



# ÍNDICE DE GEOBIODIVERSIDADE PARA SELEÇÃO DE ÁREAS PARA PATRIMÔNIO MUNDIAL NATURAL NO LITORAL SUL DA BAHIA (BRASIL)

## *GEOBIODIVERSITY INDEX FOR SELECTING AREAS FOR WORLD NATURAL HERITAGE ON THE SOUTH COAST OF BAHIA (BRAZIL)*

## *ÍNDICE DE GEOBIODIVERSIDAD PARA LA SELECCIÓN DE ÁREAS DE PATRIMONIO MUNDIAL NATURAL EN EL LITORAL SUR DE BAHÍA (BRASIL).*

Jomary Mauricia Leite Serra<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Doutora pelo Departamento de Geografia (IH/GEA/UnB), e-mail: [jomaryserra@gmail.com](mailto:jomaryserra@gmail.com)

 <https://orcid.org/0000-0001-7283-8820>

Valdir Adilson Steinke<sup>2</sup>

Professor Titular do Departamento de Geografia (IH/GEA/UnB), e-mail: [valdirsteinke@gmail.com](mailto:valdirsteinke@gmail.com)

 <https://orcid.org/0000-0002-8738-6975>

### RESUMO

O objetivo do artigo foi a aplicação do índice de geobiodiversidade, com adaptações, para indicar as áreas mais relevantes de interesse geológico, geomorfológico, vegetacional e faunístico no litoral sul da Bahia, a serem protegidas conforme os instrumentos legais. Os procedimentos focaram na segmentação da área em 5.579 células hexagonais submetidas a uma análise de matrizes espaciais em SIG e ambientes geoestatísticos para gerar um índice aglutinador. O resultado indicou 2.159 células com correlação estatística espacial indicando áreas classificadas. Esse índice é uma abordagem aglutinante para indicar áreas passíveis de preservação dentro das premissas de geodiversidade, biodiversidade e geoconservação, especialmente para regiões sensíveis e com alto impacto antrópico.

**Palavras-chave:** Biodiversidade. Geodiversidade. Ambiental. SIG. Mata Atlântica -Brasil.

### ABSTRACT

The objective of this article was to apply the geobiodiversity index, with adaptations, to indicate the most relevant areas of geological, geomorphological, vegetational, and faunal interest on the southern coast of Bahia, to be protected according to legal instruments. The procedures focused on segmenting the area into 5,579 hexagonal cells subjected to spatial matrix analysis in GIS and geostatistical environments to generate an aggregating index. The result indicated 2,159 cells with spatial statistical correlation indicating classified areas. This index is an aggregating approach to indicate areas suitable for preservation within the premises of geodiversity, biodiversity, and geoconservation, especially for sensitive regions with high anthropogenic impact.

**Keywords:** Biodiversity. Geodiversity. Environmental. GIS. Atlantic Forest - Brazil.

### RESUMEN

El objetivo de este artículo fue aplicar el índice de geobiodiversidad, con adaptaciones, para identificar las áreas más relevantes de interés geológico, geomorfológico, vegetal y faunístico en la costa sur de Bahía, que deben ser protegidas según los instrumentos legales. Los procedimientos se centraron en la segmentación del área en 5.579 celdas hexagonales, sometidas a análisis de matriz espacial en SIG y entornos geoestadísticos para generar un índice aglutinante. El resultado indicó 2.159 celdas con correlación estadística espacial que indican áreas clasificadas. Este índice es un enfoque aglutinante para identificar áreas aptas para la preservación, dentro de los principios de geodiversidad, biodiversidad y geoconservación, especialmente en regiones sensibles con alto impacto antropogénico.

**Palabras clave:** Biodiversidad. Geodiversidad. Medio ambiente. SIG. Mata Atlántica - Brasil.



## INTRODUÇÃO

As Áreas de Patrimônio Mundial Natural representam os mais importantes instrumentos internacionais de proteção de ecossistemas de excepcional valor universal, desempenhando papel fundamental na conservação da biodiversidade, da geodiversidade e dos processos ecológicos essenciais. Esses territórios abrigam habitats críticos para espécies ameaçadas, protegem paisagens singulares e contribuem significativamente para a manutenção de serviços ecossistêmicos indispensáveis ao bem-estar humano. Estima-se que essas áreas concentrem cerca de dois terços das principais fontes de água doce do planeta, além de atuarem na regulação hidrológica, na mitigação de desastres naturais, como inundações e movimentos de massa, e no armazenamento de carbono, contribuindo para a estabilidade climática global (OSIPOVA et al., 2014; BRILHA et al., 2018). Além de seus benefícios ambientais, essas áreas promovem oportunidades econômicas sustentáveis associadas ao turismo, à pesquisa científica e ao desenvolvimento local, reforçando sua relevância para a conservação da natureza e para a construção de sociedades mais resilientes e sustentáveis (GRAY, 2013; OSIPOVA et al., 2021). (BROWN ET AL., 2005); (DUDLE; STOLTON, 2008) (BENEDICT; MCMAHON, 2012); (IUCN, 2018).

Para um bem natural ser considerado como Patrimônio Mundial Natural, ele deve ter um Valor Universal Excepcional que é verificado pelas condições de integridade dos fatores físicos, naturais e biológicos que o tornam parte integrante da paisagem natural e essencial para sua preservação. Além disso, deve possuir um sistema de proteção e gestão capaz de preservar sua paisagem histórico-geográfica e sua importância ambiental, fruto de relações sociais historicamente determinadas (UNESCO, 2005; Jokilehto, 2006; Oliveira, 2011; Jokilehto, 2011; Lima, 2015; UNESCO, 2019).

O litoral sul da Bahia é uma parte do território brasileiro de grande relevância no contexto geohistórico do processo de formação da nação brasileira. Neste território está inserido o Patrimônio Natural Mundial Costa do Descobrimento: Reservas de Mata Atlântica que apresenta excepcional valor para a ciência e a preservação de ecossistemas de interesse universal e está localizado entre os estados da Bahia (litoral sul) e do Espírito Santo (centro-leste). Este patrimônio abrange oito áreas protegidas: a Reserva Biológica de Una (BA), a Estação Ecológica de Vera Cruz (BA), Estação Experimental Pau-Brasil (BA), Parque Nacional do Pau-Brasil (BA), Parque Nacional do Monte Pascoal (BA), Parque Nacional do Descobrimento (BA), a Reserva Biológica de Sooretama (ES) e a Reserva Florestal de Linhares, atualmente Reserva Natural Vale (ES), possuindo 112 mil hectares de floresta de Mata Atlântica e restinga considerada a floresta mais rica do mundo em termos de biodiversidade. Estes locais contêm uma ampla variedade de espécies endêmicas e revelam um padrão de evolução não apenas de grande interesse científico, mas também de grande importância para a conservação (UNESCO, 2020b).

O cenário geocológico do litoral sul da Bahia destacou-se significativamente quando os portugueses chegaram ao Brasil e, desde então, vem sofrendo forte pressão antrópica, principalmente devido ao processo de urbanização litorânea e significativa expansão das atividades agrícolas, que comprometem a conservação de recursos naturais. Neste sentido, estudos sobre geodiversidade e biodiversidade têm sido relevantes na contribuição com dados para a manutenção das paisagens.

O objetivo deste trabalho é apontar áreas no litoral sul da Bahia com potencial para serem inscritas como Patrimônio Mundial Natural da UNESCO, utilizando para isso o Índice de Geobiodiversidade proposto por Steinke (2021) para avaliar o Valor Universal Excepcional e as condições de integridade da biodiversidade e geodiversidade.

O Índice de Geobiodiversidade - IGBio proposto por Steinke (2021) considera a interação entre elementos da geodiversidade (abiótica) e elementos da biodiversidade (biótica) igualmente nos níveis horizontal e vertical (valores estéticos, culturais e científicos) oscilando de acordo com a dinâmica anual estabelecida do geossistema.

O Índice de Geobiodiversidade permite compreender a complexidade ambiental exigida pelas categorias da Convenção, às quais as propriedades foram classificadas, bem como suas respectivas condições de integridade.

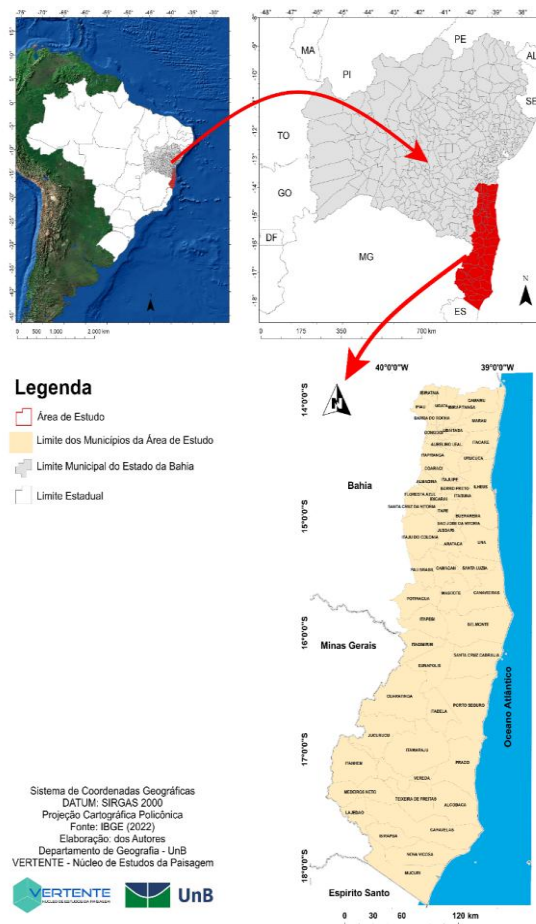
## METODOLOGIA

### Área de estudo

A área de desenvolvimento da pesquisa está localizada entre latitudes  $-13^{\circ}40'N$  e  $-18^{\circ}40'S$  e longitudes  $-41^{\circ}10'E$  e  $-38^{\circ}20'W$ , inserida na região nordeste do Brasil, mais especificamente no litoral sul do estado da Bahia (Figura 1). É composta de 56 municípios que estão distribuídos quase que totalmente na mesorregião geográfica do Sul Baiano (exceto pelo município de Potiraguá, o qual pertence a mesorregião Centro Sul Baiano) e inclui também 3 territórios d

em grande parte por planície costeira, bastante recortado, com extensões de restinga, tabuleiros terciários, terrenos ondulados e elevações que, como degraus, dão acesso ao planalto interior. Um clima quente e úmido, responsável por uma cobertura florestal, bastante devastada (IBGE, 1992).

