

Uso de geotecnologias na análise do índice de geodiversidade do Parque Estadual Cunhambebe (PEC) – RJ

Use of geotechnologies in the analysis of the geodiversity index of parque estadual Cunhambebe (PEC) – RJ

Uso de geotecnologías en el análisis del índice de geodiversidad del Parque Estadual Cunhambebe (PEC) – RJ

Vivian Castilho da Costa¹ , Nadja Maria Castilho da Costa¹ ,
Raphael de Oliveira Fernandes¹ 

¹ Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

RESUMO

O Índice de Geodiversidade vem sendo mapeado com auxílio do geoprocessamento sendo um importante instrumento na geoconservação dos aspectos abióticos, principalmente para o geoturismo em área protegida. O objetivo da pesquisa foi realizar uma análise comparativa entre dois métodos quali-quantitativos em SIG (Kernel e AHP/multicritério) para gerar o Índice de Geodiversidade do Parque Estadual Cunhambebe (PEC), localizado na Costa Verde do Estado do Rio de Janeiro. Foram estipuladas cinco classes de geodiversidade em ambos os métodos que apresentaram resultados praticamente semelhantes. No método AHP/multicritério as classes de muito alto a alto índice ocorreram em 38% do PEC e índices de muito baixo a baixo em 41% da área, muito parecidos com os percentuais apresentados pelo método Kernel. No entanto, algumas das áreas apresentaram inversão de ocorrência em classes de alta/muito alta para baixa/muito baixa quando comparados os dois métodos. Concluiu-se que o método AHP/multicritério se mostra mais eficiente em escalas regionais ou de semidetalhe, destacando áreas no PEC com relevância maior das características físicas de sítios da geodiversidade, enquanto o método Kernel é mais adequado em escalas mais detalhadas, destacando geossítios de relevância científica.

Palavras-chave: Índice; Geodiversidade; Geoprocessamento

ABSTRACT

The geodiversity index has been mapped with the help of geoprocessing, being an important instrument in the geoconservation of abiotic aspects, mainly for geotourism in protected areas. The objective of the research was to carry out a comparative analysis between two qualitative and quantitative methods

in GIS (Kernel and AHP/multicriteria) to generate the geodiversity index of the Parque Estadual Cunhambebe (PEC), located in the Costa Verde of the State of Rio de Janeiro. Five classes of geodiversity were stipulated in both methods, which presented practically similar results. In the AHP/multicriteria method, classes from very high to high index occurred in 38% of the PEC and indices from very low to low in 41% of the area, very similar to the percentages presented by the Kernel method. However, some of the areas showed inversion of occurrence in classes from high/very high to low/very low when comparing the two methods. It was concluded that the AHP/multicriteria method is more efficient at regional or semi-detail scales, highlighting areas in the PEC with greater relevance of the physical characteristics of geodiversity sites, while the Kernel method is more suitable at more detailed scales, highlighting geosites of scientific relevance.

Keywords: Index; Geodiversity; Geoprocessing

RESUMEN

El índice de geodiversidad ha sido mapeado con ayuda de geoprocésamiento, siendo un instrumento importante en la geoconservación de aspectos abióticos, principalmente para el geoturismo en áreas protegidas. El objetivo de la investigación fue realizar un análisis comparativo entre dos métodos cualitativos y cuantitativos en SIG (Kernel y AHP/multicriterio) para generar el índice de geodiversidad del Parque Estadual Cunhambebe (PEC), ubicado en la Costa Verde del Estado de Rio de Janeiro. En ambos métodos se estipularon cinco clases de geodiversidad, que presentaron resultados prácticamente similares. En el método AHP/multicriterio, se presentaron clases de índice muy alto a alto en el 38% del PEC e índices de muy bajo a bajo en el 41% del área, porcentajes muy similares a los presentados por el método Kernel. Sin embargo, algunas de las áreas mostraron inversión de ocurrencia en clases de alto/muy alto a bajo/muy bajo al comparar los dos métodos. Se concluyó que el método AHP/multicriterio es más eficiente a escalas regionales o de semidetalle, destacando áreas en el PEC con mayor relevancia de las características físicas de los sitios de geodiversidad, mientras que el método Kernel es más adecuado a escalas más detalladas, destacando geositios de relevancia científica.

Palabras-clave: Índice; Geodiversidad; Geoprocésamiento

1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, a proteção do patrimônio natural torna-se imprescindível, diante de sua crescente delapidação e por considerarmos que tal patrimônio vê no turismo ambiental um dos principais responsáveis pela valorização de seus atributos físicos, quais sejam: geológicos, geomorfológicos, pedológicos, hidrológicos e ecológicos. No que diz respeito à valorização e conservação dos atributos do meio abiótico, tem-se a geodiversidade e a geoconservação.

De acordo com Gray (2005 e 2013), a geodiversidade pode ser definida como a diversidade geológica (rochas, minerais e fósseis), geomorfológica (forma do relevo,

processos físicos) e características pedológicas presentes em um meio natural. Pessoa *et al.* (2019), em sua análise sobre a geodiversidade em trilhas que compõem o Parque Nacional da Serra dos Órgãos (RJ), destacam a importância da utilização de uma visão holística e sistêmica da diversidade em áreas protegidas, o que envolve “as características abióticas, bióticas, históricas, culturais e sociais”. Afirmam que a “geodiversidade é representada pela variedade de rochas, minerais, fósseis, formas de relevo, sedimentos, solos e hidrografia, juntamente com os processos naturais que os formam e alteram” (Pessoa *et al.*, 2019, p.2).

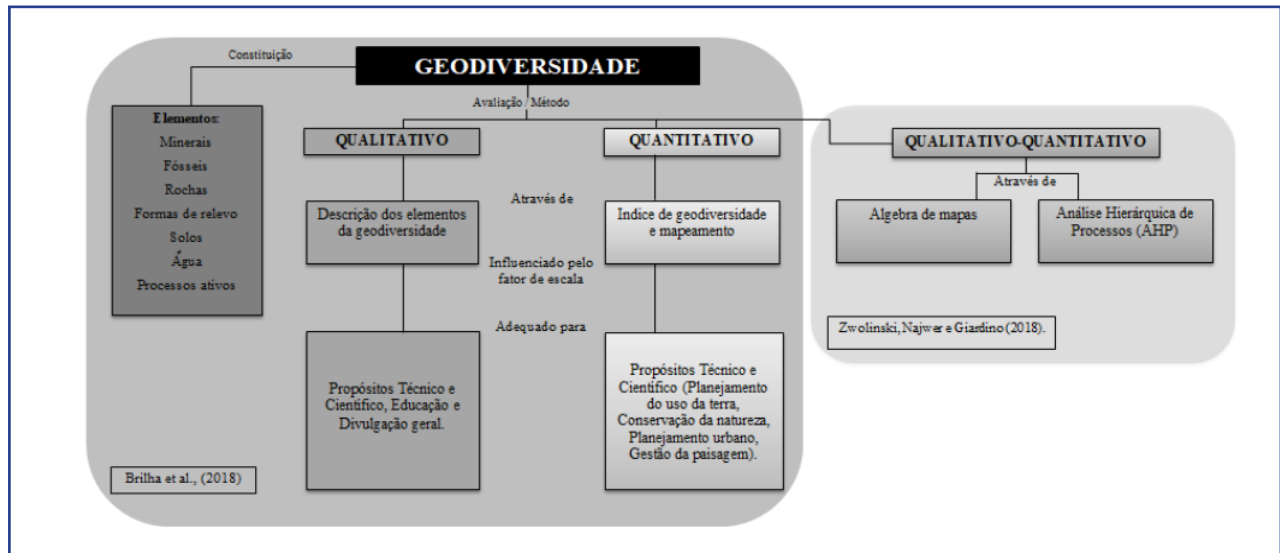
Ageodiversidade, por sua vez, está atrelada à geoconservação, pois segundo Sharples (2002), tem como meta proteger a diversidade dos elementos abióticos relacionados aos processos e feições geológicas (substratos), geomorfológicas (paisagem) e de solos, garantindo a manutenção da história de sua evolução em aspectos de velocidade e magnitude. Araújo; Silva; Aquino (2019, p. 217), em seu artigo sobre “A geoconservação no Brasil”, destacam que, para a geoconservação efetivamente acontecer, um conjunto de medidas devem ser tomadas, dentre elas, o conhecimento da geodiversidade local e a valorização e divulgação do patrimônio geológico junto às comunidades locais. É importante frisar que, no referido conhecimento da geodiversidade, todos os aspectos anteriormente mencionados, devem ser devidamente avaliados.

Os estudos sobre mapeamento do Índice de Geodiversidade balizados na utilização do geoprocessamento, como os abordados por Stanley (2000), Gray (2005, 2013 e 2018), Pereira *et al.* (2013), Brilha (2016) e Brilha *et al.* (2018), vem ganhando novas dimensões, por combinar os diversos aspectos naturais utilizando álgebra de mapas (análises quantitativas) por Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Segundo Gray (2013), Brilha (2016) e Brilha *et al.* (2018), existem dois métodos de avaliação da geodiversidade: a qualitativa e a quantitativa. Na avaliação qualitativa, parâmetros ou variáveis são inventariados através de avaliações observadas sobre as características e valores nos sítios e paisagens de relevância geológica ou geossítios, com o objetivo de geoconservação desses elementos. Na quantitativa, através do uso de geoprocessamento é possível gerar o mapeamento do Índice de Geodiversidade. Mas, de acordo com Zwolinski; Najwer; Giardino (2018), existe mais uma forma de

avaliar a geodiversidade que é a avaliação híbrida, ou seja, o método qualitativo-quantitativo, que pode ser realizada por SIG utilizando interpoladores, álgebra de mapas e Análise Hierárquica de Processos - AHP (figura 1).

