

ÍNDICE DE GEODIVERSIDADE DO COMPLEXO ESTUARINO LAGUNAR MUNDAÚ-MANGUABA – CELMM, ALAGOAS, NORDESTE DO BRASIL

Geodiversity index of the Mundaú-Manguaba Lagoon Estuarine Complex - CELMM,
Alagoas, Northeast of Brazil

Índice de geodiversidad del Complejo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba - CELMM,
Alagoas, Noreste de Brasil

Thiago Cavalcante Lins Silva
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
thiago0_lins@hotmail.com

José Ferreira dos Santos Júnior
Universidade Federal de Alagoas
junioratrio@hotmail.com

Bruno Ferreira
Universidade Federal de Alagoas
brunge2005@gmail.com

Resumo

A geodiversidade busca descrever através de metodologias de identificação e quantificação os elementos abióticos presentes na paisagem e como se dá a interação destes elementos com o meio biótico e a sociedade através das apropriações existentes. O objetivo do trabalho foi calcular o índice de geodiversidade do CELMM. A metodologia utilizada foi dividida em 5 etapas: definições espaciais, levantamento bibliográfico e cartográfico, processamento de dados, definição dos índices e interpolação/classificação dos resultados. Foram utilizadas as variáveis de geologia, geomorfologia, hidrografia, pedologia e mineral para o cálculo dos índices parciais, utilizadas posteriormente para o cálculo do índice de geodiversidade, sendo divididas em 5 classes. Como resultado, seus valores foram mais heterogêneos, concentrados em áreas específicas. O índice de geodiversidade se mostrou mais alto em áreas amplas de várzeas bordeadas por encostas íngremes fortemente dissecadas. Valores esses justificados por processos morfodinâmico e pedológico, exumando e modelando a litologia local. Já nas demais quadrículas, sendo mais homogêneas com pouca dinâmica, apresentaram valores mais baixos. No geral, o CELMM apresentou geodiversidade média, com valores mais altos e altos concentrados em APA, ocorrendo também em outras áreas não protegidas. A metodologia se mostrou promissora, alcançando o objetivo geral. Através de técnicas de geoprocessamento e base de dados existentes dos elementos da geodiversidade, foi possível criar mapas temáticos de IG do CELMM. Este estudo visa subsidiar o Poder Público para criar ou rediscutir zoneamentos e planos gestores. Este estudo representa a continuação das discussões sobre geodiversidade de Alagoas em sua porção Centro-Leste.

Palavras-chave: Geodiversidade, Análise Integrada, Interpolação.

Abstract

Geodiversity seeks to describe, through identification and quantification methodologies, the abiotic elements present in the landscape and how these elements interact with the biotic environment and society through existing appropriations. The objective of the work was to calculate the geodiversity index of CELMM. The methodology used was divided into 5 stages: spatial definitions, bibliographic and cartographic survey, data processing, definition of indexes and interpolation / classification of results. The variables of geology, geomorphology, hydrography, pedology and mineral were used for the calculation of the partial indexes, used later for the calculation of the geodiversity index, being divided into 5 classes. As a result, its values were more heterogeneous, concentrated in specific areas. The geodiversity index was higher in wide areas of floodplains bordered by steeply dissected steep slopes. These values are justified by morphodynamic and pedological processes, exhuming and shaping local lithology. In the other grids, being more homogeneous with little dynamics, they presented lower values. In general, CELMM showed medium geodiversity, with higher values and higher concentration in APAs, also occurring in other unprotected areas. The methodology proved to be promising, reaching the general objective. Through geoprocessing techniques and an existing database of geodiversity elements, it was possible to create IG thematic maps of CELMM. This study aims to subsidize the Public Power to create or re-discuss zoning and plans for management. This study represents the continuation of discussions on the geodiversity of Alagoas in its East center portion.

Keywords: Geodiversity, Integrated Analysis, Interpolation.

Resumen

La geodiversidad busca describir, por vía de enfoques de identificación y cuantificación, los elementos abióticos presentes en el paisaje y cómo estos elementos interactúan con el entorno biótico y la sociedad a través de las apropiaciones existentes. El objetivo del trabajo fue computar el índice de geodiversidad del CELMM. El enfoque recurrido se dividió en 5 etapas: definiciones espaciales, levante bibliográfico y cartográfico, proceso de datos, definición de índices e interpolación / clasificación de resultados. Las variables de geología, geomorfología, hidrografía, pedología y minerales se utilizaron para el cómputo de los índices parciales, que luego se utilizaron para el cómputo del índice de geodiversidad, dividiéndose en 5 categorías. Consiguientemente, sus valores fueron más heterogéneos, concentrados en áreas específicas. El índice de geodiversidad fue más alto en amplias áreas de llanuras de inundación bordeadas por empinadas pendientes fuertemente disecadas. Estos valores se justifican por procesos morfodinámicos y pedológicos, exhumándose y dando forma a la litología local. En las otras cuadrículas, los valores fueron más homogéneos, con poca dinámica y más bajos. En general, el CELMM presentó una geodiversidad mediana, con valores cada vez más altos y altos concentrados en APA, sucediendo también en otras áreas desprotegidas. El enfoque resultó prometedor, alcanzando el objetivo general. Por vía de técnicas de geoprosesamiento y una base de datos existentes de elementos de la geodiversidad, fue posible crear mapas temáticos de IG del CELMM. Este estudio tiene por objetivo subvencionar a las Autoridades Públicas a

crear o volver a discutir zonificaciones y planes de gerencia. Este estudio representa la continuación de las discusiones sobre la geodiversidad de Alagoas en su parte Centro-Oriental.

Palabras-clave: Geodiversidad, Análisis Integrado, Interpolación.

Introdução

Atualmente o conceito de geodiversidade começa a ser amplamente difundido na produção científica brasileira, o que tem possibilitado diversas discussões sobre as apropriações e uso dos territórios. Esse cenário não seria diferente nas análises espaciais realizadas pela Geografia, onde o planejamento territorial urbano e ambiental são discussões recorrentes, buscando, através de discussões sobre práticas de gestão espacial, compreender as limitações da dinâmica natural frente ao uso e ocupação das terras, de forma a salvaguardar as paisagens de possíveis interferências em seus fluxos de energia e matéria, o que pode comprometer o funcionamento de seus sistemas naturais. Nas estratégias de planejamento, tem-se o desenvolvimento de práticas que visam à conservação das paisagens a partir de modelos de desenvolvimento sustentável, permitindo seu uso consciente, de forma a interferir o mínimo possível em suas dinâmicas, levando em consideração os fatores naturais, sociais, ambientais, políticos, econômicos, culturais e de governança, proporciona assim um quadro de trabalho holístico para alcançar resultados sustentáveis.

O zoneamento ambiental configura umas das principais estratégias de planejamento voltadas à conservação de elementos ambientais, através do mesmo é delimitada determinada área para proteção contra atividades potencialmente danosas, zonas arquivadas e pensadas de acordo com determinada porção excepcional. Com o surgimento e disseminação do Geoprocessamento, houve uma “revolução” na Geografia, tornando as tarefas de análise integrada da paisagem mais eficientes e precisas, possibilitando delimitar porções com necessidades de conservação mais evidentes, substituindo os massivos trabalhos manuais de sobreposição de documentos, executados antes de seu surgimento (XAVIER-DA-SILVA; CARVALHO-FILHO, 2001; CORRÊA, 2005). Com a disseminação do geoprocessamento e sua ampliação nas discussões sobre a necessidade de planejamento territorial, voltada ao meio ambiente, a partir da segunda

metade do século XX, emergiu à necessidade de zoneamento sobre o meio natural (XAVIER-DA-SILVA, 2000).

Impulsionada pelo surgimento da chamada “questão ambiental”, a partir dos anos de 2000, as atividades de planejamento passaram a figurar como preocupação emergente nos mais diversos campos científicos. Elencando diversas questões relacionadas à sinalização e conservação dos elementos e sistemas naturais das paisagens. Em meio a essa efervescência científica e na busca por metodologias e pressupostos que pudessem abarcar os novos fazeres e práticas, surgiu a terminologia Geoconservação, definida como o processo de conservação da porção abiótica da paisagem, a Geodiversidade, tendo em vista sua conservação, aproveitamento e gestão, promovendo práticas que visem o desenvolvimento sustentável (CUMBE, 2007; LIMA et al., 2010). A partir da utilização do conceito de Geoconservação surgiram uma série de estratégias de planejamento e gestão territorial que se utilizaram do conceito e suas características metodológicas, para o desenvolvimento de ações de conservação do meio natural, a exemplo da criação dos geoparques, unidades de gestão territorial, voltados ao desenvolvimento sustentável a partir da valorização dos elementos abióticos como atrativos a visitação (LIMA, 2008).

Diversos autores, pioneiros na discussão sobre geodiversidade e geoconservação, apontam uma sequência de etapas e métodos para a construção e efetivação de iniciativas de Geoconservação. Segundo esses pesquisadores, via de regra, a Geoconservação deve ser pensada e implementada a partir de segmentados em 6 etapas específicas de trabalho, nomeadamente: inventariação, avaliação quantitativa, classificação, conservação, valorização/divulgação e monitoramento (LIMA et al., 2010). Entretanto, essa metodológica vem sendo fortemente criticada por possuir alto grau de subjetividade (MARTINEZ et al., 2017). Em contrapartida, graças ao desenvolvimento do geoprocessamento e o aperfeiçoamento das técnicas de zoneamento surgiram uma série de metodologias quantitativas e semiquantitativas, como os Índices de Geodiversidade - IG, que facilitaram o processo de identificação e avaliação dos múltiplos aspectos da geodiversidade nos territórios e regiões, impondo baixo grau de subjetividade (BÉTARD e PEULVAST, 2019). Metodologias como essas vêm possibilitando avaliações da porção abiótica das paisagens, com estudos em diversas escalas, que vem subsidiando estratégias de análise e gestão ambiental.

