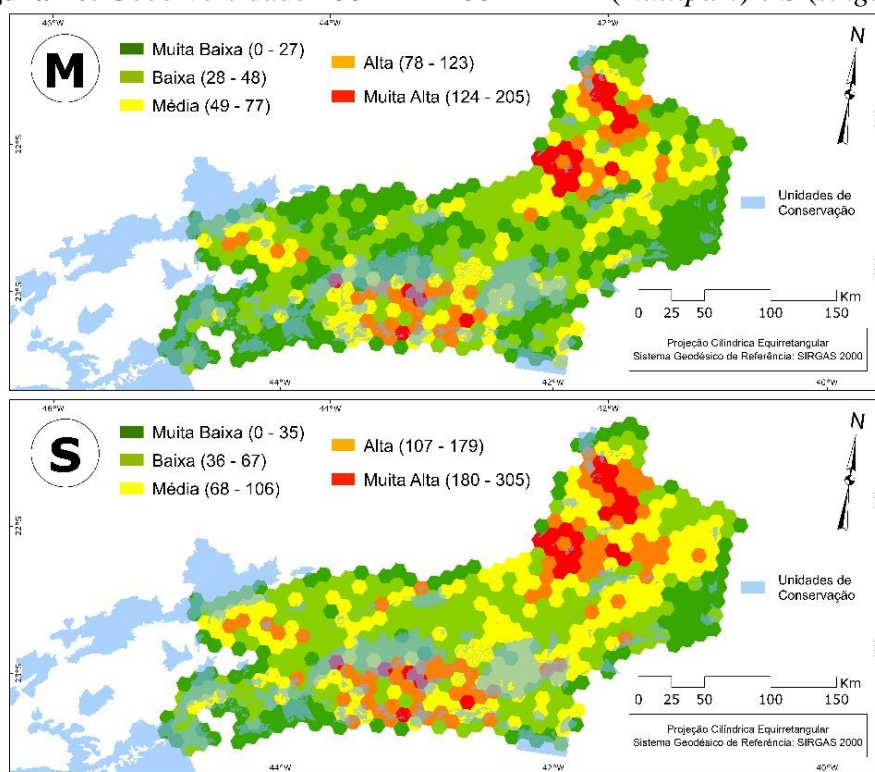
Fonte: os autores (2025).





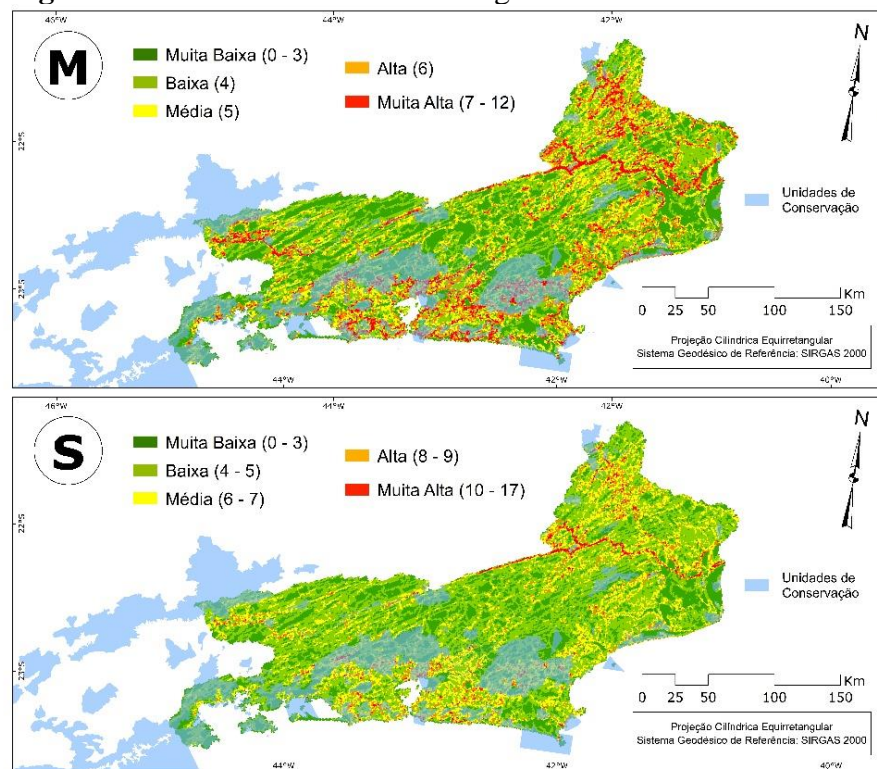
Fonte: os autores (2025).