**Figura 1 - Localização da área de estudo.**



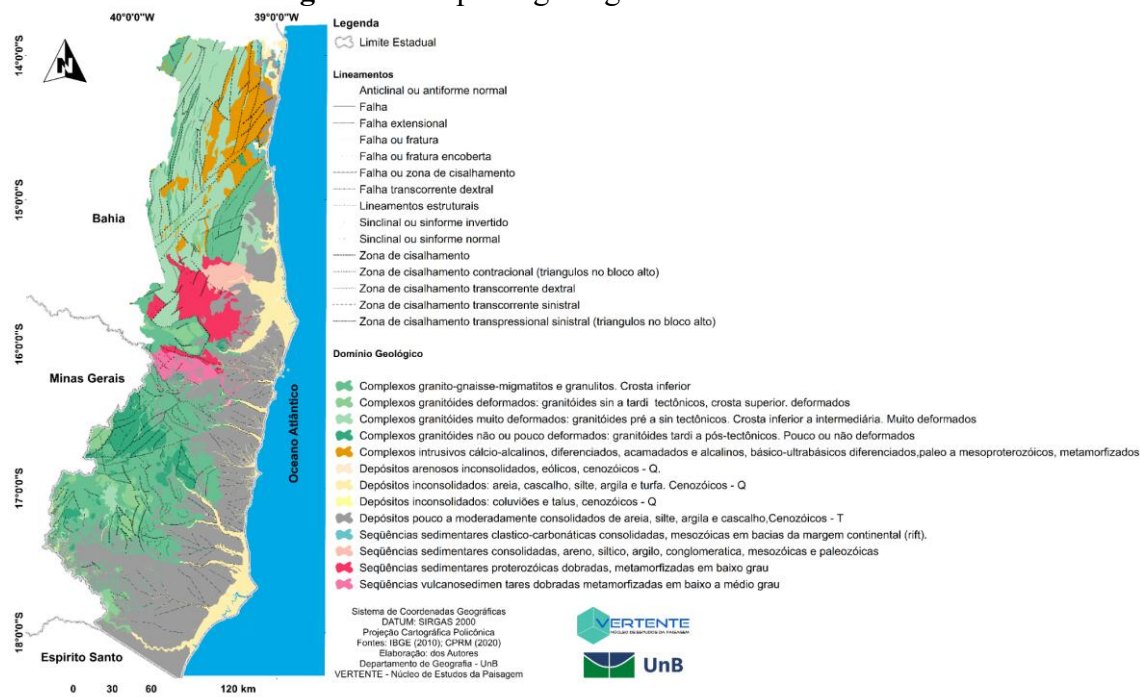
Fonte: IBGE, 2020. Adaptação dos autores.

## Geologia e geomorfologia

O estado da Bahia tem uma ampla diversidade geológica e em seu território afloram rochas formadas em quase todas as escalas de tempo.

A área de estudo está inserida em duas Províncias Geológicas: Província São Francisco (mais especificamente no Domínio oriental da Bahia) e Província Mantiqueira (na Faixa Araçuai) (figura 2). A região incluída na Província São Francisco é composta por: bacias sedimentares fanerozóicas; Itabuna-Salvador-Curaçá Orógeno (Neoarqueano), Estágio Orogênico – Domínio Costeiro Atlântico; terrenos interiores do Embasamento – Orógenos Neoproterozóicos (Serras Brasileiras); Bacias de Foreland - Orógenos Neoproterozóicos (Faixas Brasileiras). A região sob influência da Faixa Araçuai é composta por margens passivas – orógenos Neoproterozóicos (Faixas Brasileiras) e coberturas superficiais Cenozóicas (Delgado et al., 2003)(Figura 2).

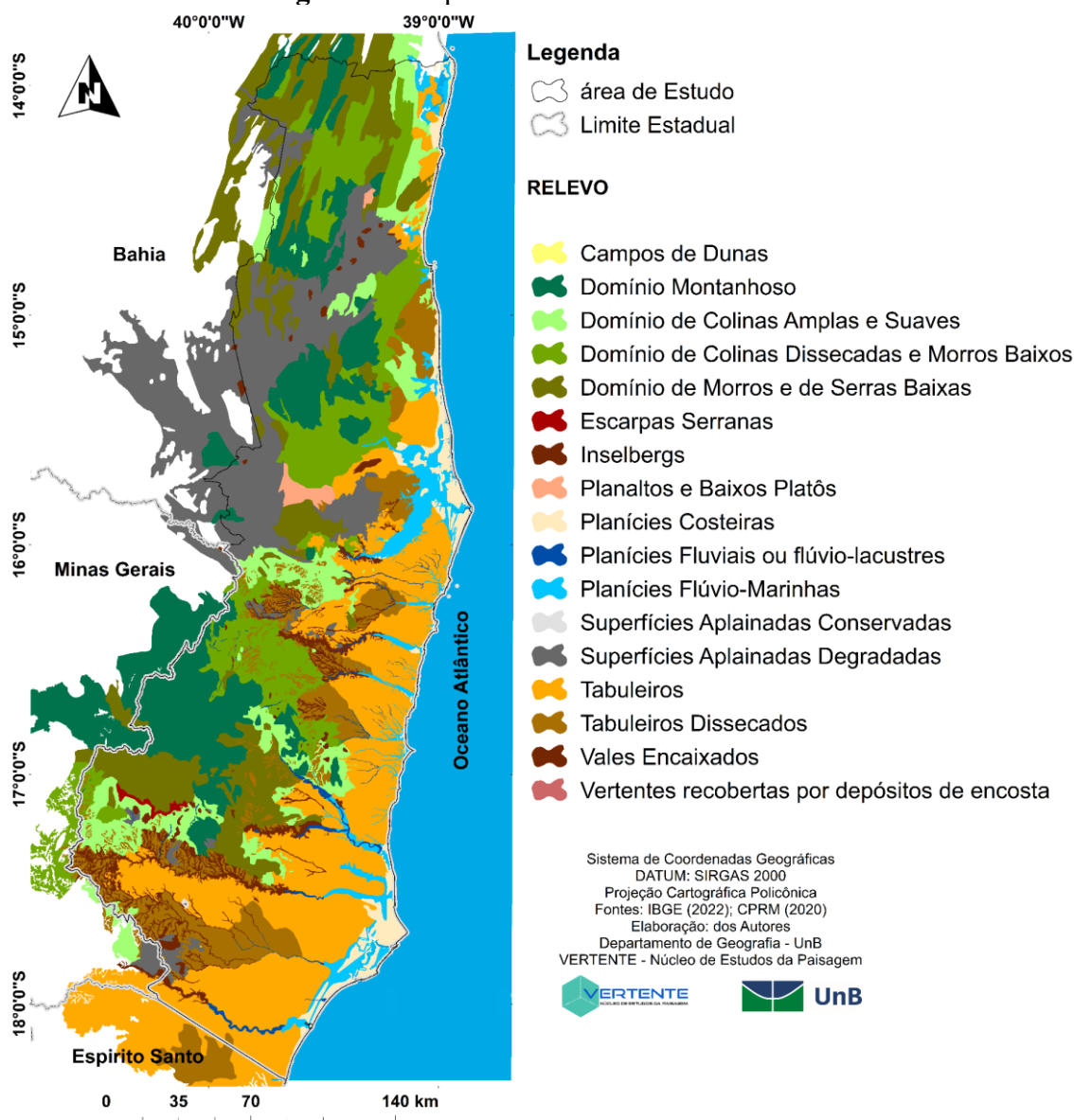
**Figura 2** - Mapa de geologia da área de estudo.



**Fonte:** IBGE, 2010. Adaptação dos autores.

O relevo da área é composto por planícies, tabuleiros, planaltos, depressões e montanhas com estrutura geológica de falhas ou fraturas em toda a região e diferenciadas pelas áreas de depressão na zona de cisalhamento de Itabuna (mais ao norte do mapa), depressões na zona de cisalhamento de Buerarema e áreas de planalto (entre as zonas de cisalhamento de Itabuna) e zona de cisalhamento do Planalto-Potiraguá (pequena região em área de depressão na região mais ocidental do mapa) Figura 3.