Figura 1 – Métodos de avaliação da Geodiversidade

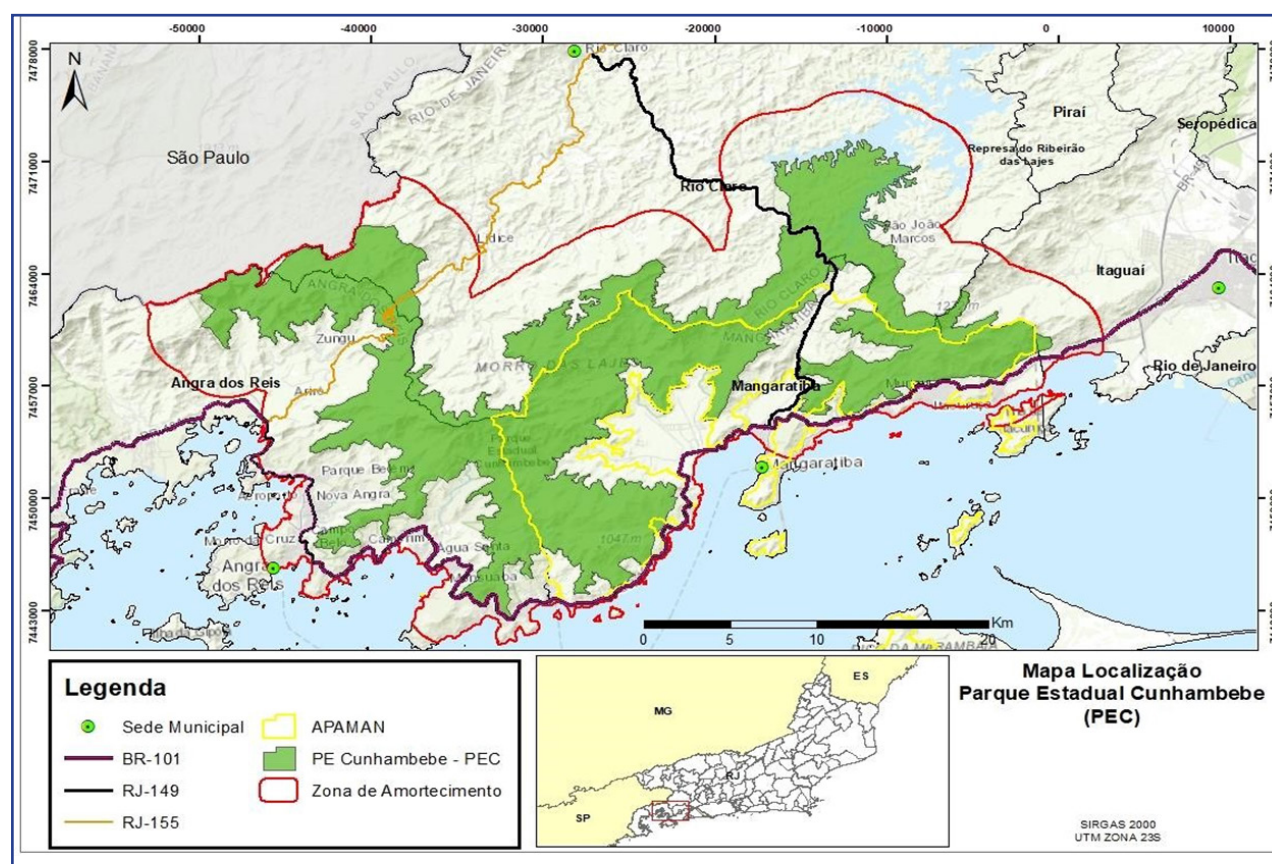


Fonte: Autores (2023), adaptado de Brilha *et al.* (2018) e Zwolinski; Najwer; Giardino (2018)

É neste contexto que se insere o presente trabalho, cujo objetivo foi realizar uma análise comparativa entre dois métodos quali-quantitativos do Índice de Geodiversidade, por geoprocessamento, visando avaliar quais dos dois métodos é o mais adequado para a área em estudo - o Parque Estadual do Cunhambebe (PEC) -, uma das mais importantes unidades de conservação de proteção integral localizada na região da Costa Verde do Estado do Rio de Janeiro, abrangendo os municípios de Mangaratiba, Itaguaí, Rio Claro e Angra dos Reis (figura 2).

O mapeamento pelo método quali-quantitativo do Índice de Geodiversidade poderá proporcionar bases para políticas públicas voltadas ao aumento do conhecimento científico dos locais mais aptos a realização de atividades do turismo na natureza, a exemplo do geoturismo e sua integração com o ecoturismo já realizado no PEC e zona de amortecimento, assim como projetos que busquem a certificação de Geoparque da UNESCO para a região da Costa Verde.

Figura 2 – Localização do Parque Estadual Cunhambebe (PEC) e sua Zona de Amortecimento (região da Costa Verde – RJ)



Fonte: Autores (2023)

O PEC possui aspectos físicos de grande relevância para o geoturismo nas áreas destinadas ao uso público como excelente estratégia de geoconservação (Silva; Aquino; Aquino, 2022), por ter a presença de atrativos naturais como: cachoeiras, rios, relevos propícios a prática de atividades esportivas (turismo de aventura), mirantes que vislumbram paisagens de vales, morros, picos e escarpas, entre outros, sendo relevantes para o conhecimento científico e atividades de lazer ou recreação.

As características físicas citadas por Gray (2005 e 2013) e retrabalhadas metodologicamente através de geoprocessamento por Gonçalves *et al.* (2020 e 2022), foram referências bibliográficas essenciais para o método quantitativo do mapeamento e análise por SIG do Índice de Geodiversidade do PEC, visando contribuir à sua geoconservação, que apoiará à tomada de decisão, por parte dos gestores.

Os estudos de Silva *et al.* (2013), Brilha (2016), Oliveira (2017), Souza (2017),

Santos *et al.* (2017) e Fernandes (2019), demonstraram ser essenciais a elaboração da cartografia da geodiversidade, além de associá-la aos mapeamentos do potencial geoturístico, no contexto de uma visão sistêmica, integrada e complexa da paisagem.

Os métodos AHP e Análise Multicritérios, para fins de mapeamento do Índice de Geodiversidade, foram comparados com o resultado do índice pelo método Kernel apresentados na presente pesquisa. O uso do método quantitativo da AHP/multicritérios é ainda pouco explorado para o Índice (Zwolinski; Najwer; Giardino, 2018), mas, a sua comparação com o método Kernel não possui bibliografia a respeito, o que torna o presente trabalho inovador.

2 ETAPAS METODOLÓGICAS

Para atingir o objetivo proposto de realização do Índice de Geodiversidade no PEC, foram desenvolvidas 4 (quatro) etapas metodológicas, descritas a seguir.

2.1 Etapa 1: Levantamento de materiais para a criação do banco de dados geoespacial, por técnicas de geoprocessamento

Foram utilizadas bases vetoriais convertidas para raster, em escalas compatíveis com a resolução de 30 m, além de métodos de análises espaciais em SIG.

Para o mapeamento do Índice de Geodiversidade do PEC foram obtidas as bases cartográficas digitais, a partir de consultas aos órgãos públicos, em banco de dados geoespaciais (BDG) disponíveis pela INDE-IBGE¹; pelo Portal GEOINEA² e pelo Plano de Manejo do Parque Estadual Cunhambebe (INEA, 2015).

Foi utilizado em gabinete Sistema de Informação Geográfica (SIG) ArcGIS®, através de licença educacional pertencente ao Laboratório de Ensino de Geografia (LABGEO) do Instituto de Geografia da UERJ, além de aparelho GPS da marca Garmin Montana 680 e o aplicativo Wikiloc® para a coleta de dados em campo.

Como a área do PEC abrange quatro municípios do Estado do Rio de Janeiro,

¹ Visualizador de Mapas da INDE (IBGE), disponível em: <https://inde.gov.br/visualizadormapas>.

² Portal GEOINEA, disponível em: <https://geoportal.inea.rj.gov.br/portal/apps/experiencebuilder/experience/?id=811a0feace564581afae2f9149b8031d>

optou-se por realizar, inicialmente, todos os métodos de mapeamento através do limite territorial das bases cartográficas dos municípios de Angra dos Reis, Mangaratiba, Rio Claro e Itaguaí, disponíveis no Portal GEOINEA. Após a elaboração dos mapeamentos do Índice de Geodiversidade, considerando esses quatro municípios, foi utilizada a ferramenta *Extraction – Extract by Mask* do ArcGIS® para recortar o resultado, apenas para os limites do PEC.