**Figura 10.** Geodiversidade 100 km x 100 km – M (*multipart*) e S (*singlepart*)



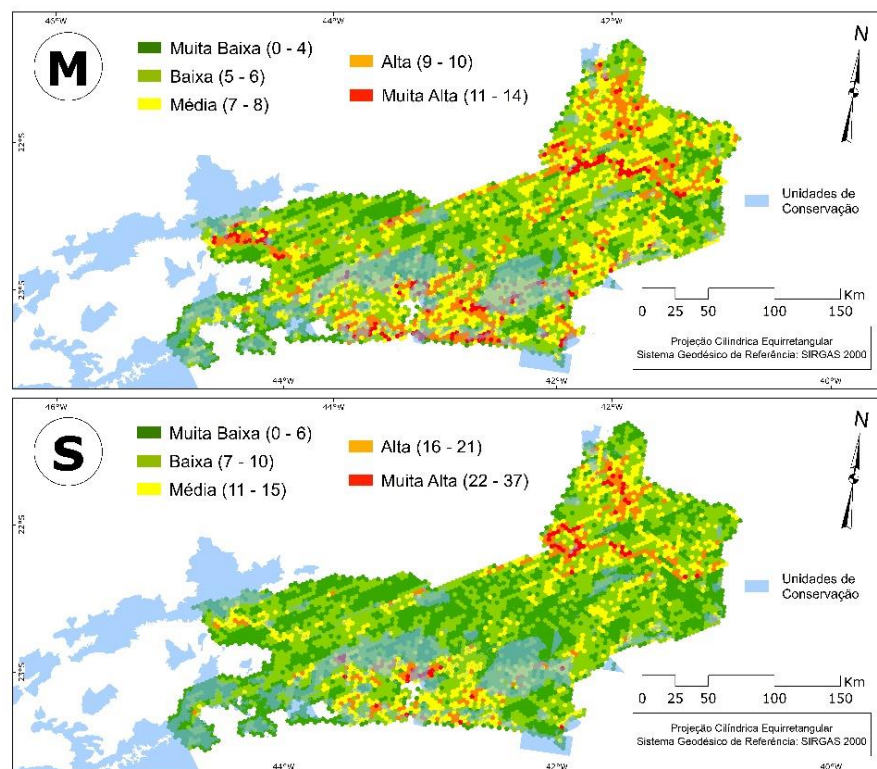
Fonte: os autores (2025).

**Figura 11.** Geodiversidade sem hidrografia e estruturas 1 km x 1 km

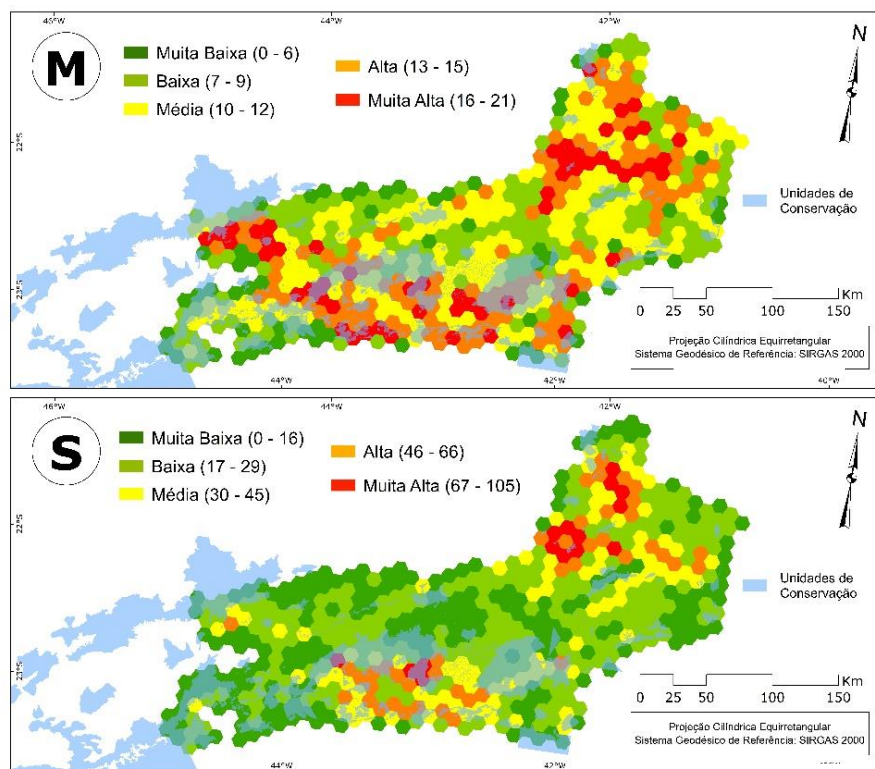


Fonte: os autores (2025).