**Figura 3 - Mapa de relevo da área de estudo.**



Fonte: IBGE, 2010. Adaptação dos autores.

## Uso da terra e drenagem

A área de estudo é altamente antropizada, com remanescentes de mata atlântica que são majoritariamente conservadas em Unidades de Conservação gerenciadas por autoridades públicas (figura 4).

A ocupação humana e a implantação de atividades econômicas em bacias hidrográficas constituem importantes vetores de transformação da paisagem, frequentemente resultando na supressão da cobertura vegetal nativa e na alteração dos processos ecológicos naturais (TEIXEIRA et al., 2013). Entre essas atividades, a expansão agropecuária destaca-se como uma das principais responsáveis pela fragmentação de remanescentes florestais, promovendo a redução da conectividade entre habitats e o isolamento de populações biológicas. Esse processo compromete a manutenção da biodiversidade, uma vez que a perda e a fragmentação de habitats figuram entre as principais causas do declínio e da extinção de espécies em escala global (FAHRIG, 2003; HADDAD et al., 2015). Além dos impactos sobre a fauna e a flora, a

fragmentação da paisagem dificulta a implementação de estratégias de conservação, restauração ecológica e manejo sustentável dos recursos naturais, ampliando os desafios enfrentados por gestores e pesquisadores na proteção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos associados (TEIXEIRA et al., 2013; HADDAD et al., 2015).

O uso da terra na região estudada é bastante diversificado, variando à medida que avança em direção ao sul da Bahia. Três grandes bacias se destacam na composição hidrográfica da região de estudo: bacia do rio de Contas, bacia do rio Jequitinhonha e bacia do rio Mucuri (Figura 4).

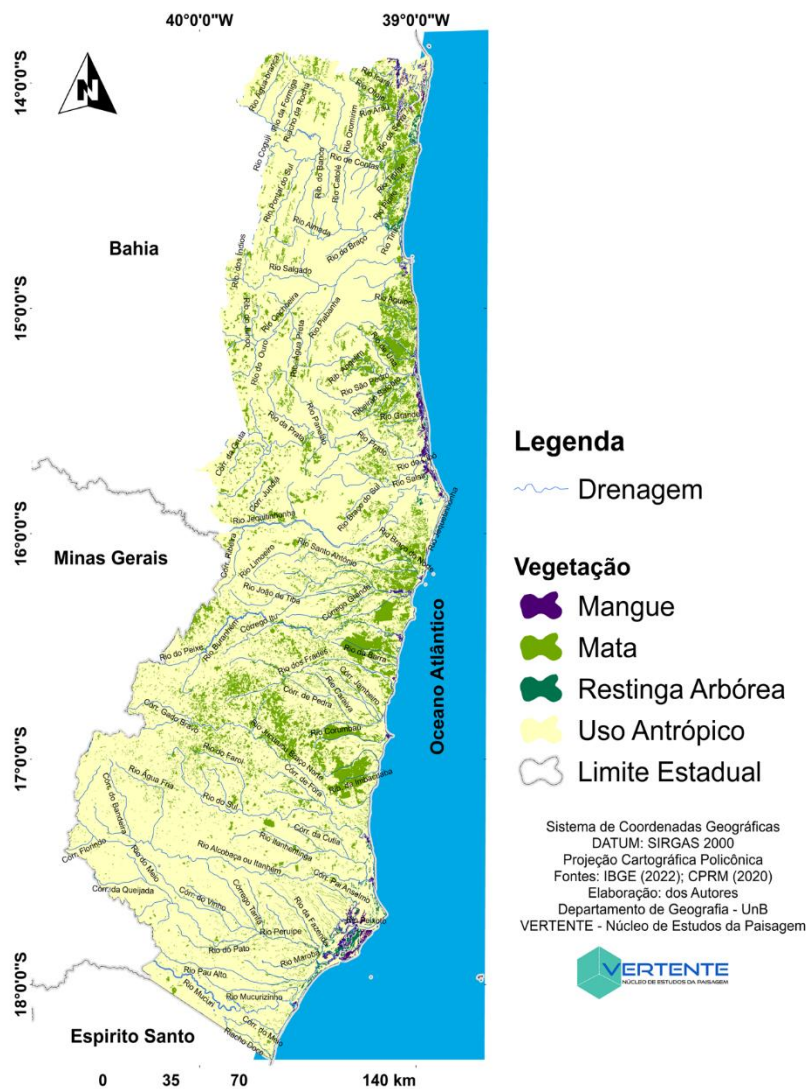
Na região mais ao norte da área de estudo, a bacia do Rio de Contas é a principal. Nesta região, as grandes propriedades cacauceiras predominam nas zonas costeiras e as pastorais nas zonas mais interiores da bacia, sendo os outros usos do solo pouco significativos (Teixeira et al., 2013; INEMA, 2021).

Outra grande bacia hidrográfica é a do Rio Jequitinhonha, na qual o processo de ocupação está diretamente ligado à supressão de vegetação primária, pastoreio intensivo, plantio e expansão da monocultura do eucalipto, implantação e expansão de empreendimentos do setor de papel e celulose e o crescimento da atividade turística em praticamente toda a zona costeira, constituindo os principais vetores de desenvolvimento (IBGE, 1997; Silva, 2012; SEI, 2021).

No extremo sul, destaca-se a exploração madeireira e a consequente implantação de pastagens para a atividade pecuária. Destaca-se também a silvicultura com a produção de eucalipto como subsídio à celulose (IBGE, 1992; SEPLAN, 2016). Nesta região, a principal bacia hidrográfica é a do rio Mucuri (Figura 4).

Outra atividade econômica altamente desenvolvida na região é o turismo, favorecido principalmente pela ampla faixa costeira com vestígio de mata atlântica, protegida por instrumentos como as Unidades de Conservação, áreas de Patrimônio Mundial Natural e pela presença de comunidades tradicionais, sua cultura e costumes (IBGE, 1992).

Figura 4 - Mapa de uso da terra e drenagem da área de estudo.



Fonte: IBGE, 2010. Adaptação dos autores.

## Vegetação

No bioma Mata Atlântica ocorrem as seguintes formações de florestas nativas e ecossistemas associados: Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista, também chamada de Floresta com Araucárias, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Semidecídua, Floresta Estacional Decidual, Cerrado (Cerrado), Savana Estepe (Caatinga), Estepe, Áreas de Formações Pioneiras (Manguezais, Restinga e Áreas Aluviais), os Refúgios Vegetacionais, bem como as áreas constituídas por essas tipologias, presentes nos Contatos entre Tipos de Vegetação (IBGE, 2012).

A área de estudo possui as seguintes formações: Floresta Ombrófila Densa, Floresta Estacional Semidecidual, Áreas de Formações Pioneiras e Áreas de Tensão Ecológica, descritas no Quadro 1.

**Quadro 1 - Descrição da Fitofisionomia da área de estudo.**

|                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Floresta Ombrófila Densa</b>        | Caracteriza-se pela presença de árvores de médio e grande porte, além de cipós e epífitas em abundância. Estende-se ao longo da costa desde o nordeste até ao extremo sul. Sua ocorrência está ligada ao clima tropical quente e úmido, sem período seco, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano (excepcionalmente com até 60 dias de baixa umidade) e temperaturas médias variando entre 22 e 25° C.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Floresta Estacional Semidecídua</b> | É condicionada pela dupla sazonalidade climática. Na região tropical, é definida por dois períodos pluviométricos bem-marcados, um chuvoso e outro seco, com temperaturas médias anuais em torno de 21° C; e na região subtropical, por um curto período de estiagem acompanhado de forte queda de temperatura, com médias mensais abaixo de 15° C. Essa sazonalidade afeta os elementos arbóreos dominantes, induzindo-os ao repouso fisiológico, determinando um percentual de árvores caducifólias entre 20 e 50% do complexo florestal. Sua dispersão irregular, entre as formações ombrófilas, a leste, e as formações campestres, segue a diagonal seca direcionada de nordeste a sudoeste e é caracterizada por um clima sazonal menos chuvoso, ou seja, marcado pela alternância de frio/seco e quente/úmido. |
| <b>Áreas de Formações Pioneiras</b>    | Constituem os complexos vegetacionais edáficos de primeira ocupação (pioneiros), que colonizam terrenos pedológicos instáveis, relacionados aos processos de acumulação fluvial, lacustre, marinha, fluviomarinha e eólica. Abrangem a vegetação da restinga, dos manguezais, das salinas e das comunidades ribeirinhas aluviais e lacustres.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Áreas de Tensão Ecológica</b>       | Constituem os contatos entre tipos de vegetação que podem ocorrer na forma de Ecótonos, quando a transição ocorre por meio de uma mistura florística, envolvendo tipologias com estruturas fisionômicas semelhantes ou claramente distintas; ou na forma de Enclave quando a distinção de tipologias vegetais, ou mosaicos entre diferentes regiões ecológicas, traduz uma transição edáfica e salvaguarda a sua identidade ecológica. No caso dos enclaves, é um dispositivo cartográfico utilizado quando a escala do mapeamento não permite separar os tipos de vegetação presentes na área, indicando, porém, sua ocorrência.                                                                                                                                                                                     |

Fonte: IBGE, 2012. Elaboração: Autores, 2022.