No BDG foram utilizados os principais Planos de Informação (PI) para a realização do mapa de Índice de Geodiversidade que são denominados de subíndices: Geomorfologia (INEA, 2010), Pedologia (EMBRAPA, 2016), Geologia/Litolologia (INEA, 2010) e Estrutura Geológica (Heilbron; Eirado; Almeida, 2016), constituindo o banco de dados geográfico (BDG) no ArcGIS®. A escolha de tais subíndices para gerar o mapeamento do Índice de Geodiversidade no PEC se baseou em estudos de Silva; Nascimento; Mansur (2020) e Oliveira Jr. (2023). Não há restrições no uso de outros subíndices do meio abiótico, como por exemplo corpos d'água (lagos e lagoas), mineração, declividade, dentre outros. Mas, os fatores que possuem maior relação com a geodiversidade e mais citados em bibliografias sobre o Índice de Geodiversidade são, principalmente, os que foram aplicados na presente pesquisa.

Tais subíndices foram utilizados nas duas metodologias (Kernel e AHP/multicritérios), abordadas nas etapas 2 e 3.

2.2 Etapa 2: Elaboração do Índice de Geodiversidade pelo método Kernel

Foi elaborado o mapa de Índice de Geodiversidade do Parque Estadual do Cunhambebe (PEC) pelo método de estimativa de densidade, com a ferramenta de interpolação Kernel no ArcGIS®, baseados nos trabalhos realizados por Forte *et al.* (2018) e Soares Filho (2019).

Como a disponibilidade e/ou coleta de dados é complexa, dificultando muitas vezes o desenvolvimento de pesquisas, a interpolação por SIG facilita a representação da superfície terrestre a partir da amostragem de pontos. Outra característica da interpolação é que possibilita a espacialização da informação para toda uma área de estudo, mesmo quando o dado utilizado não abrange toda a área. A interpolação

através do método Kernel é o processo de estimar valores desconhecidos que estão entre valores conhecidos. Para Soares Filho (2019), durante o processo Kernel uma superfície suavemente curva é inserida em cada ponto (centroides). O valor da superfície é mais alto na localização central do ponto e diminui com o aumento da distância do ponto, chegando à zero na distância do raio de busca do ponto.

Com os PI (subíndices de geodiversidade) definidos, foi realizada a conversão de todos os dados para o sistema de coordenadas SIRGAS 2000, UTM Zona 23S. A etapa posterior à conversão da referência espacial dos dados é a união, ou seja, a sobreposição de todas as camadas dos PI (subíndices) em único dado através da ferramenta *Overlay – Union*.

Em seguida, com todos os PI (subíndices) agrupados em uma única camada vetorial, foi utilizada a ferramenta *Feature to Point*. Com essa ferramenta foram criados pontos (agrupados em arquivo vetorial do tipo *shapefile*) para gerar os centroides em cada feição, que permitem a aplicação do Kernel. Como o Kernel calcula a densidade de pontos amostrais, é necessário gerar esses centroides no formato de pontos. Com os centroides gerados, foi selecionada a ferramenta *Density – Kernel Density* para aplicação do Kernel.

Soares Filho (op. cit.) destaca ainda que a densidade é dada pela soma dos “n” eventos em cada um dos centroides gerados. Dessa forma, quanto mais próximos os centroides estiverem espacialmente, maior será a densidade obtida. No caso do presente estudo, quanto maior a densidade obtida, maior o Índice de Geodiversidade.

Como o dado gerado foi no formato matricial (raster), foi definida uma resolução da célula de entrada (*Output cell size*) para esse novo dado. A resolução definida para todos os mapeamentos foi a de 30 metros. Outra opção definida foi o raio de pesquisa dos centroides, sendo selecionada a opção de 1500 metros onde será o raio de pesquisa dentro do qual será calculada a densidade.

2.3 Etapa 3: Elaboração do Índice de Geodiversidade pelo método AHP e Análise Multicritérios

Esta etapa consistiu em realizar o mapeamento do Índice de Geodiversidade através do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), também denominado de Análise

Hierárquica de Pesos, e da Análise Multicritérios. O método AHP e a Análise Multicritérios foram baseados nos estudos de Oliveira (2017), Souza (2017) e Fernandes (2019).

De acordo com Silva; Nunes (2009) e Faria; Augusto (2013), o método *Analytisc Hierarchy Process* - AHP (SAATY, 1990) é baseado na construção de um sistema hierárquico para auxiliar na tomada de decisão, sendo composta por níveis e subníveis de acordo com a importância relacionada ao objetivo principal (conhecimento do fenômeno) a ser trabalhado. Ainda segundo esses autores, na AHP uma matriz de comparação é elaborada com os fatores envolvidos no estudo, sendo estabelecida uma importância relativa de cada fator sobre o outro, mas não descarta o conhecimento empírico sobre o recorte espacial.

Portanto, no presente estudo foram elaboradas matrizes de comparação (par a par) para cada nível hierárquico, sendo estabelecida importância relativa entre cada fator e os resultados da matriz foram ponderados entre si. A AHP, por se tratar de um método que apresenta resultados satisfatórios, pode ser aplicado tanto em pesquisas que envolvem análises multicritérios em SIG de áreas de risco a desastres naturais, vulnerabilidades, fragilidades, suscetibilidades (Meirelles; Dourado; Costa, 2018), quanto voltadas à gestão e planejamento ambiental das várias modalidades do turismo em áreas naturais e/ou protegidas, além do manejo de áreas silvestres (Pinto; Costa, 2012 e Costa; Costa, 2015).

Ao final do método AHP, foram definidos os pesos de cada plano de informação com relação ao objetivo principal do estudo – Índice de Geodiversidade.

O primeiro passo para a construção da matriz foi selecionar os dados que possuam correlação com o conceito de geodiversidade (Stanley, 2001 e Gray, 2005 e 2018). Da mesma forma que na metodologia pela densidade Kernel, para a metodologia AHP/ multicritérios foram selecionados os seguintes planos de informação: Geomorfologia, Solos, Geologia/Litologia, Drenagem e Estrutura Geológica.

Em seguida, todos os planos de informação foram convertidos para o Datum SIRGAS 2000, Sistema de Coordenadas Planas (UTM) e Zona 23S. Na sequência, os dados convertidos para o formato matricial (raster) foram inseridos na matriz de pareamento do método AHP, onde foram atribuídos os julgamentos. Nessa etapa é que os planos de informação recebem os valores de importância e são identificados os pesos de cada uma das variáveis do estudo

para atingir o objetivo principal, no caso do presente estudo o Índice de Geodiversidade.

De acordo com Pinese Jr.; Rodrigues (2012), com a matriz de pareamento construída, os fatores (planos de informação) foram julgados em pares, avaliando o grau de importância de um sobre o outro, com base na escala da intensidade de importância.

Quando os fatores são iguais, sempre é atribuído valor de julgamento 1. Com fatores diferentes, é atribuído um valor numérico inteiro ao fator que for considerado mais importante para atingir o objetivo principal, que foi representado na forma numérica inversa para aquele fator que recebeu um julgamento de importância inferior. Para atribuir os julgamentos nas variáveis, foi utilizada a escala da intensidade de importância desenvolvida por Saaty (1990).

Foi utilizado o *plugin* extAHP20 no ArcGIS®. Esse complemento permite ao usuário inserir os valores do julgamento e, após isso, de forma automática, demonstra os pesos de cada plano de informação para elaboração do mapeamento desejado.

Após atribuir o valor dos julgamentos foram avaliados, de forma automática pelo *plugin* extAHP20, o índice de consistência (IC) dos dados e realizado o cálculo da razão de consistência (RC) onde é medida a variação dos julgamentos atribuídos pelo usuário.

Caso a RC não ultrapasse o valor de 0,1, o *plugin* extAHP20 considera que os julgamentos foram coerentes e permite a continuidade do processo para gerar o mapeamento a partir dos pesos que cada variável recebeu. Quando o valor da RC for superior a 0,1, é recomendada a construção da matriz de pareamento.

Com o método AHP finalizado e os pesos dos planos de informação definidos, foi iniciada a Análise Multicritérios, etapa na qual foram atribuídas notas de 1 a 5 em cada classe de cada um dos planos de informação, sendo atribuída nota 1 para a classe com menor importância para o Índice de Geodiversidade e as notas posteriores até 5 (cinco), conforme vai aumentando a importância para o Índice de Geodiversidade.

Com a exceção da drenagem, todos os planos de informação tiveram suas classes como referência para atribuir as notas da Análise Multicritérios. A drenagem, como são apenas linhas representando os cursos de água, não existiu inicialmente uma referência para que a Análise Multicritérios fosse realizada. Foi então criada uma coluna na tabela

de atributos e calculada a extensão em metros para cada curso de água.

Para a atribuição das notas pela extensão dos rios, foi considerada a extensão do curso de água e sua importância para a população local, seja pelo abastecimento de água e utilização para a agricultura ou pela atratividade turística com áreas de recreação ou cachoeiras.

Dessa forma, os cursos de água foram divididos em cinco classes, dentre as quais: 0,377 – 258,40 m / 258,41 – 579,31 m / 579,32 – 1046,69 m / 1046,70 – 1843,71 m / 1843,72 – 4014,85 m. Cabe ressaltar que para o subíndice “Drenagem” foram atribuídas de forma crescente as classes de canais de drenagem, sendo a menor nota para a menor faixa (extensão em metros) dos cursos de água e assim por diante, até chegar à maior nota para a maior faixa de cursos de água (abrangendo suas nascentes e reservatórios).