**Figura 12.** Geodiversidade sem hidrografia e estruturas 10 km x 10 km



Fonte: os autores (2025).

**Figura 13.** Geodiversidade sem hidrografia e estruturas 100 km x 100 km

Fonte: os autores (2025).

Já o *singleparts* trata cada geometria como uma unidade individual, mesmo que adjacente, garantindo maior detalhamento ao considerar variações locais. No artigo, essa distinção foi crucial: o *singleparts* revela microvariações na geodiversidade (especialmente em grades menores, como 1 km<sup>2</sup>), enquanto o *multiparts* facilita a interpretação de tendências regionais (em grades maiores, como 100 km<sup>2</sup>). A escolha entre eles impacta diretamente a precisão e a escala das conclusões, sendo o *singleparts* mais sensível a nuances e o *multiparts* mais eficaz para sínteses espaciais. Os resultados do mapeamento quantitativo da geodiversidade para o estado do Rio de Janeiro revelam padrões interessantes quando analisados a partir dos métodos de processamento espacial (*singleparts* e *multiparts*) e das grades hexagonais de diferentes tamanhos (1 km x 1 km, 10 km x 10 km e 100 km x 100 km). Cada combinação de método e escala influenciou de maneira distinta o detalhamento e a identificação das áreas de maior relevância geodiversa.

O método *singleparts*, que considera cada polígono como uma unidade individual, apresentou maior detalhamento ao destacar pequenas variações na geodiversidade, sendo especialmente eficaz em grades menores, como a de 1 km x 1 km. Isso permitiu uma análise mais precisa e local, mas pode ter gerado fragmentação de informações em áreas maiores,



dificultando a percepção de padrões mais amplos. Por outro lado, o método *multipart*, que agrupa polígonos adjacentes com características similares, ofereceu uma visão mais generalizada e coesa, favorecendo a interpretação em escalas maiores, como nas grades de 10 km x 10 km e 100 km x 100 km. Em relação às grades hexagonais, a de 1 km x 1 km foi crucial para identificar microzonas de alta geodiversidade, mas pode não ser prática para a análise de gestão territorial em larga escala devido ao elevado nível de detalhe. A grade de 10 km x 10 km apresentou um equilíbrio entre detalhamento e abrangência, sendo útil para análises regionais. Já a grade de 100 km x 100 km, por ser mais ampla, destacou apenas os grandes padrões geodiversos, o que facilita a identificação de áreas prioritárias em contextos estaduais ou intermunicipais, mas perde nuances locais.

Apesar das diferenças nos resultados decorrentes dos métodos e escalas, houve consenso na identificação de três áreas principais de alta a muito alta geodiversidade:

- Região Norte Fluminense: Englobando municípios como Itaocara, Itaperuna, Cambuci, Cardoso Moreira, São Fidélis, São Sebastião do Alto, Santa Maria Madalena, São José de Ubá e Italva, essa região destacou-se por apresentar índices de geodiversidade muito altos, independentemente do método ou escala utilizada. Essa região apresenta diferentes usos e coberturas da terra, incluindo lavouras temporárias, áreas urbanizadas e mosaicos de usos. Os mosaicos de usos englobam áreas destinadas à agropecuária nas quais não foi possível diferenciar pastagens de áreas agrícolas, abrangendo também terras em pousio. Podem ainda incluir zonas periurbanas, como pequenas propriedades rurais, sítios e chácaras. Além disso, a região abriga formações e coberturas específicas, como restinga herbácea e arbórea, formações florestais, grandes lagoas e dunas (Rio de Janeiro, 2023). No entanto, a análise revelou uma discrepância preocupante: quase não há unidades de conservação nessa área. Considerando que a geodiversidade é a base para a biodiversidade, a ausência de medidas de proteção é um indicativo de negligência na gestão ambiental.
- Região Metropolitana e Serrana: Abrangendo municípios como Petrópolis, Duque de Caxias, Guapimirim, Nova Iguaçu, Miguel Pereira, Teresópolis e Magé, essa região já apresenta uma diversidade significativa de unidades de conservação em diferentes esferas (federal, estadual e municipal). Aqui, os resultados reforçam a importância da manutenção e ampliação das áreas protegidas, pois a riqueza geodiversa dessa região sustenta importantes ecossistemas da Mata Atlântica. Nessas duas regiões

predominam áreas urbanizadas e mosaicos de usos, observando-se também a presença de formações florestais e grandes corpos d'água (Rio de Janeiro, 2023).