### Conjunto de dados e abordagem metodológica

Os procedimentos metodológicos deste estudo foram integralmente estruturados em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), utilizando o software ArcGIS Pro como plataforma central de operacionalização analítica. Tal ambiente constituiu o eixo estruturante para a organização, integração e espacialização dos dados geográficos (Quadro 2), permitindo a construção de uma base robusta e coerente para a análise

territorial proposta. O SIG foi empregado como mecanismo articulador de todas as etapas da pesquisa, viabilizando desde a sistematização das múltiplas camadas temáticas até a modelagem espacial e a geração dos produtos cartográficos finais, em consonância com abordagens consolidadas na literatura científica internacional (Goodchild, 1992; Burrough & McDonnell, 1998; Longley et al., 2015; Tomlinson, 2007; Foody, 2002).

**Quadro 2 – Bases de dados utilizadas na pesquisa**

| Tema               | Fonte                                                  | Ano  | Aplicação no estudo                                                                                                                        |
|--------------------|--------------------------------------------------------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Limites municipais | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) | 2022 | Delimitação político-administrativa dos municípios inseridos na área de estudo.                                                            |
| Limite estadual    | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) | 2022 | Delimitação territorial do estado e contextualização regional da área de estudo.                                                           |
| Vegetação          | MapBiomas                                              | 2024 | Caracterização da cobertura vegetal e análise do uso e cobertura da terra.                                                                 |
| Hidrografia        | GeoBahia                                               | 2023 | Identificação e análise da rede hidrográfica e dos recursos hídricos superficiais.                                                         |
| Biodiversidade     | GeoBahia                                               | 2023 | Levantamento e espacialização de informações sobre a ocorrência e distribuição da biodiversidade.                                          |
| Geodiversidade     | Serviço Geológico do Brasil (CPRM)                     | 2022 | Caracterização dos elementos abióticos da paisagem, incluindo aspectos geológicos, geomorfológicos e demais componentes da geodiversidade. |

**Fonte:** Elaborado pelos autores com base em IBGE (2022), MapBiomas (2024), GeoBahia (2023) e CPRM (2022).

Paralelamente, os procedimentos estatísticos foram desenvolvidos no software PAST (Paleontological Statistics), amplamente reconhecido por sua robustez na análise multivariada e na avaliação de correlações e confiabilidade de dados. Essa ferramenta permitiu o tratamento quantitativo das variáveis integradas no ambiente SIG, assegurando rigor analítico na interpretação dos padrões espaciais identificados. A articulação entre o SIG e o ambiente estatístico constituiu um sistema metodológico integrado, no qual os dados foram continuamente vinculados, cruzados e reinterpretados, possibilitando uma análise sinérgica entre componentes bióticos e abióticos, conforme a complexidade inerente à paisagem estudada.

Destaca-se que ambas as ferramentas — ArcGIS Pro e PAST — não foram utilizadas de forma isolada, mas sim como dispositivos metodológicos complementares, responsáveis por sustentar todas as etapas de análise, desde a organização dos dados até a geração dos resultados. Todo o percurso metodológico seguiu rigorosamente a proposta estabelecida por Steinke (2021), baseada em uma abordagem geossistêmica e integrada da paisagem, cujos procedimentos operacionais, estruturados em etapas sequenciais e interdependentes, serão detalhadamente apresentados nos parágrafos subsequentes.

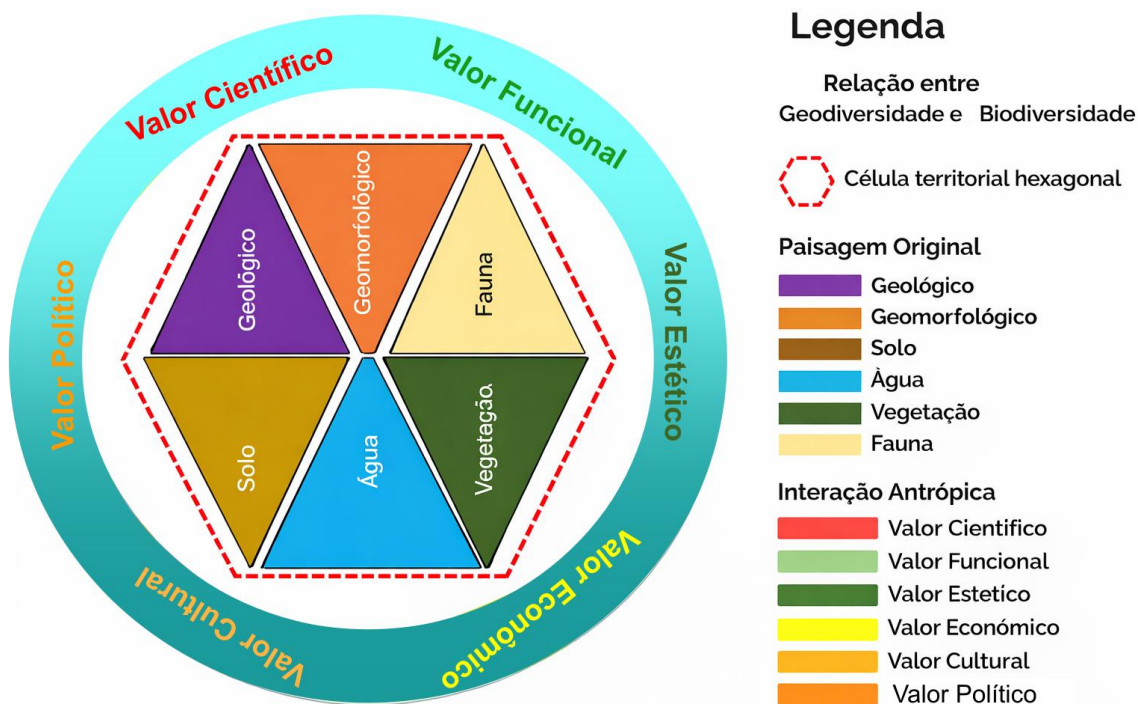
Para atingir o objetivo proposto de identificar e indicar áreas de interesse para a geobiodiversidade da área de estudo (Litoral Sul do Estado da Bahia - Brasil) foram coletados dados espaciais disponíveis em diversos sites de domínio público e em bases geográficas oficiais, como por exemplo: Geobahia, SEIGeo, IBGE, ICMBio, etc.

Os dados selecionados eram compostos por informações de geologia, falhas geológicas, curvatura geológica (dobra ou dobramento), geossítios, cavernas, vegetação, geomorfologia, solos, redes de drenagem, áreas protegidas, tipos de cobertura do solo na escala de 1:250.000, as estradas e áreas urbanas, na escala de 1:25.000 e dados sobre espécies da fauna ameaçadas de extinção na escala de 1:250.000. Essas informações foram resumidas em camadas e combinadas em uma grade hexagonal.

A grade hexagonal, utilizada como unidade de análise espacial, fundamenta-se em princípios geométricos amplamente reconhecidos na literatura científica. Conforme discutido por Steinke (2021), sua eficiência espacial remonta às observações sobre a estrutura dos favos de mel descritas por Marco Terêncio Varrão em *Res Rusticae* (36 a.C.). Estudos posteriores demonstraram que a tesselação hexagonal constitui uma das formas mais eficientes de subdivisão do espaço bidimensional, maximizando a conectividade e minimizando a relação perímetro-área (FEJES TÓTH, 1964; HALES, 2001). Em análises espaciais, essas características favorecem uma representação mais homogênea dos fenômenos geográficos e reduzem distorções associadas às relações de vizinhança (BIRCH et al., 2007; STEINKE, 2021). Além disso, a adjacência uniforme das células hexagonais promove maior conectividade espacial e reduz efeitos direcionais, contribuindo para análises mais consistentes de padrões ecológicos e geográficos (KAMGAR-PARSI et al., 1989; SAHR, 2011).

A Figura 5 apresenta o modelo de dados e informações de interação. Este modelo possui uma abordagem geossistêmica com interação horizontal e vertical dos elementos que compõem a paisagem, sem níveis hierárquicos definidos, o que significa que todos os elementos interagem entre si de forma transversal e em um processo contínuo e dinâmico de troca de energia, desencadeado por aspectos condicionados da variabilidade climática anual.

**Figura 5** - Dados de interação e modelo de informação baseado em células hexagonais.



Fonte: Steinke (2021).

A proposta de interação de dados e informações apresentada por Steinke (2021) demonstra um fluxo articular entre os elementos geográficos a partir de uma análise complexa do território. Neste estudo foi estruturada em quatro etapas: a primeira consistiu na seleção da abrangência territorial do domínio mata atlântica e sua base geológico-geomorfológica.

A partir da segunda etapa, o SIG passa a ser utilizado como uma ferramenta importante para a inserção e integração de dados geoespaciais vinculados ao nível da geologia, geomorfologia, vegetação e proteção ambiental. Essa etapa foi realizada por meio de uma matriz, na qual todos os elementos se articulam e interagem de alguma forma.

A figura 6 destaca os elementos utilizados no ambiente SIG e sua estrutura de interação nas células hexagonais. Neste procedimento, cada célula é subordinada a um processo de interação espacial com todos os elementos bióticos e abióticos selecionados e agrupados em categorias. Quanto maior o número de interações presentes em cada célula, maior o grau de diversidade, normalizado entre 0 e 10. A soma total das diversidades gera o índice proposto, chamado de “índice de geobiodiversidade”.