As notas foram atribuídas através do método *Delphi* (Moura, 2007), em consenso com os pesquisadores envolvidos no presente estudo, a cada um dos planos de informação (subíndices). Cada PI (subíndice) foi convertido da estrutura vetorial para a raster e as classes com notas semelhantes foram agrupadas para que pudessem ser utilizados na álgebra de mapas (média ponderada da Análise Multicritérios no ArcGIS® pela ferramenta *Raster Calculator*) com os seus devidos pesos atribuídos no método AHP do presente estudo.

Com os pesos definidos pelo método AHP e as notas da Análise Multicritérios, divididos pelo número total de planos de informação (n), foi confeccionado o mapa de Índice de Geodiversidade, através da ferramenta *Map Algebra – Raster Calculator* ou álgebra de mapas, conforme a equação (E):

$$E = (PI1 * peso) + (PI2 * peso) + (PI3 * peso) + (...) / n (\text{número total de PI}) \quad (1)$$

onde:

E = Equação;

PI = Plano de Informação.

Os avanços experimentais em Sistema de Informação Geográfica (SIG), realizados nas etapas 2 e 3 possibilitaram análises metodológicas comparativas, utilizando o interpolador Kernel por este ser o método mais frequentemente utilizado por pesquisadores, como Forte *et al.* (2018), Brilha *et al.* (2018) e Soares Filho (2019), além do método de análise hierárquica por pesos (AHP) associado à notas (média

ponderada pela Análise Multicritérios).

Tal comparativo dos dois métodos do Índice de Geodiversidade em SIG, propiciou análises sobre o recorte espacial da pesquisa (PEC) na escala de 1:250.000 (equivalente a resolução de 30 m das bases cartográficas convertidas em raster).

2.4 Etapa 4: Realização do inventário dos acessos (estradas e trilhas destinadas ao uso público) do PEC

Foram realizados trabalhos de campo na área de estudo durante os anos de 2022 e 2023, pois, devido à pandemia da Covid-19, em 2020 e 2021, ficou inviável realizar um inventário detalhado no interior da UC, principalmente nas áreas com atratividade para Geoturismo.

No inventário de campo foram considerados os mapeamentos dos acessos das estradas principais (BR-101, RJ-149 e RJ-155) que se iniciam na zona de amortecimento. Nas 9 (nove) trilhas de uso público que se inserem nas zonas de conservação (ZC-1 e ZC-2) definidas no Plano de Manejo (INEA, 2015) do Parque Estadual Cunhambebe (PEC), foram percorridas 3 (três): Trilha do Curumim, Trilha do Caminho das Águas e Trilha da Cachoeira Véu da Noiva. Nestes locais foram inventariados 5 (cinco) pontos amostrais de atrativos turísticos e que são potenciais geossítios: Mirante Imperial e Cachoeira dos Escravos (Serra do Piloto); Poço das Borboletas (na trilha do Caminho das Águas), ruínas no rio Sahy (na trilha do Curumim) e Cachoeira Véu da Noiva (bairro de Muriqui em trilha acessada pela BR-101), todos no município de Mangaratiba. Tal inventário possibilitou cotejar a realidade com os mapas de Índice de Geodiversidade gerados.

3 RESULTADOS

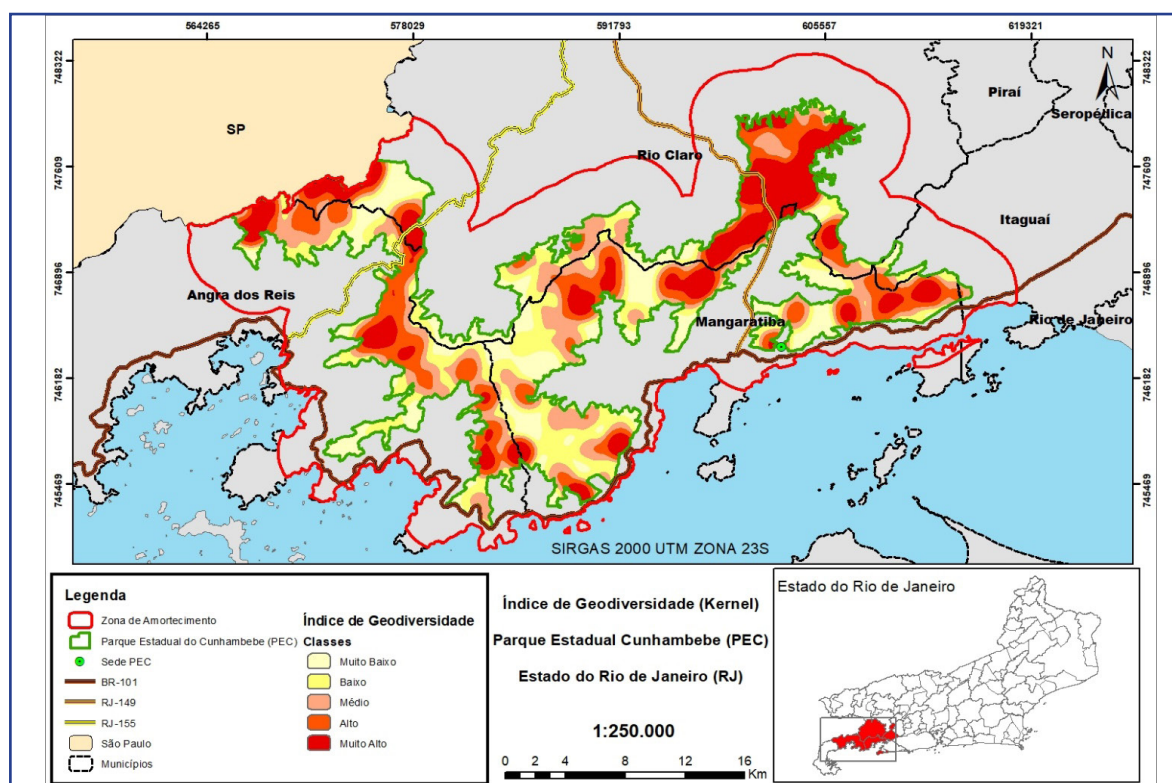
Como resultados, serão demonstrados nos itens a seguir os produtos do mapeamento do Índice de Geodiversidade pelo método Kernel e pelo método análise AHP/multicritério e a análise comparativa desses produtos gerados em SIG.

3.1 Análise do Índice de Geodiversidade pelo método Kernel

Com a densidade Kernel elaborada, foram definidas cinco classes de Índice de Geodiversidade: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta. Optou-se por utilizar cinco classes na legenda, pois abaixo desse número poderia generalizar os resultados e acima poderia fragmentar demais os mesmos, comprometendo e criando uma possível inconsistência de informações. Portanto, para a simbologia foi escolhida tons de amarelo mais claro para os níveis mais baixos e vermelho mais escuro para os mais altos índices.

As áreas de alto a muito alto índice perfazem o total de quase 40% do PEC (figura 3). Segundo pesquisas de Fernandes; Costa (2021) essa concentração não ocorre apenas nas áreas de relevo mais escarpado e com solos residuais (Serra do Piloto e ao longo da RJ 149 no município de Mangaratiba com a divisa de Rio Claro), mas também em áreas com corpos d'água, a exemplo de cachoeiras e do reservatório da represa de Ribeirão das Lajes (Rio Pires, no município de Rio Claro), na Ponte Bela e próximo ao Parque Arqueológico de São João Marcos, localizado na RJ-149, na vertente noroeste do PEC – Figura 3.

Figura 3 – Mapa de Índice de Geodiversidade do PEC, por método Kernel



Fonte: Organizado pelos autores (2023)

As áreas de muito baixo a baixo Índice de Geodiversidade possuem um total de quase 40% de área do PEC, portanto similar aos índices alto e muito alto (mais de 39%). O índice médio de geodiversidade foi de pouco mais de 21% (quadro 1).

Quadro 1 – Cálculo de área e percentual do Índice de Geodiversidade - Kernel (PEC)

Índice Geodiversidade - Kernel	Área (Km²)	Percentual
Muito Baixo	72,52	19,05%
Baixo	77,25	20,30%
Médio	81,42	21,40%
Alto	76,69	20,15%
Muito Alto	72,65	19,10%
Total	380,53	100%

Fonte: Organizado pelos autores (julho, 2023)

O resultado do mapeamento baseado no método Kernel demonstra concentrações (densidade) das classes do mapa de geologia/litologia associadas a geomorfologia predominante na região que já foi estudada por vários pesquisadores, a exemplo de Fagundes; Amaral (2018). Para esses autores, o relevo de Mangaratiba, em especial o bairro Benguela na Serra do Piloto, possui uma trama de estruturas resultante de uma complexa evolução tectônica. Neste contexto estão incluídos a foliação metamórfica principal, dobras deitadas, zonas de cisalhamento tardias de baixo a alto ângulo e dobramentos normais.

As zonas de cisalhamento com direção ortogonal à faixa fazem com que Mangaratiba possua “escarpas e encostas com cristas alinhadas, dissecadas por drenagens profundas, típico da Serra do Mar, esculpidas em rochas gnáissicas e intrusivas da fácies anfibolito, por ação de uma tectônica intensa”. (Fagundes; Amaral, op. cit., p. 110).