Tendo como base a importância da geodiversidade e do uso de metodologias de Geoconservação voltadas ao planejamento territorial e ambiental e a tomada de decisões,

este trabalho se propôs a descrever e quantificar os índices de geodiversidade do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú - Manguaba – CELMM. Essa área é composta por um leque variado de elementos abióticos que se destacam na paisagem, seja em escala local ou contexto regional, necessitando assim de estratégias de conservação ambiental. Pensando nisso, este estudo se propôs a calcular os IG do CELMM, visando elaborar e disponibilizar informações que ajudem no planejamento territorial e práticas de planejamento e gestão ambiental local.

Materiais e métodos

A Área de Estudo

O Complexo Estuarino Lagunar Mundaú – Manguaba (Figura 1) é composto por dois corpos hídricos, respectivamente Mundaú e Manguaba, que estão localizados na porção centro-sul do Litoral Alagoano, representando o maior estuário lagunar do Estado e o quinto maior do Brasil. O complexo abrange os municípios Maceió, Marechal Deodoro, Coqueiro Seco, Santa Luzia do Norte e Pilar, onde as duas lagunas, suas ilhas e canais ocupam uma área de aproximadamente 90 km² (LIMA, 2004).

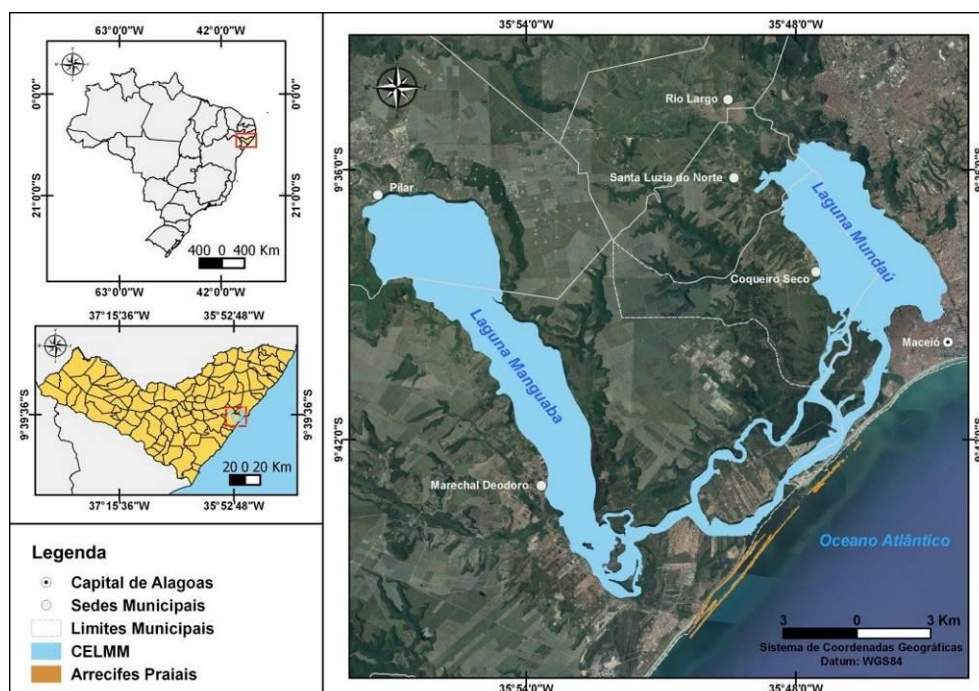


Figura 1 – Mapa de Localização do CELMM

O CELMM está inserido geologicamente no contexto da bacia sedimentar de Alagoas, estruturado sobre litologias sedimentares de idades variadas. As litologias presentes estão distribuídas em 3 unidades litoestratigráficas, um sedimentar inconsolidada quaternária, representada por depósitos litorâneos, flúvio-lagunares e de mangue com composições arenosas e lamosas, em diversos contextos distintos em sua extensão (Figura 2). Os demais conjuntos litológicos são um mesozoico, representado pelas formações Maceió, Poção e Muribeca, compostas por arenitos finos e folhelhos, a outra é miocênica e composta por arenitos areno-argilosos e areno-conglomeráticos, Formação Barreiras, que recobrem cerca de 80% da superfície do Complexo (CPRM, 2015).

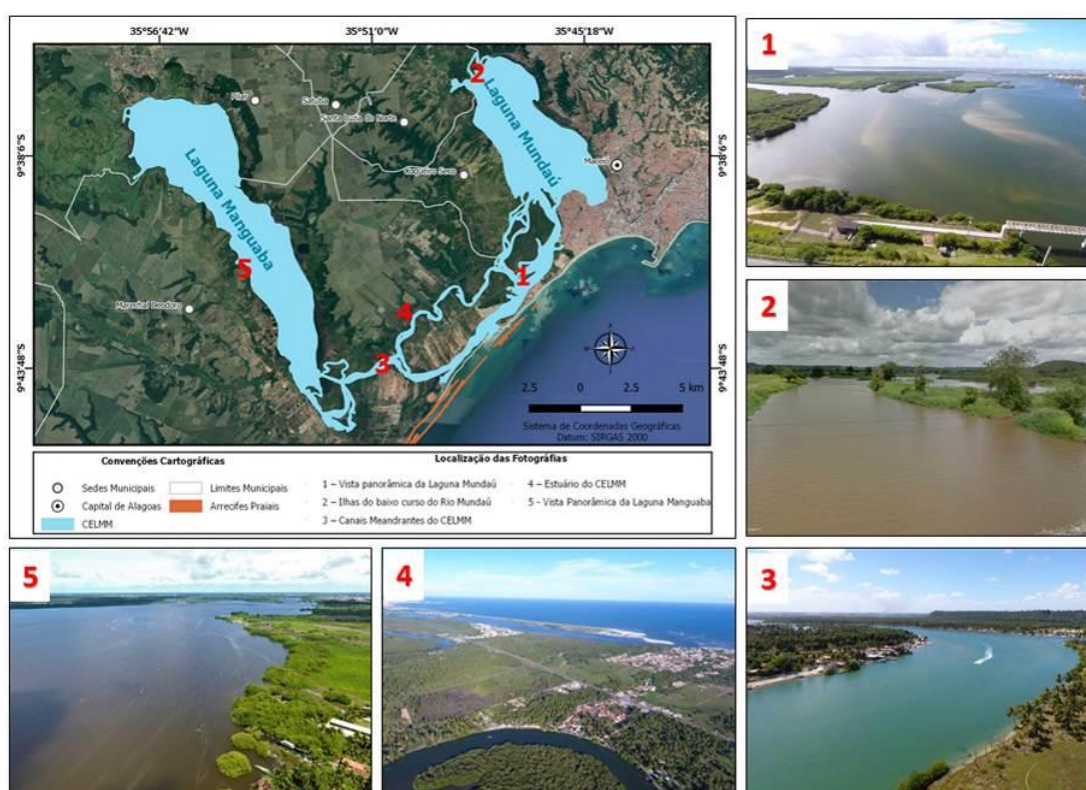


Figura 2 – Contextos distintos fotografados no CELMM
 Fonte: Cezá Araújo (2020).

Estruturalmente a área está inserida em um sistema complexo de falhas normais, que promoveram um amplo escalonamento de blocos, formando estruturas de *Grabens e Hosts*. Esse escalonamento estrutural ao aflorar como variação topográfica, diversidade morfológica, juntamente as variações do avanço e recuo do nível do mar, possibilitou a formação de amplas lagunas e as diversas morfologias existentes no Complexo com

formas tabulares, colinosas e terraceadas, circundando os espelhos d'água (LIMA, 1998; COSTA e Wanderley, 1994). Fundamentação Teórica

Ao longo das últimas décadas, diversos autores se propuseram construir roteiros de estudo e esquemas conceituais de análise da geodiversidade e geoconservação, utilizando para isso uma variedade de métodos e critérios de classificação e hierarquização. Dentre as diversas propostas, pode-se destacar os com matriz metodológica quantitativa, através da atribuição de índices. Nesse sentido, diversos autores buscaram avaliar de forma numérica as diversas feições da geodiversidade nas paisagens, atribuindo maiores valores nos índices as áreas com maior diversidade de elementos abióticos (CARCAVILLA URQUI et al., 2007).

Uma das primeiras tentativas de quantificação da geodiversidade foi elaborada por Serrano et al. (2009), que buscaram quantificar um índice de geodiversidade, utilizando com base os atributos geomorfométricos e estruturas do relevo. Os autores inseriram também os demais aspectos do meio físico, no entanto, estes figuraram em segundo plano, uma vez que o modelo numérico levou em consideração a extensão das superfícies geomorfológicas e o coeficiente de rugosidade como variáveis de seu modelo, supervalorizando o relevo frente aos demais aspectos (PEREIRA et al., 2013).

Hjort e Luoto (2010) propuseram uma metodologia de quantificação da geodiversidade baseada em análises multivariadas de aspectos geológicos, geomorfológicos e hidrográficos, omitindo em parte outros aspectos, os autores utilizaram quadriculas de 500x500 m² para avaliar a geodiversidade de uma área de 285 m² ao norte da Finlândia. Fortemente criticada, essa metodologia possibilitou conclusões significativamente úteis no que tange a avaliação integrada da geodiversidade, onde os maiores valores de geodiversidade, índices de geodiversidade, são encontrados em regiões parcialmente homogêneas, onde as paisagens se encontrem em contínuo processo de equilíbrio dinâmico, sem grandes variações em seus processos denudacionais e agradacionais.