**Figura 6** - Dados da matriz de interação e modelo de informação baseado em células hexagonais.

|                                          |                                                                                     | Componentes Abióticos |     |                |                 |                |     |                   |                 |                |       |                 | Componentes Bióticos |    | Políticas Ambientais |                                   | Índice Proposto                                             |                |    |                |                 |     |   |   |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----|----------------|-----------------|----------------|-----|-------------------|-----------------|----------------|-------|-----------------|----------------------|----|----------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------|----|----------------|-----------------|-----|---|---|
|                                          |                                                                                     | Geologia              |     |                | Geomorfologia   |                |     | Recursos Hídricos |                 |                | Solos |                 | Vegetação e Fauna    |    | Áreas de Proteção    |                                   | Índice de Geobiodiversidade<br>$\sum = Dv_1 + \dots + Dv_n$ |                |    |                |                 |     |   |   |
| Recorte Territorial e Células Hexagonais |  | G <sub>1</sub>        | ..  | G <sub>n</sub> | Dv <sub>1</sub> | R <sub>1</sub> | ..  | R <sub>n</sub>    | Dv <sub>2</sub> | W <sub>1</sub> | ..    | Dv <sub>3</sub> | S <sub>1</sub>       | .. | Dv <sub>4</sub>      | V <sub>1</sub> ... V <sub>n</sub> | Dv <sub>5</sub>                                             | P <sub>1</sub> | .. | P <sub>n</sub> | Dv <sub>6</sub> | 150 |   |   |
|                                          |  | 1                     | ..  | 1              | 10              | 1              | ..  | 1                 | 10              | 1              | ...   | 10              | 1                    | .. | 10                   | 1                                 | ... 1                                                       | 10             | 1  | ..             | 1               | 10  |   |   |
|                                          |  | 1                     | ..  | 0              | 9               | 1              | ..  | 0                 | 9               | 1              | ...   | 9               | 1                    | .. | 9                    | 1                                 | ... 0                                                       | 9              | 1  | ..             | 0               | 9   |   |   |
|                                          |  | 1                     | ..  | 0              | 8               | 1              | ..  | 0                 | 8               | 1              | ...   | 8               | 1                    | .. | 8                    | 1                                 | ... 0                                                       | 8              | 1  | ..             | 0               | 8   | . |   |
|                                          |  | .                     | .   | .              | .               | .              | .   | .                 | .               | .              | ...   | .               | .                    | .  | .                    | .                                 | .                                                           | .              | .  | .              | .               | .   | . | . |
|                                          |  | .                     | .   | .              | .               | .              | .   | .                 | .               | .              | ...   | .               | .                    | .  | .                    | .                                 | .                                                           | .              | .  | .              | .               | .   | . | . |
|                                          |  | 0                     | ... | 0              | 0               | 0              | ... | 0                 | 0               | 0              | ...   | 0               | 0                    | 0  | 0                    | 0                                 | 0                                                           | ...            | 0  | 0              | ...             | 0   | 0 | 0 |

Fonte: adaptado de Steinke (2021).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O primeiro resultado desta investigação está associado ao grau de antropização da área selecionada para o estudo. Esta abordagem é essencial para compreender o processo evolutivo da ocupação humana neste território, tendo como elementos centrais para esta observação a dinâmica geohistórica da área, pois foram exatamente os valores estéticos da paisagem original que forjaram a imagem do Brasil para o mundo.

Diante disso, os dados encontrados são alarmantes, para o recorte territorial específico deste estudo apresenta uma transformação da paisagem original em paisagem antrópica, tendo como premissa teórica a abordagem de paisagens antropogênicas (Ellis; Ramankutty, 2008); (Ellis et al, 2010); (Ellis, 2011); (Ellis, 2015), com dados mais elevados que os diagnosticados para o Bioma Mata Atlântica, que atualmente compreende 28% de remanescentes florestais. (MapBiomas, 2022). Para a área de estudo, restam apenas 12,88% da paisagem original (Quadro 1), o que corresponde a pouco mais de 53 mil hectares. Este dado, por si só, já indica a grande necessidade de identificação,

priorização e classificação dos remanescentes como patrimônio natural.

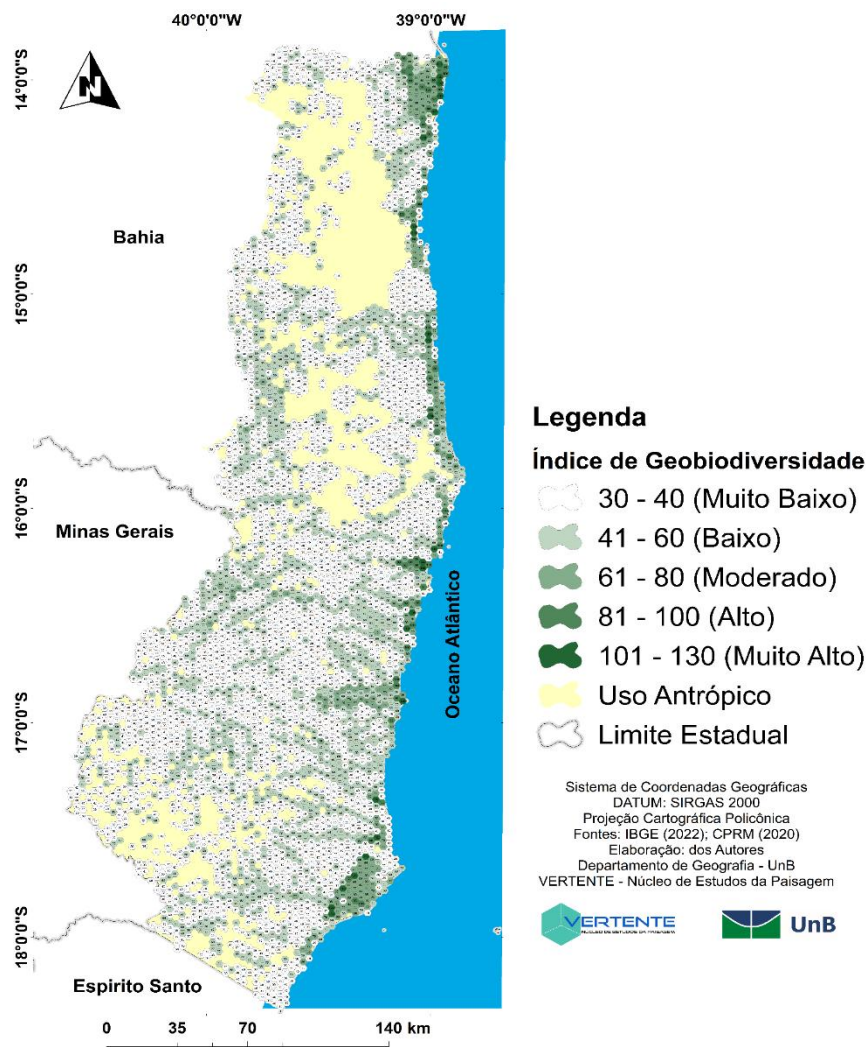
**Quadro 2** - Dinâmica de antropização da área de estudo.

| Classe             | Porcentagem da área de estudo (%) | Tipo                             |
|--------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| Antrópico          | 87,12                             | Uso antrópico                    |
| Manguezais         | 1,23                              | Remanescente de vegetação nativa |
| Restinga arbórea   | 0,45                              |                                  |
| Floresta ou bosque | 11,20                             |                                  |

Fonte: Mapbiomas, 2022.

Neste cenário, de escassez de áreas naturais remanescentes, foi realizado o cruzamento das células hexagonais com a vegetação remanescente com o objetivo de valorizar o índice geral de geobiodiversidade da área 4.269 de 5.579 células hexagonais foram selecionadas. As quais já devidamente com suas respectivas notas individuais são apresentadas e classificadas na figura 7.

Figura 7 - Índice de Geobiodiversidade do litoral sul da Bahia.

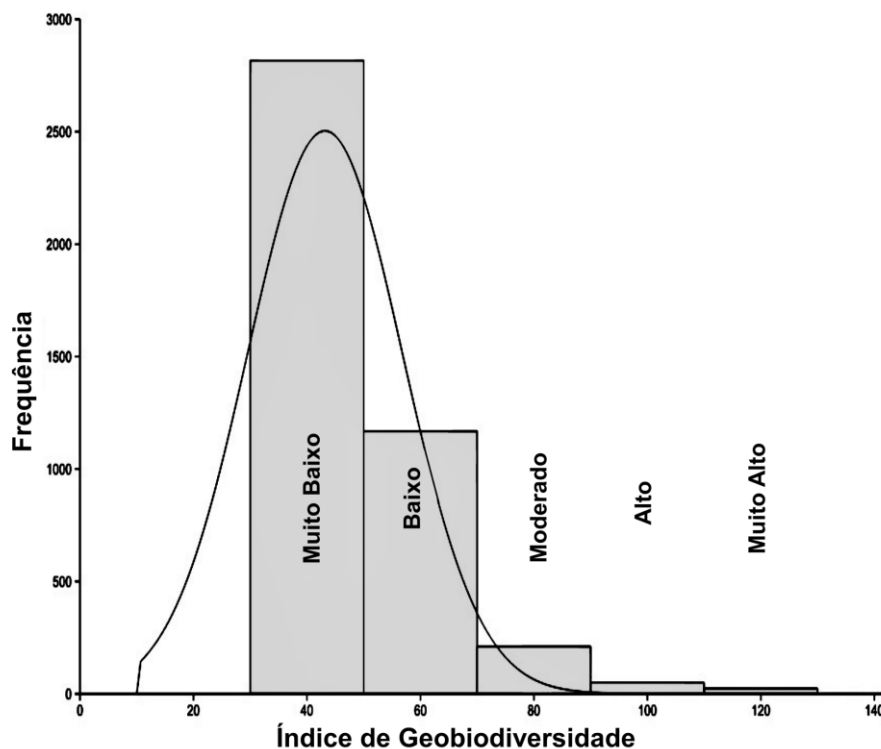


Fonte: CPRM, 2019; GeoBahia, 2023; Elaboração dos Autores, 2023.