A litologia da região da Costa Verde está ligada a Faixa Ribeira de “[...] ortognaisses do Complexo Quirino (embasamento paleoproterozóico), cobertura metavulcanosedimentar do Grupo Paraíba do Sul e diversas gerações de rochas granitóides, de orientação NE-SW” (INEA, 2015, p. 159).

As feições geológico-geomorfológicas presentes na maior parte dessas áreas voltadas para o oceano, apresentam front de escarpa marcado por uma face íngreme, algumas delas com cicatrizes de deslizamentos, resultantes de eventos climáticos

extremos, ocorridos no litoral sul fluminense em 2009/2010 (Mattos; Silva, 2017), geologia com presença primordial do Granito Mangaratiba, além de conter vales encaixados, repletos de depósitos de corridas de massa pretéritas, com extensos e espessos depósitos em rampas de colúvio, depósitos de tálus e de fluxo de detritos.

A Serra do Piloto (figura 4), que se situa num colo ou sela topográfica da Serra do Mar, possui geologia de Biotita Granito, Plúton ígneo tarditectônico de idade Cambriana, sendo sua geomorfologia considerada como uma escarpa de borda de planalto de relevo montanhoso que separa as baixadas fluviomarinhas da Costa Verde do relevo de mar-de-morros no vale do rio do Saco (Maia; Dantas, 2019).

Figura 4 – Vista panorâmica, no Mirante Imperial – RJ 149 (município de Mangaratiba), da baixada fluviomarinha, relevo de mar-de-morros e escarpas de maciços litorâneos, além da baía de Sepetiba e Ilha Grande mais ao fundo



Foto: Organizado pelos autores, julho, 2023

O PEC possui unidades litológicas cujas concentrações são de rochas aflorantes que:

[...] foram subdivididas em três conjuntos principais: os gnaisses, rochas mais antigas, de idade pré-cambriana (>540 Ma), intrudidas pelos granitos cambro-ordovicianos (540-480 Ma) e, posteriormente, cortados pelos diques de diabásio no Mesozóico, com superposição ao substrato rochoso de depósitos sedimentares inconsolidados do Cenozóico. (INEA, 2015, p. 161-162).

Portanto, esta litologia é preponderante nas classes de muito alto a alto Índice de Geodiversidade no PEC (figura 3 – vertente centro-sul), principalmente na RJ-149 (Serra do Piloto), no vale Rio do Saco, no Vale do Rio Sahy, além do distrito de Conceição de Jacareí, localizados no município de Mangaratiba.

No interior do PEC, predominam ortognaisses (Granito Mangaratiba, Granito Mambucaba e Granito Foliado Serra do Piloto) de composição granodiorítica a tonalítica com feições migmatíticas, de coloração cinza, muitas vezes milonitizado, com porfiroclastos de feldspatos de várias dimensões, presente nas serras escarpadas e picos (INEA, 2015 e Maia; Dantas, 2019).

O ortogneisse é de idade Neoproterozoica (Ediacarano), intensamente deformado e metamorfizado pela orogenia (orogênese Brasileira), fazendo parte do Complexo Rio Negro (Heilbron; Eirado; Almeida, 2016), sendo muitos de seus afloramentos rochosos utilizados na construção da Estrada Imperial (Almeida; Oliveira, 2022).

Segundo Tupinambá *et al.* (2013, s.n.), a Estrada Imperial (figura 5) além de possuir “[...] planícies fluviomarinhas, escarpas serranas e domínios colinosos convexos do planalto do reverso da Serra do Mar [...]” tem alguns sítios onde “[...] é possível conciliar patrimônio arqueológico e geológico, como, por exemplo, na Cachoeira dos Escravos”. Esta cachoeira, embasada em ortogneisse (granito bandeado), foi utilizada para banho pelos escravizados que serviram de mão de obra na construção desta que foi a primeira estrada de rodagem do país, inaugurada em 1857.

Figura 5 – Cachoeira dos Escravos (rio do Saco - Serra do Piloto, RJ-149), situada em alto Índice de Geodiversidade

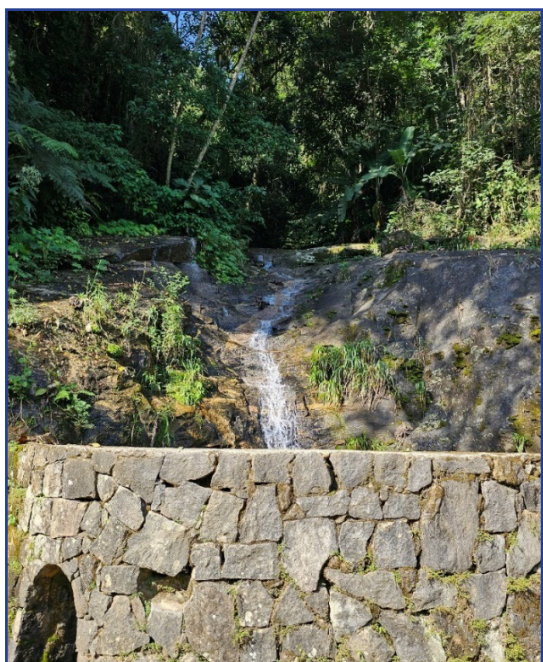


Foto: Organizado pelos autores, julho, 2023

Outras cachoeiras que estão no interior do PEC, a exemplo do rio do Sahy e dos poços para banho na trilha do Caminho das Águas, possuem blocos rochosos fraturados e dique de diabásio controlando a drenagem (figura 6) segundo duas direções preferenciais: N10-20E e N50-60E (INEA, 2015).

Segundo Rangel; Guerra; Botelho (2017, p. 9):

O Vale do Sahy possui diversos atrativos geoturísticos associados, principalmente, à utilização de recursos hídricos. Na trilha Sahy-Rubião (aproximadamente 3,5 km de extensão), observam-se vários poços e cachoeiras para banho, que além de representar um atrativo turístico, permitem a contemplação da paisagem. Além disso, o local possui relevância cultural, pois, no período colonial, era utilizado como rota para exportação de ouro e tráfico de escravos. (Rangel; Guerra; Botelho, 2017, p. 9).

Figura 6 – Cachoeira (poço das borboletas) na trilha do Caminho das Águas (Vale do Sahy), com rochas graníticas leuco/mesocráticas cortadas por dique de diabásio em área de alto Índice de Geodiversidade



Foto: Organizado pelos autores, outubro, 2022

Assim é a geologia no município de Angra dos Reis (na RJ-155 até a divisa com Rio Claro). Na rodovia RJ-155 que atravessa o Parque nessa área (vertentes noroeste e centro-oeste), predominam diques de diabásio, conforme citado no Plano de Manejo do PEC (INEA, 2015, p. 165):

[...] de direção NNE com grandes dimensões se destaca na porção oeste do PEC e seu entorno, possuindo dezenas de metros de largura e centenas de metros de extensão (...) desde o trecho ao sul de Lídice no Alto da Serra, e ao longo do rio da Guarda até o fundo da baía da Ribeira (Saco do Ariró), próximo à confluência com a BR-101. (INEA, 2015, p. 165).

3.2 Análise do Índice de Geodiversidade por AHP e multicritério

No presente estudo o valor da Razão de Consistência (RC) da AHP foi de 0,032, sendo considerado consistente, por ser inferior a 0,1, conforme preconizado por Saaty (1990), permitindo a continuidade do processo de finalização da matriz pareada (quadro 2).

Quadro 2 – Método AHP (matriz pareada) realizado para o Índice de Geodiversidade do PEC

PI (subíndices)	Estrutura Geológica	Drenagem	Geologia/Litologia	Geomorfologia	Solos
Estruturas Geológicas	1	3	0,25	2	3
Drenagem	0,33	1	0,20	0,25	0,20
Geologia/Litologia	4	5	1	3	3
Geomorfologia	0,5	4	0,33	1	2
Solos	0,33	5	0,33	0,5	1

Fonte: Organizado pelos autores (julho, 2023)

No quadro 3, observam-se os pesos determinados para cada plano de informação (subíndice) a fim de permitir a elaboração do mapa do Índice de Geodiversidade do PEC, sendo o mapa de estruturas geológicas com maior peso, seguido do mapa geológico/litológico, do mapa geomorfológico, do mapa pedológico e, por fim, com o menor peso da hierarquia tem-se o mapa de densidade de drenagem.

Quadro 3 – Pesos dos planos de informação pelo método AHP para o mapa de Índice de Geodiversidade

Método AHP (subíndices)	Peso (%)
Estruturas geológicas	31,1
Geológico/litológico	30,0
Geomorfologia	17,6
Pedologia	13,8
Densidade de drenagem	7,5
Total	100

Fonte: Organizado pelos autores (julho, 2023)

As notas seguem a metodologia desenvolvida por Ross (1994) que, apesar do autor ter atribuído tais notas ao mapeamento de fragilidade ambiental, o mesmo método foi utilizado nos trabalhos de Souza (2017) e Fernandes (2019) e, portanto, optou-se por utilizar os mesmos valores numéricos crescentes de 1 a 5 (muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto) aos índices de geodiversidade da análise multicritério em SIG.

O quadro 4 apresenta o resultado das notas atribuídas a cada classe dos subíndices (PI), de acordo com a metodologia mencionada anteriormente, para a Análise Multicritérios.