Inspirados pela metodologia de Hjort e Luoto (2010), Silva (2012) e Pereira et al. (2013) quantificaram a geodiversidade a partir da utilização de grelhas sobrepostas a mapeamentos temáticos para a quantificação de múltiplos fatores em porções do território brasileiro. Nesse método executa-se a contagem da diversidade de elementos naturais e sobreposição dos aspectos por quadriculas através do geoprocessamento (Figura 3). Para isso utilizaram as bases vetoriais de Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Hidrografia,

Recursos Minerais e Paleontologia. A partir da soma de variáveis em cada um desses aspectos chegou-se aos índices parciais da geodiversidade, ou seja, dos elementos. Após a soma desses índices parciais estabeleceu-se 5 intervalos de classificação da geodiversidade: muito baixa; baixa; média, alta e; muito alta.

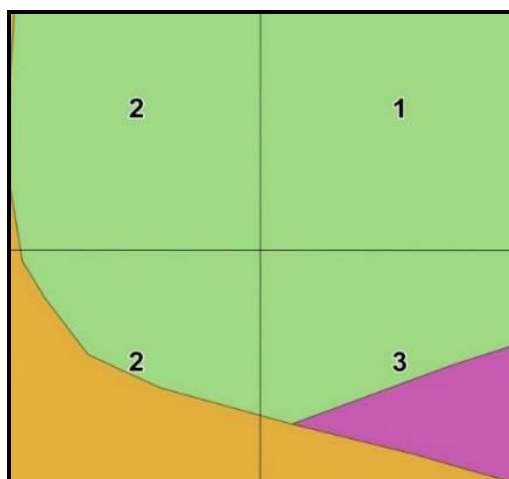


Figura 3 – Modelo de grelha de quantificação com 4 quadrículas, sobreposto a mapeamento temático onde pode-se contabilizar elementos distintos mapeados.

Mediante aos trabalhos dos autores citados anteriormente o índice de geodiversidade passou a ser amplamente usado nos mais diversos estudos sobre geodiversidade no Brasil, obtendo resultados bastante promissores, a exemplo de Ferreira (2014), que propôs os índices de geodiversidade para o Estado de Pernambuco. O autor encontrou valores muito altos e altos de geodiversidade concentrados em zonas com estruturas geológicas e superfícies de contato morfoestrutural. Comparando os valores obtidos com áreas propícias a conservação propostas por órgãos estaduais de meio ambiente, possibilitando, de modo geral, identificar as áreas com necessidades urgentes de conservação, inclusive algumas delas se sobrepuseram as unidades de conservação existentes no Estado. Mais recentemente pode-se citar os estudos de Carvalho-Neta et al. (2019), que analisando em média escala a geodiversidade da Chapada do Araripe, identificou os maiores índices da geodiversidade concentrados nas encostas estruturais da mesma, confirmando, em parte, o mapeamento e valores propostos em microescala por Ferreira (2014).

No contexto internacional, pode-se citar o trabalho de Bétard e Peulvast (2019), que não só quantificaram o índice de geodiversidade, através de grelhas de sobreposição de variáveis geológicas, geomorfológica, pedológicas, paleontológicas e hidrográficas,

como também quantificaram os riscos a geodiversidade através de dados uso do solo, unidades de conservação e populacionais, para quantificar através de ponderações a *geodiversity hotspot*, ou zonas de conservação imediata da geodiversidade ou zonas de risco.

As metodologias baseadas na identificação de índices de geodiversidade são amplamente aplicadas em diversos contextos e escalas, a exemplo de: RUBAN (2010); ARRUDA (2013); ARRUDA e BARRETO (2015); PEREIRA e RUCHKYS (2016); ARAÚJO (2016); ARAÚJO & PEREIRA (2018) e; BÉTARD et al, (2018). Diante disso, o presente estudo propõe a utilização da metodologia de identificação de índices de geodiversidade para estudar um importante complexo estuarino-lagunar presente na Região Metropolitana de Maceió, na porção centro-sul do litoral de Alagoas. Com vistas a dar continuidade ao estudo dessa porção tão rica em diversidade de paisagens e processos naturais, intimamente ligada a construção histórica, social e cultural do Estado, como apresentado por Ferreira et al (2019). Além de tentar contribuir para a construção de um banco de dados sobre os elementos e conjuntos naturais e ambientais que compõem esse mosaico chamado CELMM.

Procedimentos metodológicos

O conjunto metodológico do presente estudo pode ser dividido em 5 etapas, excetuando-se a definição da temática, concebida a partir das leituras da matriz conceitual, são elas: definições espaciais, levantamento bibliográfico e cartográfico, processamento de dados, definição dos índices e interpolação/classificação dos resultados. Essas etapas foram seguidas de forma sequenciada e concomitantemente na construção do trabalho.

Nas definições espaciais foram escolhidas a escala do estudo (1.250.000) e o dimensionamento da grade (550x550 metros). Esses valores foram estabelecidos para melhor se adequarem as bases cartográficas e oferta de informações existentes sobre a área (Figura 4).

No levantamento bibliográfico foram revisados estudos e autores que discutiram temáticas e aplicações dos índices de geodiversidade, prosseguindo assim para o levantamento de dados cartográficos que subsidiassem o processamento e confecção de mapas temáticos, onde foram levantadas bases vetoriais dos elementos da geodiversidade, são elas: Geologia (CPRM, 2015 - 1:250.000), Estruturas Geológicas (CPRM, 2015 - 1:250.000), Recursos Minerais (CPRM, 2015 - 1:250.000), Geomorfologia (SILVA, 2019

– 1:100.000), Dissecação do Relevo (SILVA, 2019 – 1:100.000), Hidrografia (Extração de MDE corrigido – 1:50.000 e CPRM, 2015 – 1:250.000) e Solos (EMBRAPA, 2013 – 1:100.000).

No processamento dos dados, as bases vetoriais foram submetidas ao processo de dissolução de geometrias de forma a deixar apenas os atributos e geometrias de interesse no estudo. Em seguida, passou-se ao procedimento de junção espacial ou *spatial join*, juntando à base vetorial a grade de quadrículas, possibilitando contabilização da presença de cada aspecto abiótico. Os valores atribuídos correspondem às subdivisões que cada aspecto possui em sua respectiva quadrícula a exemplo de tipologias litológicas, classes de solos e morfologias de relevo. Esse procedimento foi realizado com auxílio do software Quantum Gis 3.4. (versão a longo prazo), através de rotinas automatizadas no *model builder*.

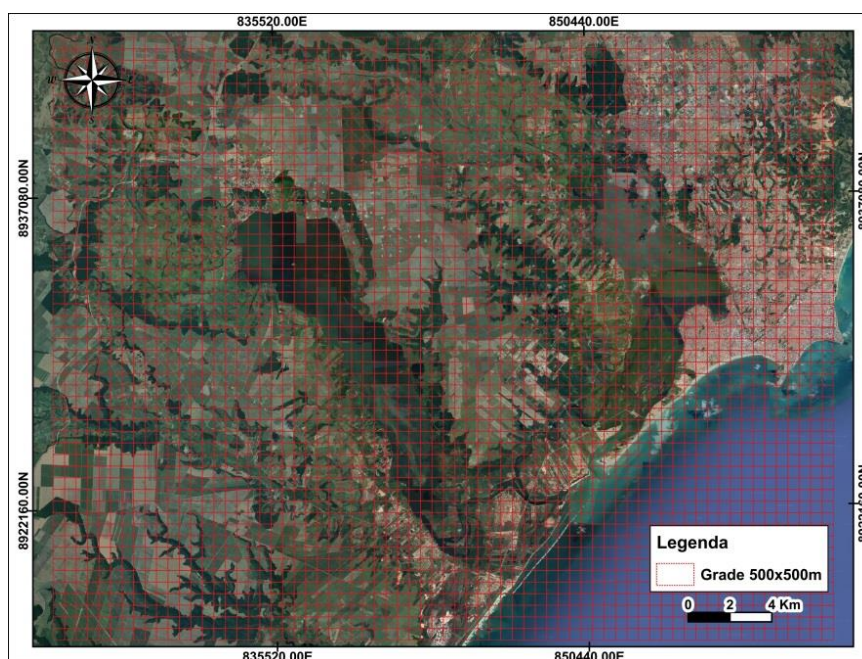


Figura 4 – Grade sobreposta à área de estudo.

Na definição dos índices parciais foram atribuídos quais aspectos seriam levados em consideração para o cálculo dos valores através de uma soma simples de elementos. Os referidos parâmetros dos índices são:

- **Índice Geológico (IGL):** no cálculo para a obtenção dos valores desse índice foi definido com a contabilização de 1 (um) ponto para cada unidade litoestatigráfica

afloraste na quadrícula. As unidades contabilizadas foram: Formação Barreiras, Depósitos Litorâneos, Depósitos Flúvio-Marinhos, Depósitos de Pantano e de Mangue, Depósitos Litorâneos Indiferenciados, Formação Maceió, Formação Poção e Formação Muribeca (CPRM, 2015). Ainda foi acrescentado mais 1 (um) ponto para cada contato e/ou estrutura geológica existente, sendo encontradas apenas falhas extensionais encobertas (CPRM, 2015).