Este primeiro mapa, do índice geral de geobiodiversidade, é uma amostra relevante do processo de fragmentação da paisagem original, pois a grande maioria das células hexagonais que aparecem no mapa com valores inferiores a 40 só ocorrem porque há algum tipo de sobreposição com manchas muito pequenas de vegetação nativa, porém não se configuram como áreas de alto potencial de patrimônio natural, principalmente devido aos níveis de isolamento.

Esses números são suportados pela análise de estatísticas espaciais básicas, com a grande maioria das células (61%) com valores baixos e muito baixos na faixa de notas finais do índice de geobiodiversidade, conforme o histograma da figura 8.

**Figura 8** - Histograma referente ao Índice de geobiodiversidade da área de estudo.



Fonte: Autores, 2023.

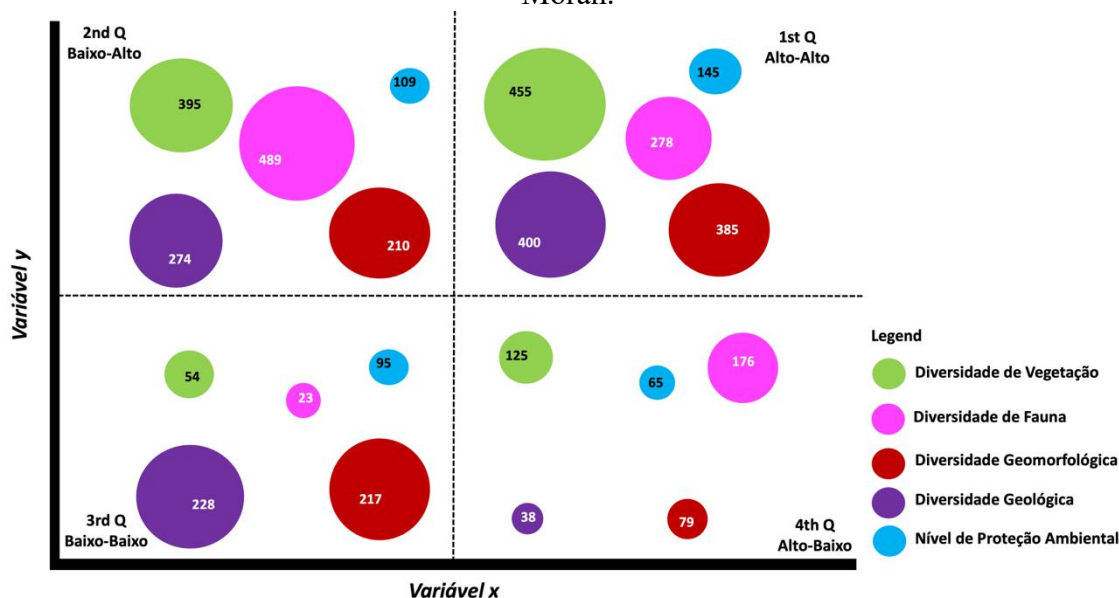
Os indicadores de autocorrelação espacial são especialmente úteis para caracterizar áreas, pois apresentam um valor de associação espacial. Tendo em conta a qualidade dos dados originais, volume de dados e consistência dos dados, para que fosse possível observar diferentes regimes de possível associação espacial, foi utilizado o índice de Moran local ( $I_i$ ), que teve como objetivo testar a autocorrelação local e detectar características espaciais sob a influência do índice global de Moran ( $I$ ); isso é calculado para cada unidade espacial ( $i$ ) com base nos valores normalizados ( $z_i$ ) de cada atributo.

O primeiro resultado desta análise para os dados agrupados foi uma correlação positiva entre as variáveis. Os resultados indicaram que o comportamento  $I_i$  é semelhante em quatro grupos de diversidade usados para obter um índice de geobiodiversidade:  $I_i$  para geodiversidade = 0,452,  $I_i$  para geomorfologia = 0,392,  $I_i$  para vegetação = 0,432 e fauna = 0,323. Essa concordância entre os grupos analisados indica o perfil territorial definido como o “domínio morfoclimático das Mares de Morros” ou “Bioma Mata Atlântica”, ou seja, um padrão de paisagem muito semelhante; outro aspecto que pode explicar esse comportamento diz respeito à escala de análise utilizada, uma escala regional que tende a padronizar elementos do território.

A Figura 9 apresenta, em termos absolutos, o número de células de cada categoria por quadrante de  $I_i$ , evidenciando a alocação preponderante de correlações positivas.

Os dados dos clusters de geodiversidade (geológica e geomorfológica) e biodiversidade (vegetação e fauna) foram destacados, pois estão concentrados principalmente nos quadrantes alto-alto e baixo-alto.

**Figura 9** - Número de células hexagonais por quadrante na distribuição de Moran.



Fonte: Autores, 2023.

Diante dos resultados preliminares encontrados e com a forte demanda para indicar efetivamente as áreas com maior potencial de patrimônio natural na área de estudo, foi aplicado um teste estatístico do grau de confiabilidade e correlação das variáveis utilizadas, tendo como parâmetro estatístico

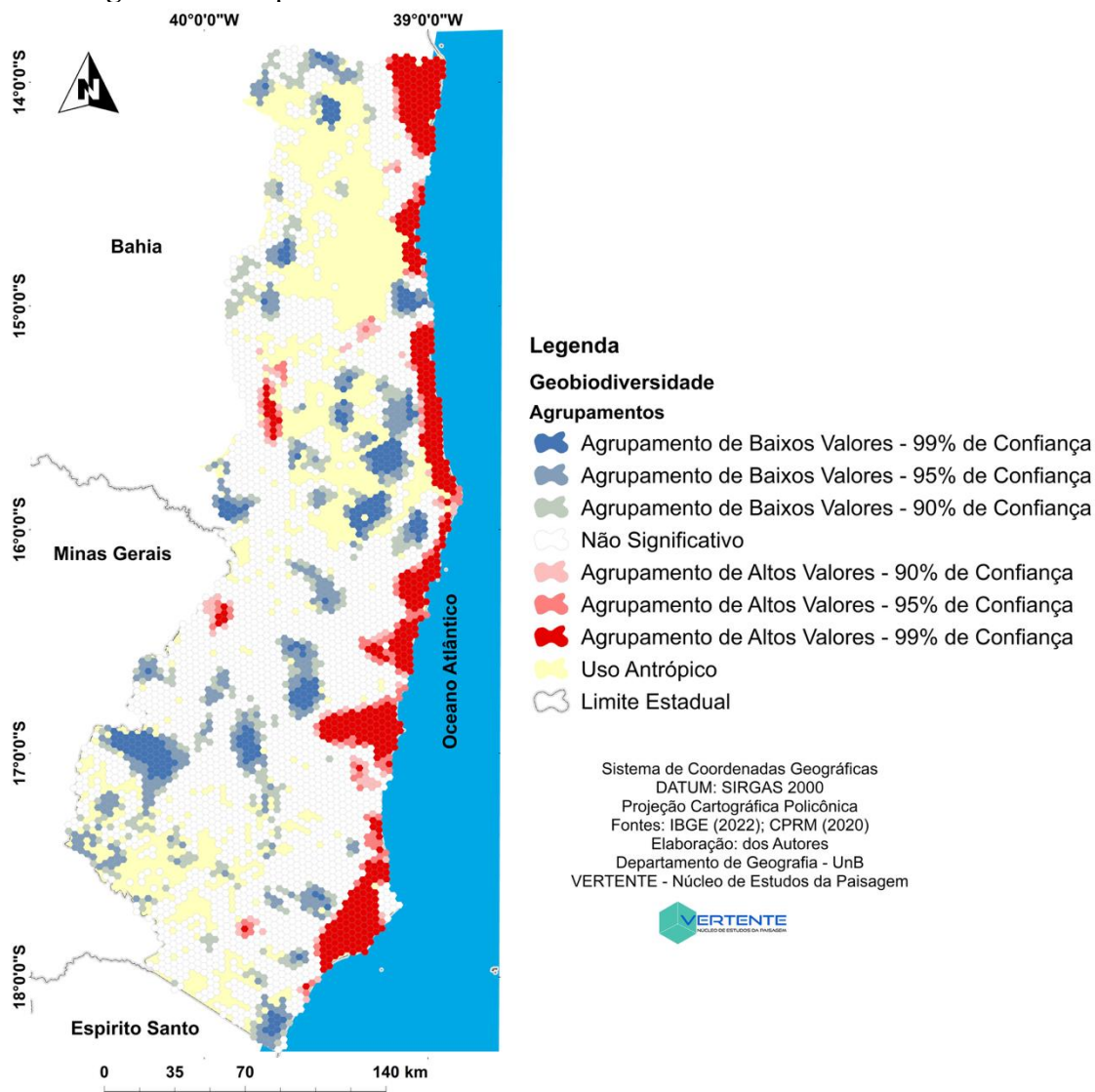
**Quadro 3** - Distribuição de células hexagonais por grau de significância estatística.

| <i>p Value</i>  | <i>Número de células hexagonais</i> | <i>(%)</i> |
|-----------------|-------------------------------------|------------|
| 0.05            | 1,327                               | 24.8       |
| 0.01            | 13                                  | 0.02       |
| 0.001           | 819                                 | 14.6       |
| Not significant | 3,420                               | 61.3       |
| <b>Total</b>    | <b>5,579</b>                        | <b>100</b> |

Fonte: Autores, 2023.