Quadro 4 – Notas das classes dos planos de informação (mapas temáticos dos subíndices) da Análise Multicritérios para o Índice de Geodiversidade

(Continua)

Subíndices (PI)	Classes	Notas
Estrutura geológica		
	Contato	4
	Falha indiscriminada	5
	Falha ou zona de cisalhamento de empurrão	4
	Falha ou zona de cisalhamento de empurrão encoberta	4
	Zona milonítica	5
	Falha ou zona de cisalhamento transpressional	4
Geomorfologia	Classes	Notas
	Serras Escarpadas	5
	Serras isoladas e locais	5
	Colinas	2
	Cordões Arenosos, dunas e restingas	1
	Morros	4
	Planícies fluviais e fluviomarinhas	2
Pedologia	Classes	Notas
	Afloramento de rocha	5
	Área urbana	1
	Cambissolo álico	2
	Corpos d'água	1
	Dunas	1
	Gleissolo húmico álico	2
	Gleissolo húmico tiomórfico	2
	Latossolo vermelho-amarelo	3
	Planossolo álico	3
	Podzol vermelho-amarelo eutrófico	3
	Podzol hidromórfico	3
	Podzol vermelho-amarelo eutrófico distrófico	2
	Solos aluviais	2
	Solos de mangue	1
	Solos litólicos	2

Quadro 4 – Notas das classes dos planos de informação (mapas temáticos dos subíndices) da Análise Multicritérios para o Índice de Geodiversidade

(Conclusão)

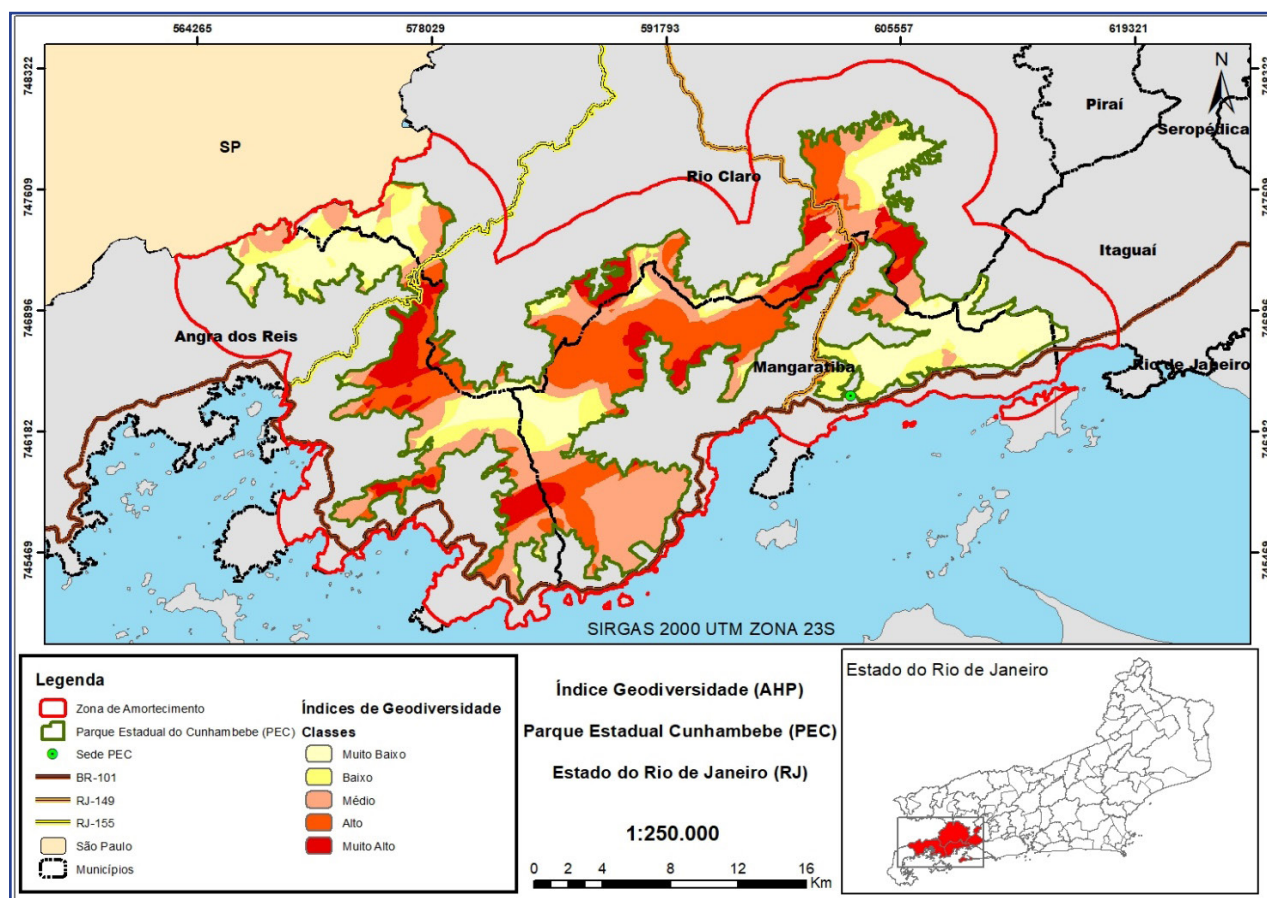
Geologia/Litologia	Classes	Notas
	Arcadia areal	1
	Campo Alegre 2	2
	Conservatória, biotita gnaiss	2
	Conservatória, silimanita granada biotita	2
	Depósitos aluvionares	1
	Depósitos de pântanos e mangues	1
	Depósitos fluviomarinhos	1
	Depósitos litorâneos	2
	Fortaleza	1
	Graminha	2
	Granito Mambucaba	4
	Granito Mangaratiba	4
	Granito Serra do Piloto	4
	Granito Vila Dois Rios	3
	Ilha Grande	1
	Juiz de Fora, ortogranulitos	3
	Leucogranito Pedra Branca	4
	Paraíba do Sul	2
	Quirino	2
	Raposo, quartzito	2
	Rio Negro	3
	Rio Turvo	1
Drenagem	Extensão dos cursos de água (m)	Notas
	0,377 – 258,40	1
	258,41 – 579,31	2
	579,32 – 1046,69	3
	1046,70 – 1843,71	4
	1843,72 – 4014,85	5

Fonte: Organizado pelos autores (julho, 2023)

O resultado do mapa de Índice de Geodiversidade por AHP e multicritério, com as classes de 1 a 5, foram renomeadas qualitativamente para toda a área em estudo (PEC), conforme é mostrado na figura 7.

Os valores de área e percentual do Índice de Geodiversidade (AHP e multicritério) do PEC podem ser constatados no quadro 5. O total de 38,3% foram para as classes de muito alto a alto índice e o total de 41,2% ocorreu nas classes de muito baixo a baixo, ou seja, resultado quantitativo parecido ao apresentado anteriormente pelo Índice de Geodiversidade baseado no método Kernel.

Figura 7: Índice de Geodiversidade do PEC, por método AHP/multicritério



Fonte: Organizado pelos autores (2023)

No entanto, ao analisar mais detalhadamente as concentrações do Índice de Geodiversidade AHP/multicritério com os percentuais de ocorrência do índice pelo método Kernel, foi possível observar algumas diferenças. No mapa gerado através do método Kernel as áreas de maior percentual foram as de médio índice (21,4%), enquanto o mapa gerado através do método AHP/multicritério a maior área foi a de baixo Índice de Geodiversidade (26,5%), mas, logo seguida pela de médio índice quase na mesma proporção (20,5%).

Quadro 5 – Cálculo de Área e Percentual – Índice de Geodiversidade pelo método AHP/multicritério (PEC)

Índice Geodiversidade – AHP/multicritério	Área (Km ²)	Percentual
Muito Baixo	56,01	14,71%
Baixo	100,78	26,5%
Médio	77,97	20,49%
Alto	71,28	18,73%
Muito Alto	74,49	19,57%
Total	380,53	100%

Fonte: Organizado pelos autores (julho, 2023)

Ao observar com maior apuro o mapa (figura 7), principalmente a vertente sudeste do PEC, entre os municípios de Mangaratiba (distritos de Itacuruçá e Muriqui) e Itaguaí, percebe-se que há áreas de baixa a muito baixa geodiversidade pelo método AHP/multicritérios, que foram mapeadas como alta a muito alta concentração de ocorrência de subíndices de geodiversidade no método Kernel.

Essa diferença na AHP/multicritério ocorreu em função das notas baixas para a influência das classes de ocorrência de áreas urbanas em locais de serras e colinas (mapa geomorfológico), com presença de solos podzol e cambissolos (solos rasos) no mapa pedológico, além de baixa extensão de canais de drenagem nessa área, apesar de existir relevo de serras escarpadas com alto gradiente de encosta que possibilita quedas d'água em alguns trechos da vertente centro-sul. Realmente tais ocorrências, no computo geral desses subíndices, não são tão relevantes ou de alta raridade sob o ponto de vista científico ou de alto valor de geodiversidade.