- **Índice Geomorfológico (IGM):** para a quantificação de parâmetros do relevo foi definido 1 (um) ponto para cada unidade geomorfológica no Complexo propostas por Silva (2019), são elas: na unidade morfoescultural dos Baixos Planaltos Sedimentares Costeiros, onde foram encontrados os Tabuleiros Conservados, Tabuleiros Dissecados em Colinas e as Depressões Intraplanálticas; na unidade morfoescultural da Planície Costeira foram contabilizadas as Planície Flúvio-Marinhas, Fluviais e Eólicas. Também foi adicionado 1 (um) ponto as classes de dissecção do relevo encontradas por Silva (2019), o autor utilizou metodologia de Guimarães et al. (2017), identificando na área com padrões de dissecção Muito Baixo, Baixo, Alto e Muito Alto. A escolha da dissecção foi motivada pelo fato de ela representar melhor os processos regionais de esculturação do relevo.
- **Índice de Solos (IS):** na quantificação do mesmo foi atribuído o valor de 1 (um) ponto para classe de solo contabilizada no da EMBRAPA (2013), onde são encontrados os: neossolos quartarênicos e flúvicos; os latossolos amarelos; os argissolos vermelhos, acinzentados e amarelos; os gleissolos; os solos de mangue e espodossolos.
- **Índice Hidrográfico (IH):** a utilização do índice individual e não como sub-índice, como em outras metodologias, foi motivada pela representatividade dos fatos hidrográficos da área de estudo, para isso, foi utilizada metodologia de Pereira et al. (2013), hierarquizando-se os canais pelo método de Strahler (1960), pontuando os canais pelas suas ordem, para a quantificação foram divididos os canais por classes, 1 (um) ponto para canais de 1° e 2° ordem, 2 (dois) pontos para canais de 3° e 4° ordem e 3 (três) pontos para canais de 5° ordem ou superiores. A malha hidrográfica classificada foi gerada a partir as MDE de todas as bacias dos rios que desagüam no Complexo. Esse procedimento é semelhante ao adotado por Ferreira (2014), utilizando também os limites das bacias, acrescentando 1 (um) ponto para cada bacia presente na quadrícula.

- **Índice Mineral (IM):** para o cálculo do mesmo foi pontuado 1 (um) ponto para cada área com extração mineral, jazigo em exploração, e 1 (um) ponto para cada área potencial para extração, através da base vetorial da CPRM (2015), foram encontradas áreas com exploração de água mineral, argila, petróleo, turfa e sal-gema.

Para todos os índices foi atribuído o valor 0 (zero) para áreas oceânicas uma vez que a mesma não foi considerada por este estudo. Vale ressaltar que o índice paleontológico do Complexo, foi suprimido pela ausência de dados, tendo em vista que não se conseguiu identificar na bibliografia qualquer incidência de registros com localização na área. Nisso ao fim foram somados os índices individuais, obtendo-se um valor final do índice de geodiversidade (IG) para as quadrículas no Complexo.

Na representação cartográfica, de forma a deixar os resultados mais confiáveis, foram testados métodos de interpolações, uma vez que agregação das quadrículas podem gerar resultados superestimados. Foram testados vários métodos de interpolação dos valores finais de IG de forma a deixar os dados mais uniformes (IDW, Natural Neighbor, Spline, Krigagem, Tope to Raster e Densidade de Kernel). O método de interpolação que obteve melhores representações dos dados foi através do método de *Krigagem Grauseana*, onde de acordo com Araújo (2016) e Araújo & Pereira (2017), tal método é a melhor representação para índices de geodiversidade, tornando os valores mais uniformes e regulares. Mediante a isso os valores de IG passaram por tal método, onde os resultados foram agrupados em classes pelo método de intervalos iguais, admitindo intervalos de 2,5 (dois e meio) pontos entre as classes (Tabela 1).

Tabela 1 – Classes de Geodiversidade

| INTERVALOS DE IG | CLASSES DE GEODIVERSIDADE |
|------------------|---------------------------|
| 0 – 2,5 | Muito Baixa |
| 2,5 - 5 | Baixa |
| 5 – 7,5 | Média |
| 7,5 - 10 | Alta |
| 10 – 12,5 | Muito Alta |

Resultados e discussões

A execução das etapas metodológicas, anteriormente mencionadas, permitiu a aquisição dos dados e sua interpretação, possibilitando a construção do presente estudo. A

seguir, estão apresentados os resultados em três seguimentos: a quantificação dos índices individuais parciais, índice de geodiversidade e a distribuição espacial das classes de Geodiversidade do CELMM.

Quantificação dos índices parciais de geodiversidade

Os índices parciais da geodiversidade apresentaram heterogeneidade de valores, algo já identificado nos estudos que embasaram a metodologia adotada. Alguns índices apresentaram os maiores valores bastante dispersos, em contra partida, outros ficaram concentrados em áreas específicas, relacionadas a uma série de aspectos mais localizados. Em um panorama geral, cada índice apresentou concentrações e áreas amplas de valores mais baixos (Figura 5), o detalhamento desses valores está apresentado a seguir.

Índice Geológico (IGL)

O IGL apresentou valores entre 1 e 4 pontos, os maiores valores estão concentrados nos contatos litológicos entre a Formação Barreiras, os depósitos litorâneos, depósitos flúvio-marinhos e depósitos litorâneos antigos na porção noroeste do Complexo. Além de concentrar-se também na porção de contato entre formações Barreiras e Maceió, presente na área de falha extencional localizada na porção sudoeste do Complexo.

O CELMM em geral é caracterizado com diversidade geológica entre 1 e 2 pontos (**Figura 6**), com aproximadamente 79% (2800 quadrículas) de suas quadrículas entre esses valores, há ainda 2% (72 quadrículas) de suas quadrículas com valor de 3 pontos e apenas 0,5% (5 quadrículas) com valores acima de 4. O restante das quadrículas 19% com valor 0 (659 quadrículas) devido a sua localização sobre os espelhos d'água das lagoas Mundaú e Manguaba, o que inviabiliza o cálculo da maior parte dos índices, sendo desconsideradas.

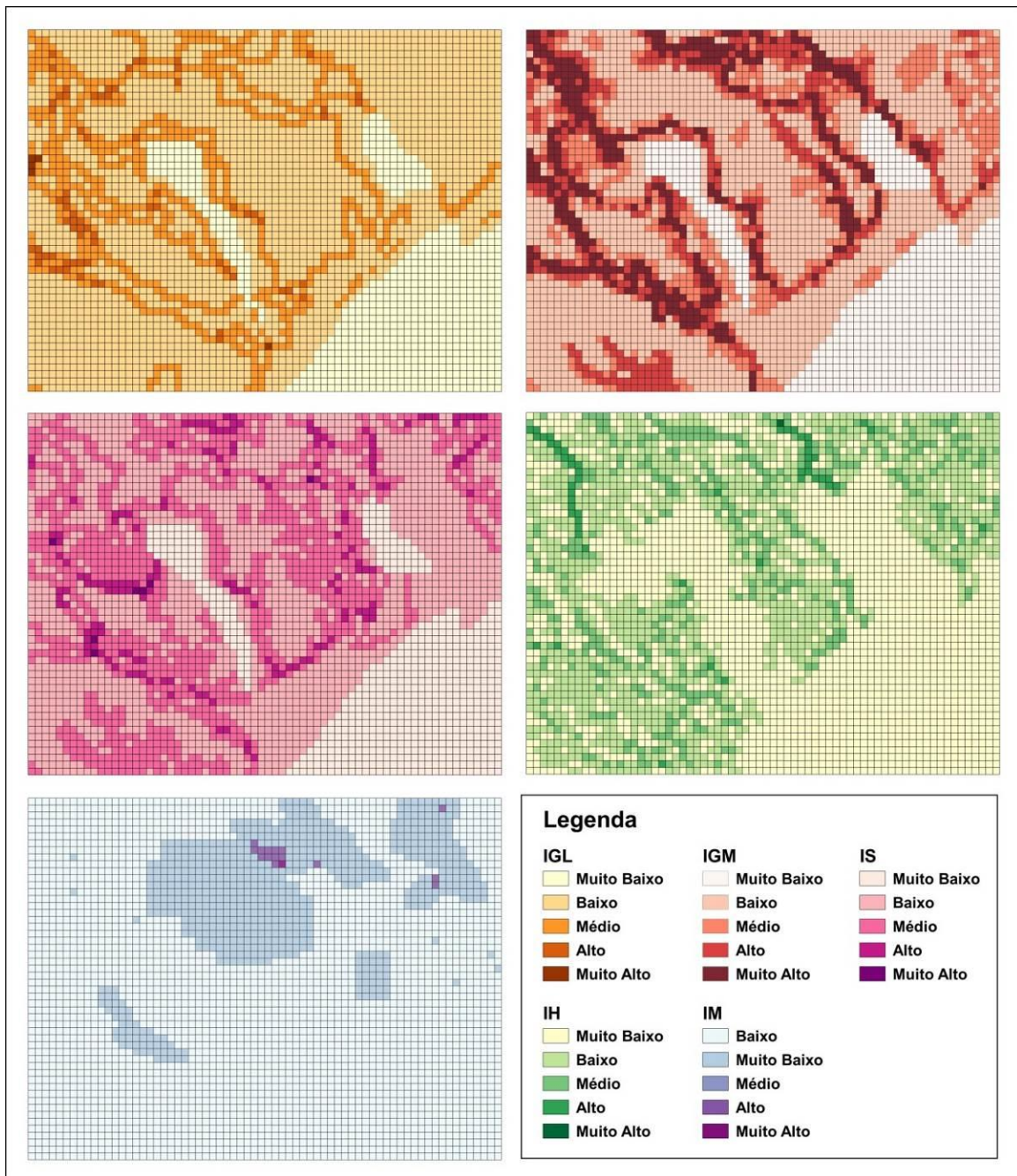


Figura 5 – Série de quadriculas com os índices individuais classificados de forma preliminar

Índice Geomorfológico (IGM)

O IGM do CELMM apresentou valores bastante dispersos e elevados provenientes da diversidade de formas denudacionais bastante dissecadas e formas agracionais diversas, inseridos no interior do Complexo. Os valores obtidos variaram entre 1 e 6 pontos, tendo suas maiores cotações concentradas em áreas de contato morfoescultural entre planícies e tabuleiros costeiros, áreas bastante dissecadas e rugosas. Em contra partida, os topos

tabuliformes e as áreas aplainadas, próximas ao mar e lagunas, obtiveram os menores índices devido à homogeneidade morfológica.