Esta análise de estatísticas espaciais levou à geração de um mapa da área que permitiu representar as células efetivamente potenciais para o patrimônio natural na área de estudo. (figura 101).

**Figura 10 - Mapa de Geobiodiversidade do litoral sul da Bahia.**



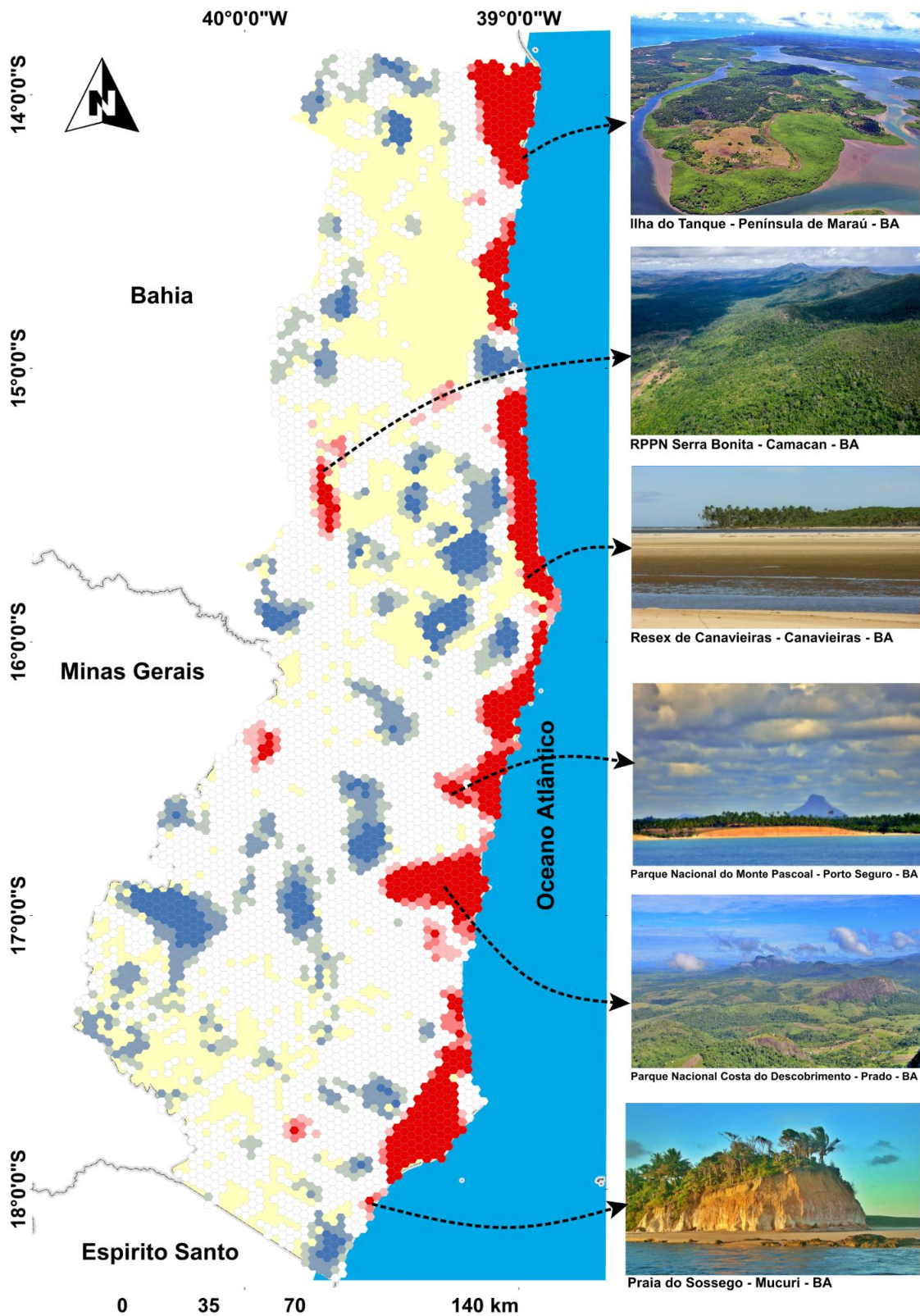
Fonte: CPRM, 2019; GeoBahia, 2023; Elaboração dos Autores, 2023.

Neste mapa de células hexagonais com o índice final de geobiodiversidade, vale ressaltar que a distribuição espacial das células com classificação mais alta se distribuem de acordo com as áreas mais significativas do ponto de vista natural, fato que corrobora a proposta que indicam as áreas potenciais de patrimônio natural, com mais ocorrências na faixa costeira, algumas áreas de montanha e outros núcleos mais isolados na faixa continental definidos pela rugosidade do relevo.

O conjunto de células classificadas como muito altas soma até 819 células, para as quais são recomendados estudos em níveis mais profundos de escala cartográfica e uma identificação mais detalhada de elementos bióticos e abióticos capazes de consolidar aspectos da geobiodiversidade.

Este conjunto de áreas classificadas representa uma importante diversidade de ambientes e paisagens da área de estudo, que nas suas respectivas interligações e dinamizadas pelas relações complexas e dinâmicas das paisagens, podem indicar significativamente os efeitos de causa e efeito, a montante e a jusante, das articulações dos elementos abióticos e bióticos em um mosaico exuberante, como mostra a (figura 12).

**Figura 11** - Mosaico de fotos das áreas identificadas com potenciais para Patrimônio Mundial Natural no litoral sul da Bahia.

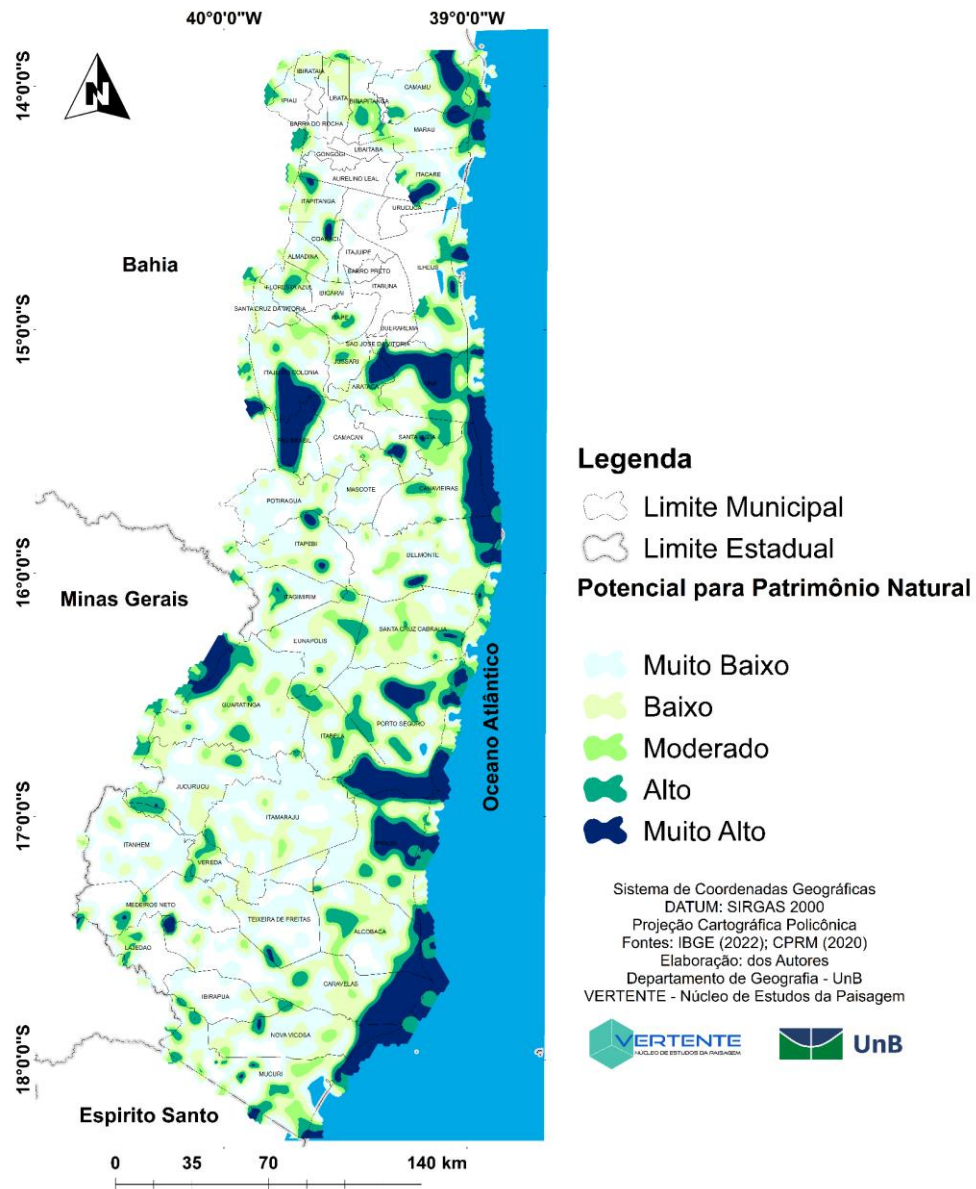


Fonte: CPRM, 2019; Elaboração dos Autores, 2023.