Na escala analisada, determinados atributos identificados localmente (escala de detalhe) pelo método AHP/multicritérios não conseguem proporcionar um índice mais alto para a geodiversidade nessa zona de contato entre colinas e escarpas de planalto, a exemplo da Cachoeira Véu da Noiva, no distrito de Muriqui - Mangaratiba (figura 8) que no caso comparativo ao método Kernel detectou a densidade desses parâmetros com alto índice. Cabe ressaltar também as características do patrimônio sociocultural desse local, pois no topo da cachoeira há um arco que é uma escultura em acrílico

doadada pela artista japonesa Mariko Mori para o Brasil na época das Olimpíadas Rio 2016, com valor artístico inestimável não apenas localmente, mas internacionalmente, portanto, somando-se ao patrimônio geológico como importante potencial de atrativo geoturístico a ser inventariado em outras pesquisas.

Figura 8 – Cachoeira Véu da Noiva (distrito de Muriqui, município de Mangaratiba)

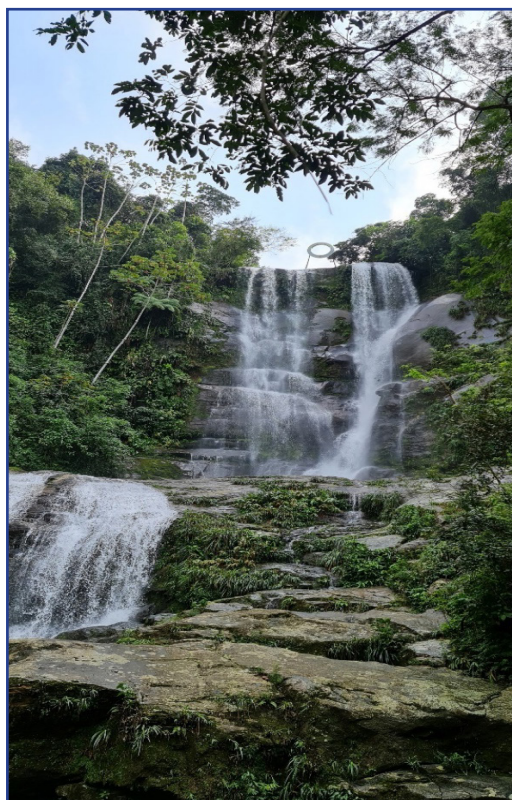


Foto: Organizado pelos autores, outubro, 2022

Há também maior ocorrência de alta geodiversidade na vertente sul do PEC pelo método AHP/multicritérios, entre os municípios de Mangaratiba e Angra dos Reis, onde o relevo é de Serras Escarpadas e com concentração de drenagem com quedas d'água e cachoeiras. No caso do método Kernel, nesta vertente ocorrem mais áreas de muito baixa a baixa geodiversidade.

O mesmo processo de inversão de resultados entre as classes de geodiversidade do método Kernel e a AHP/multicritérios ocorreu na vertente noroeste do PEC, entre a RJ-155 que divide Angra dos Reis e a divisa do estado de SP. Nesse local, é possível notar que a geodiversidade foi de muito baixo a baixo no método AHP/multicritérios,

diferentemente dos resultados obtidos pelo método de Kernel.

Na vertente centro-oeste, entre o distrito de Lídice (município de Rio Claro) e o município de Angra dos Reis, a AHP/multicritérios apresentou alto a muito alto Índice de Geodiversidade, que foi a mesma resposta do método Kernel. Tal resultado se explica pela maior densidade de ocorrência dos sub-índices, assim como maior média ponderada encontrada nessa área.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dois métodos aplicados nos mapeamentos do Índice de Geodiversidade do Parque Estadual Cunhambebe apresentaram certas similaridades quanto aos resultados obtidos, entretanto, algumas diferenças significativas foram perceptíveis em determinadas localidades, destacando-se as vertentes conforme foi detalhado nos resultados da comparação entre o método AHP/multicritério e o método Kernel em SIG.

A pontuação (nota) das classes e o percentual de cada subíndice na média ponderada do método AHP/multicritério, são aplicáveis tanto em escalas regionais quanto detalhadas, pois destacam áreas ou zonas com relevância e interesse sobre as características físicas ao invés de pontos de geossítios com geodiversidade local.

No caso do método Kernel, como leva em consideração a densidade (raio de proximidade e peso) dos pontos dos subíndices, é adequado a uma análise mais generalizada sobre a concentração de parâmetros físicos, apenas localizando de forma mais específica menores ou maiores concentrações de geodiversidade. Já o método AHP/multicritérios permite que se avalie, através da álgebra de mapas, as áreas mais relevantes sob o ponto de vista da multiplicidade dos fatores físicos levados em consideração na análise realizada (média ponderada).

Desta forma os dois métodos se mostraram eficientes, porém o método AHP/multicritério apresenta vantagens, mesmo quando as bases cartográficas não estão em escala de detalhe. A maioria dos mapas geológicos/litológicos, geomorfológicos, pedológicos e hidrológicos, a exemplo das bases utilizadas para o PEC que abrange quatro municípios do Estado do Rio de Janeiro, possibilitam estudos regionalizados,

fazendo com que os pesquisadores sejam mais criteriosos ao definir pesos e notas aos subíndices utilizados. Neste contexto, o uso do método AHP com a razão de consistência, propicia a confiabilidade para determinar as notas na matriz e obter a hierarquia dos pesos. Mas, cabe ressaltar que a escolha das notas nas classes dos subíndices pode ser mais assertiva quando se emprega o método *Delphi*, pois este reduz eventuais divergências, principalmente quando a equipe de especialistas discute sobre o grau de pertinência e os critérios de importância relativa, sendo fundamental para diminuir a subjetividade da análise.

Portanto, como o Kernel considera apenas a densidade de ocorrência (agrupamento por centroides ou densidade e distância entre os pontos), o seu uso no mapeamento do Índice de Geodiversidade pode trazer resultados que limitam o detalhamento das características específicas de cada classe contida nos subíndices, interferindo diretamente na certeza da detecção das áreas de maior ocorrência de geodiversidade, inviabilizando uma análise mais criteriosa e integradora, o que não ocorre no método multicritério, pois os pesos e notas são ponderados pela média de seus valores zonais.

No entanto, é pertinente realizar o cotejo com análise em campo, onde poderão ser observadas e comprovadas se as áreas de maior e menor geodiversidade, estabelecidas nos dois mapeamentos por SIG, correspondem de fato com a realidade local. Essa avaliação final baseada nos mapeamentos supra-citados, poderá ser refinada com um inventário de geossítios e seus valores, baseado nos métodos consagrados por Gray (2013), Brilha (2016), dentre outros.

De qualquer forma, o presente estudo ainda não esgotou as possibilidades das análises quali-quantitativas do Índice de Geodiversidade em SIG, lançando algumas discussões para entender que precisam ter mais estudos aplicados, sejam em áreas protegidas, municípios, estados, geoparques e outros recortes espaciais, que necessitam do geoprocessamento na tomada de decisão para estratégias eficientes e eficazes de geoconservação. Por fim, cabe destacar que já está em andamento uma pesquisa que irá conduzir uma avaliação das áreas de maior potencial geoturístico no PEC, balizadas pelos resultados dos Índices analisados.

5 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, S.; OLIVEIRA, S. Origem, evolução e elementos construtivos da Estrada de Mangaratiba, primeira estrada de rodagem do Brasil. **Anais do Museu Paulista: História e Cultura Material**, Museu Paulista, Universidade de São Paulo, vol. 30, ed.44, 2022, Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/273/27370435039/>. Acesso em: 31 jul. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1982-02672022v30e44>.
- ARAÚJO, G. L.; SILVA, J. F. de A.; AQUINO, C. M. A. S. de geoconservação no Brasil: panorama das iniciativas institucionais e das discussões sobre a temática em eventos científicos. **Physis Terrae - Revista Ibero-Afro-Americana de Geografia Física e Ambiente**, vol. 1, n. 2, p. 215-230, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21814/physisterrae.2237>.
- BRILHA, J. Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a review. **Geoheritage**, v. 8, n.2, p.119-134, jun. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12371-014-0139-3>.
- BRILHA J. *et al.* Geodiversidade: uma revisão integrativa como contribuição para a gestão sustentável de toda a natureza. **Environmental Science and Policy**. Elsevier, n. 86, p. 19-28, 2018. Disponível em: http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/54728/1/brilha_et_al_2018.pdf. Acesso em: 25 ago. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.05.001>.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Súmula da 10a. Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro: 1979. 83p. (Embrapa-SNLCS. Micelânea, 1).
- FAGUNDES, M. B.; AMARAL, C. Cartografia de Risco a Escorregamentos em detalhamento progressivo, da Serra do Piloto, Mangaratiba, RJ. **Revista de Ciência, Tecnologia e Inovação**, V. 3, n. 4, p. 110-120, 2018. Disponível em: <https://www.unifeso.edu.br/revista/index.php/revistacienciatecnologiainovacao/article/view/992/489>. Acesso em: 17 ago. 2023.
- FARIA, D.; AUGUSTO FILHO, O. Aplicação do Processo de Análise Hierárquica (AHP) no mapeamento do perigo de escorregamentos em áreas urbanas. **Revista do Instituto de Geologia**, São Paulo, v.34, n. 1, 2013. Disponível em: <https://revistaig.emnuvens.com.br/rig/article/view/447/429>. Acesso em: 17 ago. 2023.
- FERNANDES, R. O. **Análise multicritério da vulnerabilidade ambiental à movimentos de massa gravitacional na porção continental do município de Angra dos Reis (RJ), com base no método Analytic Hierarchy Process (AHP) em Sistema de Informação Geográfica. Rio de Janeiro**. Dissertação (Mestrado de Geografia). Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Geografia, p. 143, 2019. Disponível em: https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=7632100#. Acesso em: ago. 2022.
- FORTE, J. P. *et al.* Kernel Density Applied to the Quantitative Assessment of Geodiversity. **Geoheritage**, v.10, n.2, p. 205-217, Springer. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12371-018-0282-3>.
- GONÇALVES, J. *et al.* A Discussion on the Quantification and Classification of Geodiversity Indices Based on GIS Methodological Tests. **Geoheritage**, v. 12, n. 2, p. 1-20, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12371-020-00458-3>.