O IGM do Complexo compreende valores entre 2 e 3, que juntos compõe 57% (2025 quadrículas) do total de quadrículas, ainda apresenta 0,05% com pontuação 1 (uma quadrícula) 24% (853 quadrículas) com valores acima de 4, as demais quadrículas, assim como no IGL, também não foram contabilizadas. Dentre os índices calculados o IGM foi o que apresentou maiores pontuações, influenciando fortemente no IG, corroborando com a bibliografia quando os estudos consultados chamavam a atenção para influência do relevo na estruturação da geodiversidade presente nas paisagens.

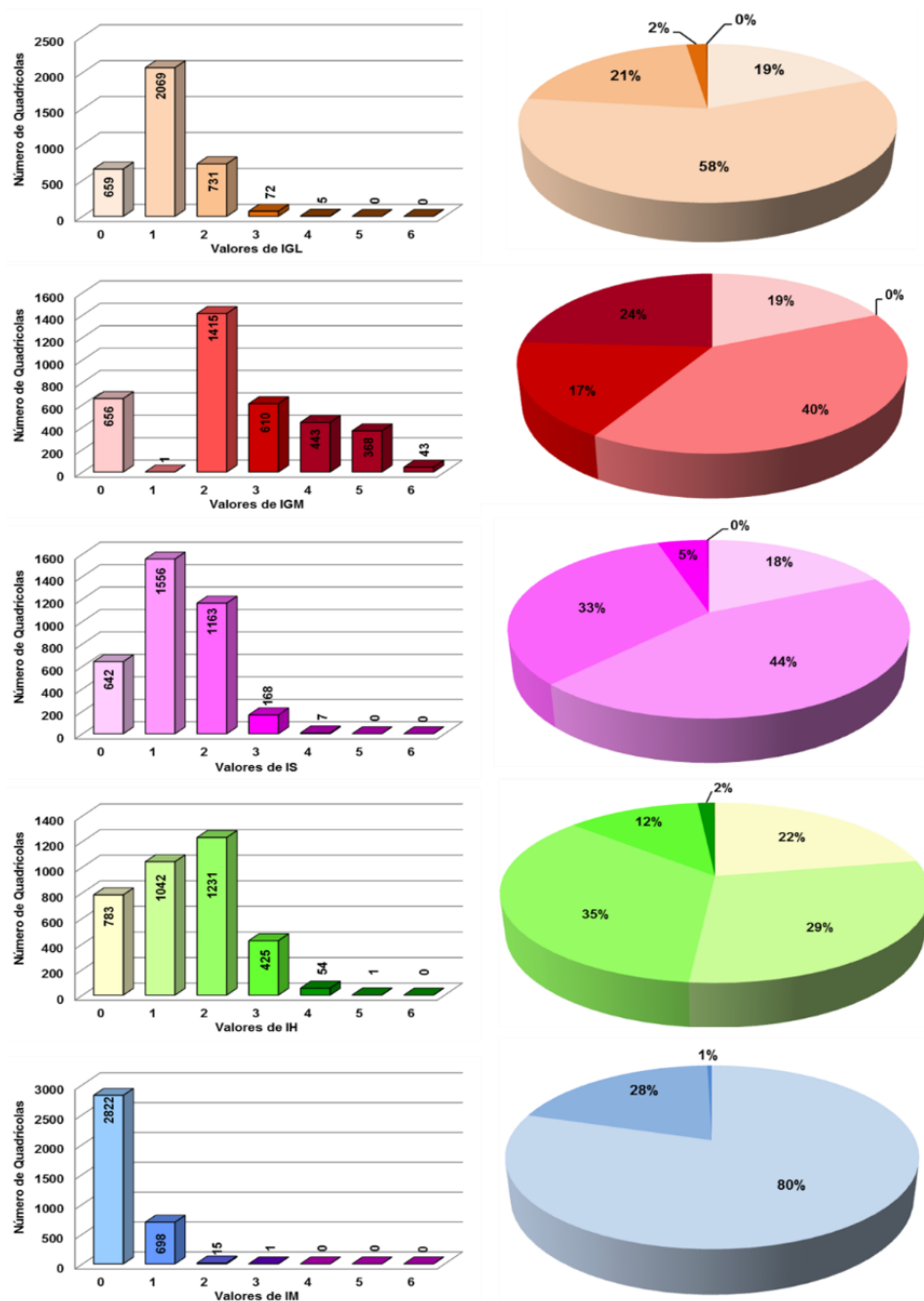


Figura 6: Valores e porcentagens dos índices individuais por pontuação

Índice de Solos (IS)

O IS apresentou maior homogeneidade (**Figura 6**), fato que não surpreendeu devido a presença de condições climáticas úmidas agindo sobre um conjunto litológico relativamente homogêneo, com pouca diversidade de rochas e estruturas. A área em seu conjunto apresenta certa monotonia de classes de solos, divididos entre porções alagadiças, encostas e morfologias bastante aplainadas, seja pela ação da dissecação ou agradação. Os

valores obtidos variaram entre 1 e 4 pontos, tendo suas maiores concentrações em áreas de contato entre espodossolos, gleissolos, neossolos quatzarênicos e argissolos, no setor nordeste do Complexo. Essa porção está localizada entre os canais e ilhas lagunares no entroncamento entre as duas lagunas. Vale considerar as quadrículas localizadas em superfícies de paleofalésias, que apresentam argissolos vermelho-amarelos, latossolos amarelos e neossolos quatzarênicos, neste sentido apresentando 3 pontos, uma clara contribuição geomorfológica na diferenciação de tipologias de solos. As quadrículas em topos dos tabuleiros, por concentrarem os latossolos da região, apresentaram pontuações mais baixas.

O IS da região apresenta 77% (2719 quadrículas) com pontuação entre 1 e 2, 5% (168 quadrículas) com pontuação 3, 0,05% com quadrículas com valores acima de 4 pontos (7 quadrículas) e 18% com valores iguais a 0 (643 quadrículas).

Índice Hidrográfico (IH)

O CELMM é uma área fortemente marcada por sua hidrografia regional, ao se quantificar os rios e riachos obtiveram-se valores balanceados e bem divididos entre as múltiplas pontuações (**Figura 6**). Com relação aos maiores valores, os mesmos ficaram concentrados no contato entre as desembocaduras fluviais dos rios Paraíba do Meio e Mundaú, principais tributários do Complexo Estuarino-Lagunar. Suas amplas várzeas apresentam pequenos corpos hídricos que, quando hierarquizados, apresentam até a 4ª ordem. A área de contato entre as duas maiores bacias e outras bacias menores elevaram os valores atribuídos às quadrículas. As demais localidades fora das várzeas desses rios obtiveram pontuações gradativamente mais baixa devido à distância entre os canais.

O IH valores que correspondem a 35% de sua área com pontuação 2 (1231 quadrículas), 10% com pontuação 1 (399 quadrículas), 22% com pontuação 0 (783 quadrículas), 12% com valor 3 (425 quadrículas) e 2% com cotação igual ou acima de 4 (55 quadrículas). Os valores referentes às quadrículas presentes na área das lagunas não foram contabilizados devido à ausência dos demais índices não seria possível a classificação nem contribuição no cálculo do IG.

Índice Mineral (IM)

A atividade mineral fortemente explorada no Complexo, marcada pela extração de óleo e sal-gema, além de materiais para a construção civil, possibilitou o cálculo valores razoavelmente baixos, quando comparados às demais variáveis do IG (**Figura 6**). Em parte, isso se dá devido à dificuldade de espacialização e bases cartográficas mais precisas sobre mineração e potencial de exploração na região. Os potenciais jazigos estão presentes em múltiplas unidades de conservação e possuem seus limites bastante recortados e restritos.

Na contabilização do IM as maiores pontuações estão concentradas em áreas com exploração de óleo e água mineral, além de áreas potenciais de exploração de argila, as quais apresentaram pontuação 3. As áreas intersectadas e interiores dos jazigos ficaram restritas a pontuações 2 e 1, respectivamente. Já as demais áreas obtiveram pontuação 0 o que representou praticamente 71% da malha (2163 quadriculas). A maior proporção é representada por pontuação 1 com 28% (689 quadrículas) e 1% com valores maiores ou iguais a 2 (16 quadrículas).

Índice de Geodiversidade

Após o inventário e quantificação dos índices geológicos, geomorfológicos, pedológicos, hidrográficos e de recursos minerais, foi calculado o Índice de Geodiversidade (IG) a partir da soma dos atributos em análise, de forma a não favorecer nem um atributo em relação a outro, identificando os valores individuais de cada quadrícula. Chegou-se então aos valores do IG inicial, que apresentou dados entre 0 e 17 pontos distribuídos de forma dispersa ao longo do Complexo, com maiores valores entre 6 a 9 pontos em aproximadamente 2000 quadrículas (56,6%) com dados praticamente lineares, enquanto os extremos apresentaram variações em seus dados bastante íngremes (**Figura 7**).