- Região do Médio Paraíba: Incluindo municípios como Barra Mansa, Barra do Pirai, Volta Redonda e Pinheiral, essa região foi consistentemente apontada como uma área de alta geodiversidade. Embora já conte com algumas unidades de conservação, os resultados sugerem a necessidade de maior atenção na gestão ambiental para assegurar a preservação de sua riqueza geodiversa. Esta região é composta predominantemente por mosaicos de usos, e, em menor proporção, por áreas urbanizadas, silvicultura e formações florestais (Rio de Janeiro, 2023).

A comparação com as áreas de unidades de conservação destaca um ponto crítico: a disparidade entre heterogeneidade geodiversa identificada e a cobertura efetiva de proteção ambiental em algumas regiões. É imprescindível que os gestores considerem a geodiversidade como um critério fundamental na criação ou ampliação de unidades de conservação, promovendo a integração entre conservação da biodiversidade e geodiversidade. Essa abordagem integrada é essencial para garantir a sustentabilidade ambiental e socioeconômica no estado do Rio de Janeiro.

### Considerações finais

O presente estudo revelou padrões significativos de variação da geodiversidade no estado do Rio de Janeiro, evidenciando sua riqueza e complexidade geológica, geomorfológica, pedológica e hidrográfica. A utilização de grades hexagonais de diferentes tamanhos e métodos de processamento (*singleparts e multiparts*) permitiu a identificação de áreas prioritárias, destacando o nordeste do estado, a região da Serra do Mar e o noroeste fluminense como os principais *hotspots* de geodiversidade.

É visto que a resolução da grade influencia a granularidade: grades menores (1 km<sup>2</sup>) capturam detalhes locais, mas podem fragmentar padrões; grades maiores (100 km<sup>2</sup>) destacam tendências macro, porém omitem particularidades. A classificação pelo método *Jenks* agrupa os valores em categorias (Muito Baixa a Muito Alta), otimizando a visualização de padrões espaciais heterogêneos. Assim, a combinação entre métodos de processamento, resoluções e critérios de contagem permitiu uma avaliação multidimensional da geodiversidade, essencial para políticas de conservação direcionadas.

No entanto, a análise também evidenciou disparidades na cobertura de unidades de conservação em relação à riqueza geodiversa. É essencial que gestores ambientais

considerem os índices de geodiversidade como critério para a criação ou ampliação de áreas protegidas, promovendo uma abordagem integrada entre conservação da biodiversidade e geodiversidade. A implementação de políticas de geoconservação baseadas em evidências quantitativas e espacialmente distribuídas pode contribuir significativamente para o desenvolvimento de estratégias de uso sustentável e preservação ambiental no estado. Além disso, este estudo reforça a importância de integração entre comunidades acadêmicas, governamentais e locais para promover uma gestão territorial mais eficiente e inclusiva.

Estudos futuros poderiam explorar diferentes escalas cartográficas, utilizando bases de dados mais detalhadas que permitam uma representação ainda mais precisa da distribuição dos elementos abióticos. Ademais, metodologias alternativas de quantificação, como índices baseados em densidade kernel ou modelos preditivos apoiados por aprendizado de máquina, podem complementar os métodos tradicionais. A análise temporal também se apresenta como um campo promissor, avaliando a dinâmica da geodiversidade em diferentes períodos e sua relação com impactos antrópicos e mudanças climáticas.

## Referências

- ALBERICO, I.; CASABURI, A.; MATANO, F. Mapping geodiversity at a national scale: The case study of Italy. *Geoheritage*, v. 15, n. 4, p. 121, 2023.
- BRILHA, J. Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review. *Geoheritage*, v. 8, n. 2, p. 119-134, 2016.
- CARVALHO FILHO, A. de; LUMBRERAS, J. F.; SANTOS, R. D. dos. Os solos do Estado do Rio de Janeiro. [Relatório técnico]. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000.
- CHROBAK, A.; NOVOTNÝ, J.; STRUŠ, P. Geodiversity assessment as a first step in designating areas of geotourism potential. Case study: Western Carpathians. *Frontiers in Earth Science*, v. 9, p. 752669, 2021.
- CHEN, J. et al. Research on geographical environment unit division based on the method of natural breaks (Jenks). *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v. 40, p. 47-50, 2013.
- DANTAS, Marcelo Eduardo. *Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro*. Brasília: Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Minas e Metalurgia, CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: <[https://rigeo.sgb.gov.br/bitstream/doc/17229/5/rel\\_proj\\_rj\\_geomorfologia.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://rigeo.sgb.gov.br/bitstream/doc/17229/5/rel_proj_rj_geomorfologia.pdf?utm_source=chatgpt.com)>. Acesso em: 20 dez. 2024.
- DANTAS, M. E., MORAES, J. M., FERRASSOLI, M. A., JORGE, M. Q., HILQUIAS, V. A. *Geodiversidade do estado do Rio de Janeiro*. SGB-CPRM, 2017. Disponível em: <<https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/20479>>. Acesso em: 20 dez. 2024.
- FORTE, J. P.; BRILHA, J.; PEREIRA, D. I.; NOLASCO, M. Kernel Density Applied to the Quantitative Assessment of Geodiversity. *Geoheritage*, v.10, n.2, p. 205-217, janeiro. 2018.