Diante desse cenário, os dados obtidos foram refinados ainda mais para indicar as áreas potenciais para o patrimônio natural com a divisão entre aquelas que já estão

inseridas em alguma modalidade de áreas protegidas e aquelas que estão fora das áreas protegidas (figura 13).

**Figura 12** - Áreas protegidas e áreas não protegidas no litoral sul da Bahia com potencial para Patrimônio Mundial Natural.



Fonte: GeoBahia, 2023; MapBiomias, 2024; Elaboração dos Autores, 2024.

Para efetuar essa classificação mais refinada, adotou-se o método de interpolação espacial das áreas, utilizando como valor o índice de geobiodiversidade de cada célula hexagonal. O resultado não apenas indica as áreas com níveis de prioridade distintos, mas também se configura como um instrumento importante para o planejamento e a gestão do território, com o propósito de criar novos mosaicos de proteção. Isso é especialmente relevante devido ao alto grau de antropização já consolidado na área.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo propõe a integração entre o conhecimento já consolidado como geodiversidade na literatura científica, conforme proposto por Pereira et al. (2013)

Margarida Penteado - Revista de Geomorfologia. v.3 n.1, julho de 2026, p.1-21  
<https://doi.org/10.66049/ISSN2966-2958.v3n1.2026.014>

e Shine et al. (2018), e a incorporação de variáveis biológicas, especialmente a cobertura vegetal original e a fauna ameaçada, como uma evolução do trabalho pioneiro de Steinke (2021), que considerou essencial compreender a complexidade dos ambientes estudados em relação ao patrimônio natural.

A inclusão de variáveis da fauna e das características fitofisionômicas revelou-se fundamental para a consolidação da "coluna de interação", que conecta elementos bióticos e abióticos. Este estudo adota células hexagonais, que têm se mostrado eficientes devido à possibilidade de identificar, por meio da coloração, áreas com maior interação. Qualquer extrapolação geoespacial pode inferir subjetivamente os valores de áreas com pouca diversidade; no entanto, esses hexágonos tornam as conexões entre as células do ambiente circundante mais sutis.

Além disso, a metodologia adotada neste estudo adere à premissa de que a análise geoespacial por meio de células hexagonais oferece uma resolução adequada para capturar nuances nos padrões de interação entre os componentes bióticos e abióticos. Essa abordagem permite discernir padrões de distribuição e correlações que poderiam passar despercebidos em métodos de agregação mais tradicionais. Dessa forma, a escolha das células hexagonais como unidade de análise contribui para a representação mais precisa das inter-relações complexas presentes nos ecossistemas estudados.

É relevante destacar que a utilização das variáveis da fauna e da vegetação original como fatores determinantes na análise espacial responde a uma necessidade de abordagem holística e integrativa. A complexidade inerente aos ecossistemas demanda uma visão que vá além das simples propriedades geológicas e topográficas, considerando as interações entre organismos vivos e seu ambiente físico. Assim, ao considerar tanto os aspectos bióticos quanto abióticos, este estudo se insere em uma abordagem mais completa e abrangente para a avaliação e preservação da biodiversidade e dos processos ecossistêmicos.

A compreensão aprofundada dessas interações complexas tem implicações significativas para o manejo e a conservação de áreas naturais. Ao elucidar as conexões entre os elementos biológicos e as características do ambiente físico, este estudo proporciona uma base sólida para o desenvolvimento de estratégias de conservação mais eficazes e direcionadas. A identificação de áreas de alta interação, reveladas pelas células hexagonais, possibilita uma alocação mais precisa dos recursos de preservação, maximizando o impacto positivo das ações de conservação.

Além disso, a abordagem adotada neste estudo também contribui para a valorização da complexidade intrínseca dos ecossistemas e para a promoção de um entendimento mais profundo das interligações entre os componentes bióticos e abióticos. Ao considerar a geodiversidade em conjunto com a biodiversidade, surge uma perspectiva mais completa da dinâmica ambiental, essencial para uma gestão efetiva e sustentável dos recursos naturais. Portanto, este trabalho não apenas avança na metodologia de análise geoespacial, mas também oferece uma contribuição substancial para a compreensão das relações entre a natureza física e biológica, informando estratégias para a preservação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos.

## REFERÊNCIAS

BANCO DO NORDESTE DO BRASIL (BNB). Perfil socioeconômico da Bahia. Fortaleza: BNB, 2015.

BENEDICT, M. MCMAHON, E. FUND, T. BERGEN, L. (2006). Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities. Bibliovault OAI Repository, the University of Chicago Press. 22.

BRILHA, J., GRAY, M., PEREIRA, D. I., PEREIRA, P. Geodiversity: an integrative review as a contribution to the sustainable management of the whole of nature. *Environ Science Policy*, 86:19–28. (2018).

BROWN, J. MITCHELL, N. J. BERESFORD, M. (Eds.). The protected landscape approach: linking nature, culture and community. IUCN. (2005).

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. Principles of geographical information systems. Oxford: Oxford University Press, 1998.

DELGADO, I. M. et al. Província Tocantins. In: BIZZI, L. A. et al. (org.). Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil. Rio de Janeiro: CPRM, 2003. p. 281–292.

DUDLEY, N. STOLTON, S. (eds) (2008). Defining protected areas: an international conference in Almeria, Spain. Gland, Switzerland: IUCN. 220 pp. Disponível em: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2008-106.pdf>

ELLIS, E. C. Sustaining biodiversity and people in the world's anthropogenic biomes. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 5, p. 368–372, 2013.

FAHRIG, L. (2003). Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 34(1), 487–515.  
<https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419>

FEJES TÓTH, L. Regular figures. Oxford: Pergamon Press, 1964.

FERREIRA, M. L. M. Patrimônio: discutindo alguns conceitos. *Diálogos*, v. 10, n. 3, p. 79–88, 2006.

FOODY, G. M. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, v. 80, n. 1, p. 185–201, 2002.

GOODCHILD, M. F. Geographical information science. *International Journal of Geographical Information Systems*, v. 6, n. 1, p. 31–45, 1992.

HADDAD, N.M., BRUDVIG, L.A., CLOBERT, J., et al., 2015. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Sci. Adv.* 1 (2), e1500052. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500052>.

IBGE. Divisão do Brasil em mesorregiões e microrregiões geográficas. Rio de Janeiro, 1992.

IUCN. International Union for Conservation of Nature. Issues Brief: Natural World Heritage. November, 2018. Disponível em: [https://www.iucn.org/sites/dev/files/natural\\_world\\_heritage\\_issues\\_brief\\_final.pdf](https://www.iucn.org/sites/dev/files/natural_world_heritage_issues_brief_final.pdf)  
acesso em 01/11/2020.

JOKILEHTO, J. Considerations on authenticity and integrity in World Heritage context. *City & Time*, v. 2, n. 1, 2006.

KAMGAR-PARSI, B. et al. Quantization error in spatial sampling. In: CVPR Proceedings, 1989.

Margarida Penteado. Revista de Geomorfologia, v. 12, n. 1, junho de 2020, p. 22  
<https://doi.org/10.66049/ISSN2966-2958.v3n1.2026.014>

LONGLEY, P. A. et al. Geographic information science and systems. 4. ed. Hoboken: Wiley, 2015.

MORAN, P. A. P. Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika*, v. 37, p. 17–23, 1950.

OSIPOVA, E., WILSON, L., BLANEY, R., SHI, Y., FANCOURT, M., STRUBEL, M., SALVATERRA, T., BROWN, C., VERSCHUUREN, B. (2014). The benefits of natural World Heritage: Identifying and assessing ecosystem services and benefits provided by the world's most iconic natural places. Gland, Switzerland: IUCN. vi + 58 pp.

PORTAL SEIGeo. Mesorregião Geográfica - Sul Baiano - 1:750.000 - Raster - 2015 - SEI. Disponível em:  
<https://metadados.ide.ba.gov.br/geonetwork/srv/api/records/f171826c-c914-4c88-9217-3e9354f074b6>

SAHR, K. Hexagonal discrete global grid systems. *Archives of Photogrammetry*, v. 22, p. 363–376, 2011.

STEINKE, V. A. Proposal for a geobiodiversity index. *Geoheritage*, v. 13, p. 59, 2021.

TEIXEIRA, A. C. O. et al. Análise da dinâmica de uso da terra. *Revista Geoaraguaia*, p. 42–55, 2013.

TEIXEIRA, A.C. de O. ALMEIDA, T. M. de. MOUREAU, M. S. MOREAU, A. M. S. dos S. ANÁLISE DA DINÂMICA DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO RIO DE CONTAS – BAHIA, ENTRE OS ANOS DE 1973 a 2001. *Revista Eletrônica Geoaraguaia*. Barra do Garças-MT. Edição Especial. p. 42 - 55. Setembro, 2013.

TOMLINSON, R. Thinking about GIS. Redlands: ESRI Press, 2007.

UNESCO. Convention concerning the protection of the world cultural and natural heritage. Paris, 1972.