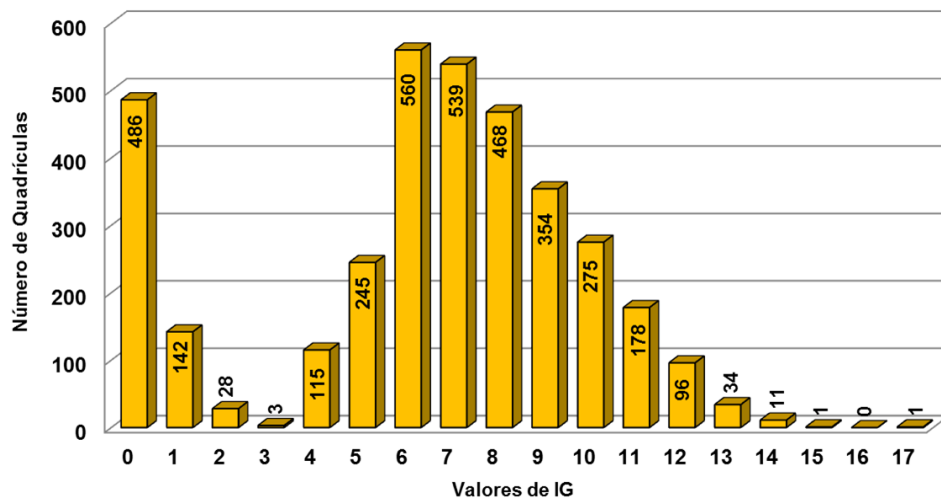


Figura 7 – Gráfico com a relação entre os valores de IG e o número de quadrículas.

As maiores pontuações estão localizadas nas amplas várzeas bordeadas por encostas íngremes fortemente dissecadas dos rios Mundaú, Paraíba do Meio e Samaúma, com quadrículas apresentando entre 15 e 17 pontos (Figura 8). Esses valores são justificados pela diversidade de elementos da geodiversidade presentes nessas áreas, derivadas de processos morfodinâmicos e pedológicos complexos exumando e modelando litologias da Bacia de Alagoas. Além da contribuição tectônica que se expressa no desnivelamento de blocos e falhamentos que contribuíram para a formação do Complexo Estuarino-Lagunar. Esse conjunto associado as variações do nível do mar, ao longo do Quaternário, e mais recentemente as sazonalidades de maré e regimes hidrográfico produziram um leque paisagístico com geodiversidade abundante. Essa configuração com elevada dispersão dos dados, contribuiu para que algumas porções ficassem com pontuações com intervalos elevados e pouco homogêneos.

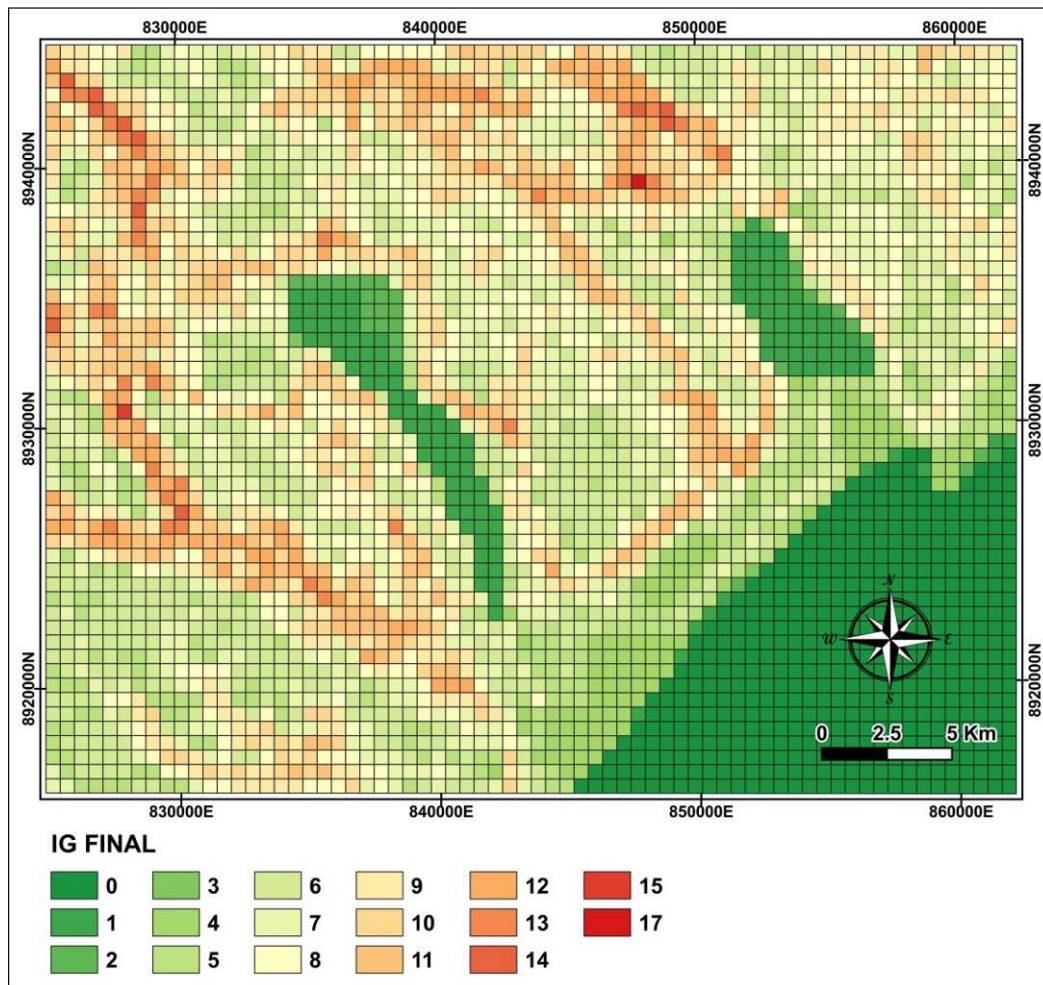


Figura 8 – Distribuição dos valores de IG ao longo do CELMM

Em outras porções ocorreram também quadrículas com pontuações variando entre 9 e 14, isso se deu nas proximidades das áreas com os mais altos valores na transição entre as áreas mais elevadas e as planícies alagadiças que bordeiam os espelhos d'água. Já as demais quadrículas, por estarem inseridas em contextos homogêneos ou pouco dinâmicos, apresentaram valores mais baixos entre 1 e 8. Compreendem áreas mais homogêneas, onde predomina um ou alguns poucos elementos da geodiversidade, a exemplo das tipologias de solos ou morfologias do relevo.

Dispersão espacial classes da Geodiversidade do CELMM

Buscando classificar os dados obtidos no IG de forma mais precisa e homogênea, em classes específicas, para uma análise pormenorizada converteu-se a quadrícula com os valores finais de IG em uma malha de centroides e utilizou-se o método de interpolação *Krigagem Grauseana*, com o objetivo de ponderar os valores pontuais com seu vizinho

mais próximo formando valores intermediários entre os centroides. Neste processo algumas porções antes com valores bastante dispersos, tornaram-se semelhantes aos dados de seus vizinhos mais próximos, enquanto as áreas com valores baixos ou com valores próximos a 0 conseguiram acréscimos consideráveis (Figura 9).

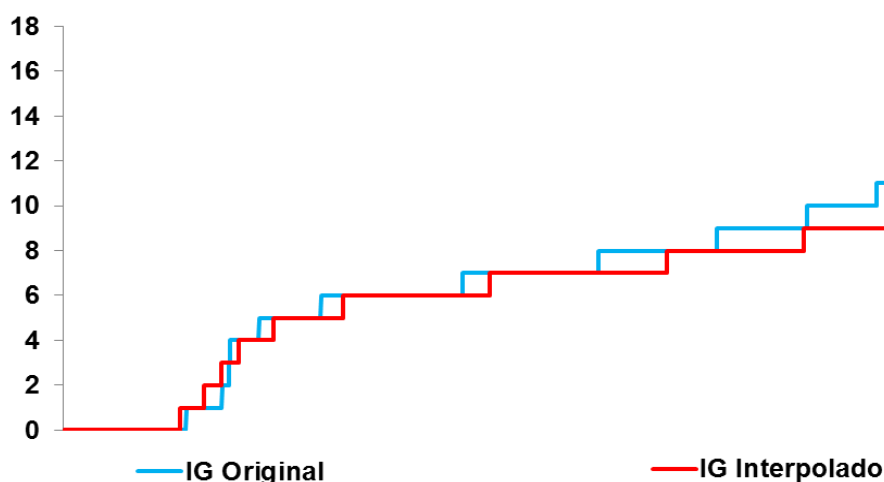


Figura 9 – Valores de IGs originais e interpolados

Ao se analisar os resultados da interpolação em dados contínuos é possível observar que as áreas com maiores e menores pontuações, antes delimitadas, apresentam-se praticamente as mesmas, com pequenas variações provenientes da interpolação, havendo a consequente redução e aumento dos valores em algumas porções (Figura 10). As consequentes redução ou aumento dos valores tornaram os histogramas do IG mais uniformes em relação aos dados anteriores, permitindo assim uma melhor delimitação das classes em intervalos regulares de 2,5 pontos entre as classes de geodiversidade. Isso possibilitou, identificando os valores, classificação do IG em áreas de muito baixa, baixa, média, alta e muito alta geodiversidade ao longo do Complexo (Figura 11).

Com base nos valores interpolados pode-se setorizar as classes de IG, identificando e delimitando suas zonas, zoneando as áreas com maiores potenciais de conservação no uso das terras. Ao analisar as classes mapeadas foi possível observar que o Complexo, de modo geral, apresenta geodiversidade média, apresentando área de 372 Km² do total classificada com valores entre 5 e 7,5 pontos (35%), enquanto que áreas com alto valor apresentaram 371 Km² (34%), as com valores muito baixos 178 Km² (17%), a classe muito alta com 78 km² (7%) e valores baixos com 74 km² (7%).