GONÇALVES, J. *et al.* Is It Worth Assessing Geodiversity Numerically? A Comparative Analysis between Quantitative and Qualitative Approaches in Miguel Pereira Municipality, Rio de Janeiro, Brazil, Rio de Janeiro, Brasil. **Geosciences**, 2022, 12, 347. DOI: <https://doi.org/10.3390/geosciences12090347>.

GRAY, M. Geodiversity and Geoconservation: what, why, and how? **Geodiversity & Geoconservation**, p. 4-12, 2005. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/43597951>>. Acesso em: ago. 2019.

GRAY, M. **Geodiversity: Valuing and conserving abiotic nature**. (2nd. ed.). Chichester, UK: Wiley Blackwell. 2013.

GRAY, M. Geodiversity: the back bone of geoheritage. In: REYNARD, E.; BRILHA J. (Eds.) **Geoheritage: assessment, protection and management**. Elsevier, p. 13-25, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E HISTÓRIA-IBGE. **Base Cartográfica Contínua do Estado do Rio de Janeiro na Escala 1:25.000 - BC25_RJ - versão 2018**. IBGE. Disponível em: ftp://geofp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc25/RJ/versao2018. Acesso em: 17/08/2023.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE-INEA. **O Estado do Ambiente**. 2010. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/0ByN2dYxhVsMyMmVGZTV0Q2xjWGc/view?resourcekey=0-3fIXF2_CtrOvmQRT7fkgiw. Acesso em: 17/08/2023.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE-INEA. **Plano de Manejo (Fase 1) do Parque Estadual Cunhambebe**. Instituto Estadual do Ambiente – INEA. 2015. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/02/PEC-PM.pdf>. Acesso em: 29/08/2023.

MAIA, M. A. M.; DANTAS, M. E. **Carta de padrões do relevo: município de Mangaratiba, RJ**. Escala: 1:60.000. Edição: CPRM. Out. 2019. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/21426>. Acesso em: 29/08/2023.

MATTOS, V. C. de; SILVA, T. M. da. Chuvas extremas no Litoral Sul Fluminense e a deflagração de eventos geomorfológicos: uma breve análise de seus efeitos, gênese e espacialidade. In: Encontro Nacional da ANPEGE, 12., Porto Alegre. **Anais[...]**, Porto Alegre, 2017. ISSN: 2175-8875. Disponível em: www.enanpege.ggf.br/2017. Acesso em: abr. 2023.

MOURA, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseado em Análises de Multicritérios. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., Florianópolis. **Anais[...]**, Florianópolis: INPE, 2007, p. 2899-2906. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr%4080/2006/11.13.14.41/doc/2899-2906.pdf>. Acesso em: abr. 2023.

OLIVEIRA, F. L. **Diversidade geológico-geomorfológica do Parque Natural Municipal de Nova Iguaçu (Rio de Janeiro): bases para o planejamento ambiental no contexto da geoconservação**. Rio de Janeiro. UERJ, Tese (Doutorado em Geografia), Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 269 p., 2017. Disponível em: <http://www.bdt.d.uerj.br/handle/1/13224>. Acesso em: abr. 2023.

PEREIRA, D. I. *et al.* Geodiversity Assessment of Parana State (Brazil): An Innovative Approach. **Environmental Management**. Springer, v.52, p.541-522, 2013. Disponível em <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00267-013-0100-2>>. Acesso em: nov. 2022.

PINESE JÚNIOR, J. F.; RODRIGUES, S. C. O Método de Análise Hierárquica – AHP – Como Auxílio na Determinação da Vulnerabilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Piedade – MG. **Revista do Departamento de Geografia**, USP. V. 23. p. 4–26. 2012.

RANGEL, L. de A.; GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M. Potencial geoturístico em unidades de conservação da Costa Verde (Estado do Rio de Janeiro): o Parque Nacional da Serra da Bocaina e o Parque Estadual Cunhambebe. *In*: Workshop ARTE & Ciência: Reflexão Integrada na Paisagem. 1., **Anais[...]**, Rio de Janeiro: UFRJ, 2017. Disponível em: <https://conferencias.ufrj.br/index.php/wac/wap2017/paper/view/1663>. Acesso em: nov. 2022.

HEILBRON, M.; EIRADO, L.G.; ALMEIDA, J. (Org). **Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro**. Escala 1:400.000. Programa Geologia do Brasil (PGB), Mapas Geológicos Estaduais. CPRM-Serviço Geológico do Brasil, Superintendência Regional de Belo Horizonte CPRM, 2016. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/>. Acesso em: 17 ago. 2023.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, n.8. São Paulo, 1994.

SAATY, T.L. How to make decision: The analystic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, V. 48, Issue 1, p. 9-26. 1990. DOI: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I).

SANTOS, D. S. *et al.* Quantitative assessment of geodiversity and urban growth impacts in Armação dos Búzios, Rio de Janeiro, Brazil. **Applied Geography**, v.85, p.184-195, 2017.

SILVA, C. A. da; NUNES, F. de P. Mapeamento de Vulnerabilidade ambiental utilizando o método AHP: uma análise integrada para suporte à decisão no município de Pacoti - CE. *In*: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14., **Anais[...]**, Natal: INPE 2009. p. 5435-5442. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.14.19.56/doc/5435-5442.pdf>. Acesso em: nov. 2022.

SILVA, H. V. M. D.; AQUINO, C. M. S. D.; AQUINO, R. P. D. Geoturismo como estratégia de geoconservação para a Cachoeira da Pedra Negra, Sigefredo Pacheco, Piauí, Brasil. **Geografia Ensino & Pesquisa**, 26, 2022. DOI: 10.5902/2236499463610.

SILVA, J. P. *et al.* Geodiversity assessment of the Xingu drainage basin. **Journal of Maps**, v.9, n.2, p. 254-262. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/17445647.2013.775085>.

SOARES FILHO, A. R. **Contribuições do Geoprocessamento para a Avaliação Quantitativa da Geodiversidade: Parque Estadual da Pedra Branca**. Rio de Janeiro: UFRJ, Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, Instituto de Geociências, Geologia, 50 p., 2019. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/10290>. Acesso em: nov. 2022.

SOUZA, K. R. G. **Análise de risco ambiental na Serra do Mar: o caso do Parque Estadual do Cunhambebe (PC) e entorno (RJ)**. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://www.bdt.d.uerj.br/handle/1/13249>. Acesso em: nov. 2022.

SHARPLES, C. Concepts and principles of geoconservation. Published electronically on the **Tasmanian Parks & Wildlife Service web site**. 3. ed. Set, 2002. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/266021113_Concepts_and_principles_of_geoconservation. Acesso em: abr. 2023.

STANLEY, M. Geodiversity. **Earth Heritage**, nº 14 p. 15-18, 2000.

TUPINAMBÁ, M.; SILVA, L. G. do E.; MONLEVADE, A. A.; BRITO, J. V. P.; WALDHERR, F. R. Patrimônio geológico e arqueológico ao longo da estrada imperial, litoral sul fluminense. In: Simpósio Brasileiro de Patrimônio Geológico, 2., **Resumos [...]**, Ouro Preto: GeoBRheritage. 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/272149493_Patrimonio_geologico_e_arqueologico_ao_longo_da_estrada_imperial_litoral_sul_fluminense. Acesso em: abr. 2023.

ZWOLINSKI, Z.; NAJWER, A.; GIARDINO, M. Methods for Assessing Geodiversity. In: REYNARD, E. BRILHA, J. **Geoheritage: Assessment, Protection, and Management**. Elsevier, p.27-52, 2018.

CONTRIBUIÇÕES DE AUTORIA

1 – Vivian Castilho da Costa

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Doutora em Geografia

<https://orcid.org/0000-0002-7636-0243> • vivianuerj@gmail.com

Contribuição: Conceituação, investigação, análise formal, escrita - revisão e edição

2 – Nadja Maria Castilho da Costa

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Doutora em Geografia

<https://orcid.org/0000-0002-0528-0078> • nadjacastilho@gmail.com

Contribuição: Conceituação, investigação, escrita - revisão e edição

3 – Raphael de Oliveira Fernandes

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Mestre em Geografia

<https://orcid.org/0009-0005-3875-0450> • raphaelgeouerj2017@gmail.com

Contribuição: investigação, metodologia, análise formal

Como citar este artigo

COSTA, V. C. da; COSTA, N. M. C. da; FERNANDES, R. O. Uso de geotecnologias na análise do índice de geodiversidade do Parque Estadual Cunhambebe (PEC) - RJ. **Geografia Ensino & Pesquisa**, Santa Maria, v. 28, e84932, 2024. Disponível em: 10.5902/2236499484932. Acesso em: dia mês abreviado. ano.