GRAY, M. *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2013.

HJORT, J. & LUOTO, M. Geodiversity of high latitude landscapes in northern Finland. *Geomorphology*, v.115, n.1-2, p. 324-333, fevereiro. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2023. *Rio de Janeiro*. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj.html>>. Acesso em: 05 jan. 2025.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). *Regiões Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: INEA, 2013. Disponível em: <[https://riodejaneiro.esserioemeu.org/wp-content/uploads/2023/08/01\\_Bases-para-Estudo-de-Rios-do-Rio-de-Janeiro.pdf](https://riodejaneiro.esserioemeu.org/wp-content/uploads/2023/08/01_Bases-para-Estudo-de-Rios-do-Rio-de-Janeiro.pdf)>. Acesso em: 11 ago. 2025.

JORGE, M. C. O.; GUERRA, A. J. T. Geodiversidade, geoturismo e geoconservação: conceitos, teorias e métodos. *Espaço Aberto*, v. 6, n. 1, p. 151-174, 2016.

LOPES, C. et al. Identifying optimal cell size for geodiversity quantitative assessment with richness, diversity and evenness indices. *Resources*, v. 12, n. 6, p. 65, 2023.

MACHADO, G.; FLORENTINO JÚNIOR, E. Geodiversidade, geoconservação e geoturismo: uma discussão sobre a valorização e a conservação do patrimônio natural. *OKARA: Geografia em debate*, v. 15, n. 2, p. 125-147, 2021. ISSN 1982-3878. Disponível em: <<http://www.okara.ufpb.br>>. Acesso em: 11 nov. 2024.

MEIRA, S. A.; DA SILVA, E. V. Índice de geodiversidade do parque nacional de Ubajara, Ceará, Brasil. *Revista de Geociências do Nordeste*, p. 35-40, 2021.

MOURA-FÉ, M. M. et al. Geoeducação: a educação ambiental aplicada na geoconservação. *Educação Ambiental & Biogeografia*, v. 1, p. 829-842, 2016.

NIETO, L. Geodiversity as a Tool for the Nature Conservation. In: *Current Perspectives on Applied Geomorphology*. IntechOpen: London, UK, 2023.

OLIVEIRA, P. C. A.; PEDROSA, A. S.; RODRIGUES, S. C. Uma abordagem inicial sobre os conceitos de geodiversidade, geoconservação e patrimônio geomorfológico. *Ra'e Ga*, Curitiba, v. 29, p. 92-114, dez. 2013. Disponível em: <[www.ser.ufpr.br/raega](http://www.ser.ufpr.br/raega)>. Acesso em: 11 nov. 2024. ISSN 2177-2738.

PEREIRA, D.I; PEREIRA, P.; BRILHA, J. SANTOS, L. Geodiversity Assessment of Parana State (Brazil): An Innovative Approach. *Environmental Management*, v.52, n.3, p. 541-552, setembro. 2013.

RIO DE JANEIRO. 2023. Centro Estadual De Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores do Rio de Janeiro (CEPERJ). *Uso e Ocupação do Solo*. Disponível em: <<https://www.rj.gov.br/ceperj/sites/default/files/arquivos-paginas/Uso%20e%20Ocupa%C3%A7%C3%A3o%20do%20Solo%20-%20Estado%20-%20AX.pdf>>. Acesso em: 14 ago. 2025.

SANTOS, D. S. *Mapeamento da Geodiversidade e relação com a Biodiversidade no Município de Armação Dos Búzios, RJ*. Rio de Janeiro, 2016. 145f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.

SANTOS, D. S.; MANSUR, K. L.; GONÇALVES, J. B.; ARRUDA JUNIOR, E. R.; MANOSSO, F. C. Quantitative assessment of geodiversity and urban growth impacts in

Armação dos Búzios, Rio de Janeiro, Brazil. *Applied Geography*, v.85, p.184-195, agosto. 2017.

SILVA, Wanderson Luiz. Caracterização climatológica e mudanças climáticas no estado do Rio de Janeiro. 2014. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Geociências, Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.