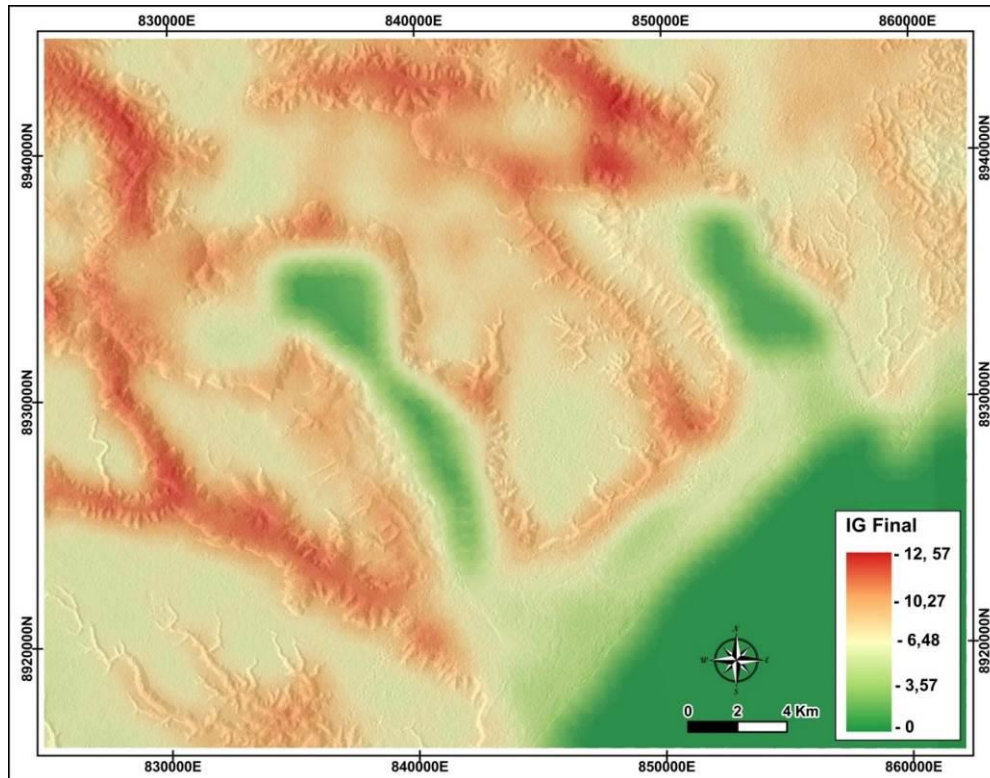


Figura 10 – Valores contínuos do IG interpolado

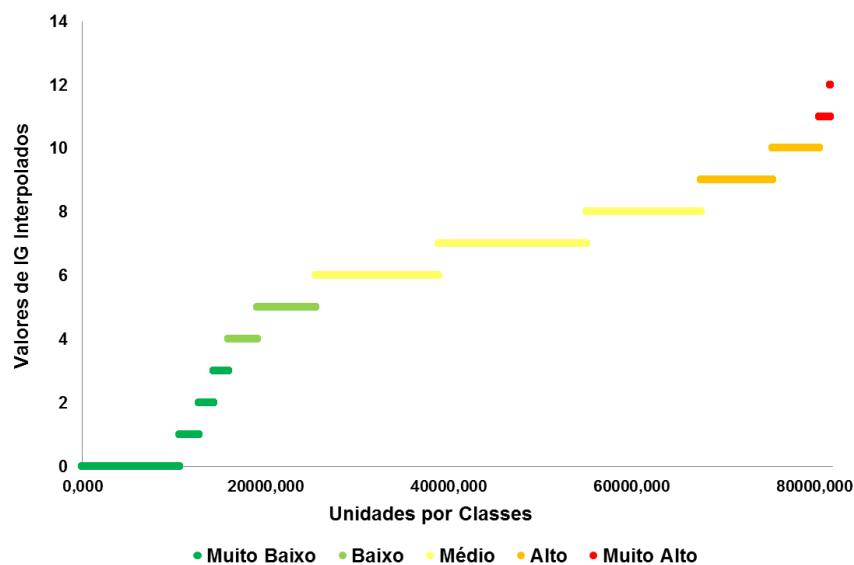


Figura 11 – Dados de IG interpolados divididos por classes

Ao se comparar os valores obtidos com a bibliografia e base cartográfica foi possível verificar que as áreas com classes de geodiversidade que apresentaram valores de IGs altos e muito alto correspondem aquelas inseridas em Áreas de Proteção Ambiental – APA já instituídas no Complexo (Figura 12). Em contra partida, também se verificou que algumas delas ainda se encontram sem plano de manejo ou com documentos antigos e sem

atualização, necessitando de correções e inserções. Nesse sentido, os resultados obtidos no presente estudo podem contribuir, buscando sensibilizar a sociedade em geral e Poder Público sobre a necessidade de conservação do CELMM.

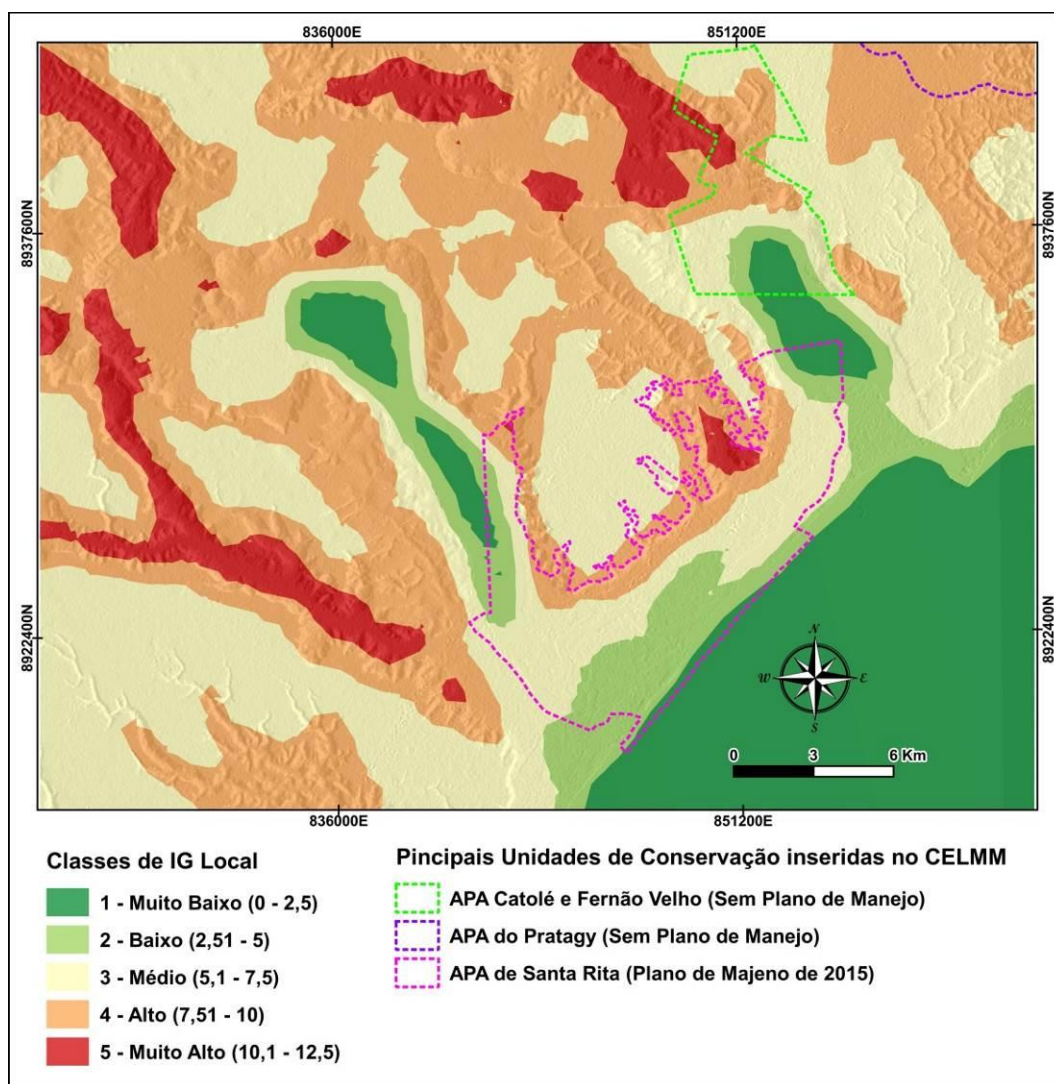


Figura 12 – Classes de IGs e as APAs inseridas no contexto do CELMM

As informações sobre a geodiversidade do Complexo, seus elementos, classificação e espacialização, trazem delimitações e zoneamentos que podem e devem ser utilizadas na tomada de decisões ligadas ao meio ambiente local. Essas informações se levadas em consideração, podem ajudar no planejamento do ordenamento de atividades, principalmente econômicas de exploração mineral, extrativismo e lazer desenvolvidas na área, algumas delas potencialmente danosas ao meio ambiente. Todas as atividades pensadas e implementadas no CELMM devem ser cuidadosamente pensadas com vista ao

planejamento ambiental e sustentável, promovendo a geoconservação e interferindo o mínimo possível em suas paisagens e dinâmicas, dada a sua riqueza e importância para Alagoas e sua construção histórica, social e cultural.

Considerações finais e recomendações

Ao se executar uma tentativa de avaliação da geodiversidade se tem pela frente um desafio bastante instigante, frente ao elevado volume de dados e metodologias e processamento de análise de informações possíveis. Nesse sentido, os índices de geodiversidade surgem como ferramentas bastante úteis, especialmente as metodologias de quantificação automatizada. O processo de avaliação quantitativa da geodiversidade, buscando minimizar erros em meio a subjetividade, promove uma análise mais precisa, pode trazer e simplificar informações bastante úteis ao planejamento territorial.

A metodologia utilizada no presente estudo se mostrou promissora, em sua primeira aplicação na área, possibilitando a identificação dos principais setores com alta e muito alta concentração de geodiversidade no Complexo, em escala de detalhe, frente as adaptações a metodologia utilizada por Silva (2012), Pereira et al (2013), Ferreira (2014), Araújo (2016) e Bétard e Peulvast, (2019). Esses estudos foram realizados em escalas e realidades geoambientais e configurações espaciais bastante distintas da área estudada. Neste sentido contribuindo para o avanço na avaliação da geodiversidade em escalas de detalhe e possibilitando uma maior flexibilidade do método de análise.

Os resultados obtidos só foram possíveis mediante a quantidade de dados base sobre os elementos da geodiversidade, disponíveis para a área, permitindo a complementação e inserção de novos elementos, variáveis, nos índices parciais que compõem o cálculo do IG. Daí os resultados permitiram a construção de produtos cartográficos bastante semelhantes aos mapas de geodiversidade que utilizaram a mesma metodologia em outras regiões do País, o que demonstra que as adaptações metodológicas se mostraram bastantes pertinentes à realidade da área estudada.

Analisando os resultados é possível concluir que o CELMM apresenta um conjunto de geodiversidade bastante diversificado, composto por um mosaico de feições classificadas como de médias e altas geodiversidade (69%), essas passíveis de estratégias de geoconservação, visando sua gestão e manutenção na paisagem para as gerações futuras. As áreas mapeadas e classificadas necessitam de iniciativas que visem estratégias

e planos de conservação, principalmente aquelas localizadas em Áreas de Proteção Ambiental - APA, dando enfoque às áreas de alta concentração de geodiversidade e reconhecida biodiversidade.

Os produtos e avaliações efetuadas por este estudo podem ser facilmente integrados a zoneamentos e planos de gestão pelo Poder Público, fornecendo informações científicas de maneira simplificada, de fácil leitura através de mapas, que podem ser integrados a painéis e placas explicativas. Os resultados, aqui apresentado, também podem ser inseridos em diagnósticos ambientais e estudos de viabilidade de implantação de atividades econômicas e de lazer a curto e médio prazos na área.

O presente estudo representa a continuação das discussões sobre a geodiversidade de Alagoas, em sua porção centro-leste, inserida em debates nos últimos anos, nacional e localmente, a partir da apresentação de estudos em diversos eventos científicos. Entretanto, os resultados, aqui apresentados, não representam um produto finalizado no estudo da geodiversidade do Estado, mas sim uma avaliação realizada frente as possibilidades metodológicas atuais, lançando-se a experimentos e métodos semelhantes ao que se tem feito em outras porções do Território brasileiro.

Referências

ARAÚJO, A. M. *Avaliação dos Recursos Hídricos no Âmbito da Geodiversidade: aplicação ao Estado do Ceará*. Tese. (Doutorado Ciências – Especialidade em Geologia) - Universidade do Minho, Braga, 2016. 293f.

ARAÚJO, A. M.; PEREIRA, D. I. A new methodology contribution for the geodiversity assessment: applicability to Ceará State (Brazil). *Geoheritage*, Suíça, v. 10, p. 591-605, 2018.

ARRUDA, K. E. C. *Geodiversidade do município de Araripina – PE, Nordeste do Brasil*. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, 2013. 176f.

ARRUDA, K. E. C.; BARRETO, A. M. F. Índice de geodiversidade do município de Araripina – PE, Brasil. *Estudos Geológicos*, v. 25, n. 1, p. 103-117, 2015.

BÉTARD, F.; PEULVAST, J. P.; MAGALHÃES, A. O.; CARVALHA-NETA, M. L.; FREITAS, F. L. Araripe basin: a major geodiversity hotspot in Brazil. *Geoheritage*, Suíça, v. 10, p. 543-558, 2018.

BÉTARD, F.; PEULVAST, J. P. Geodiversity hotspots: concept, method and cartographic application for geoconservation purposes at a regional scale. *Environmental Management*, Suíça, v.63, n. 6, p. 822-834, 2019.

CARCAVILLA-URQUI, L.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, J.; DÚRAN-VALSERO, J. Patrimonio Geológico y geodiversidade: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos. *Cuadernos del Museo Geominero*, Madrid, v.7, p. 360, 2007.

CARVALHA-NETA, M. L.; CORRÊA, A. C. B.; BÉTARD, F. Quantificação da Geodiversidade do Geopark UNESCO Araripe. *Revista de Geociências do Nordeste*, Caicó, v.5, n.2, p. 81-96, 2019.

CORRÊA, A. C. B. A geografia física: uma pequena revisão de seus enfoques. *RIOS*, Paulo Afonso, v. 1, n. 1, 2005.

COSTA, J. A. & WANDERLAY, P. R. M. Evolução geológica-geomorfológica do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba, Alagoas. *Revista de Geociências*, nº6, 1994.

CPRM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. *Mapa geológico e recursos minerais do Estado de Alagoas*. Recife, 2015.

CUMBE, A. N. F. *O Patrimônio Geológico de Moçambique: Proposta de Metodologia de Inventariação, Caracterização e Avaliação*. Dissertação (Mestrado em Patrimônio Geológico e Geoconservação) - Universidade do Minho, Braga, 2007. 132f.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Agropecuária. Base vetorial de classes de solos de alagoas (1:100.000), *Zoneamento Ecológico e Econômico de Alagoas - ZAAL*. Maceió, Embrapa Solos – UEP, 2013.

FERREIRA, B. *Geodiversidade do estado de Pernambuco*. Tese (Doutorado em geociências) - Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, 2014. 243f.

FERREIRA, B.; SILVA, T. C. L.; SOARES, M. A.; SANTOS JÚNIOR, J. F. Patrimônio Geológico do Litoral da Região Metropolitana de Maceió – RMM, Estado de Alagoas, Nordeste do Brasil. *Revista de Geociências do Nordeste*, Caicó, v.5, n.2, p. 108-130, 2019.

GUIMARÃES, F. S.; CORDEIRO, C. M.; BUENO, G. T. Uma proposta para a automatização do índice de dissecação do relevo. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Brasília, v. 18, nº1, p. 155-167, 2017.

HJORT, J.; LUOTO, M. Geodiversity of high-latitude landscapes in northern Finland. *Geomorfology*, n.115, 2010.

IBGE – Instituto Brasileiros de Geografia e Estatística. *Malha municipal digital do Estado de Alagoas*, 2015. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipio_2015/UFs/AL/. Acesso: 05 de set. 2019.

LIMA, F. F. *Proposta metodológica para a inventariação do Patrimônio Geológico Brasileiro*. Dissertação (Mestrado em Patrimônio Geológico) - Universidade do Minho, Braga, 2008. 110f.

LIMA, F. F.; BRILHA, J.B.; SALAMUNI, E. Inventorying geological heritage in large territories: a methodological proposal applied to Brazil. *Geoheritage*, vol. 2, [s.i.]: 2010. p. 91-99.

LIMA, R. C. A. *Estudo sedimentológico e geoambiental no sistema lagunar Mundaú – Alagoas*. Dissertação (Mestrado em Geociência) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1998. 150p.

MARTÍNEZ, T.; SCHILLING, M.; HERVÉ, F.; OROZCO, G.; CHARRIER, R. *Valoración de la geodiversidad en la comuna de Puerto Varas: Nuevas perspectivas para el desarrollo local*. Memoria para Optar al Título de Geólogo, Universidad de Chile, 2017.

PEREIRA, E. O.; RUCHKYS, U. Quantificação e análise da geodiversidade aplicada ao geoturismo na área de proteção ambiental Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais. *RA'EGA*. Curitiba, v.37, p. 207-226, 2016.

PEREIRA, D. I.; PEREIRA, P.; Brilha J.; SANTOS, L. Geodiversity assessment of Paraná State (Brazil): a methodological approach. *Environmental Earth Sciences*, v. 52, p. 541-552, 2013.

RUBAM, D. Quantification of geodiversity and its loss. *Proceedings of the Geologists' Association*, v.121, p. 326-333, 2010.

SERRANO, E.; RUIZ-FLAÑO, P.; ARROYO, P. *Geodiversity assessment in rural landscape: Tiernes-Caracena area (Soria, Spain)*. *Memorie Descrittive Della Carta Geologica d'Italia*, n. 87, p. 173-180, 2009.

SILVA, J. P. *Avaliação da Diversidade de Padrões de Canais Fluviais da Geodiversidade na Amazônia - Aplicação e Discussão na Bacia Hidrográfica do Rio Xingu*. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo, 2012.

SILVA, T. C. L. *Geodiversidade do município de Maceió: possibilidades didáticas no ensino de geografia física*. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação em Geografia) do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente – IGDEMA, da Universidade Federal de Alagoas, 2019. 63f.

STRAHLER, A. N. *Physical Geography*. Nova Iorque: Willey & Sons, 1960. 534p.

XAVIER-DA-SILVA, J. Geomorfologia, análise ambiental e geoprocessamento. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.1, n.1, p. 48-58, 2000.

XAVIER-DA-SILVA, J.; CARVALHO FILHO, L. M. Índice de geodiversidade da restinga da Marambaia (RJ): um exemplo do geoprocessamento aplicado à geografia física. *Revista de Geografia*, Recife: DCG/UFPE, n. 1, p. 57-64, 2001.