



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM EM CIÊNCIAS
DA TERRA E DO AMBIENTE - PPGM



PPGM

**ESTUDO DE MÉTODOS QUANTITATIVOS DA GEODIVERSIDADE E SUA
APLICABILIDADE NA CHAPADA DIAMANTINA - BA**

ROGER TORLAY

**Feira de Santana
2018**



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM EM CIÊNCIAS
DA TERRA E DO AMBIENTE - PPGM



PPGM

**ESTUDO DE MÉTODOS QUANTITATIVOS DA GEODIVERSIDADE E SUA
APLICABILIDADE NA CHAPADA DIAMANTINA - BA**

ROGER TORLAY

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente da Universidade Estadual de Feira de Santana, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Paulo de Tarso Amorim de Castro.

Co-orientadora: Prof.^a Dra. Marjorie Csekö Nolasco.

Feira de Santana
2018

Ficha Catalográfica – Biblioteca Central Julieta Carteado

T635e Torlay, Roger
Estudo de métodos quantitativos da geodiversidade e sua aplicabilidade na Chapada Diamantina-BA. / Roger Torlay. – 2018. 176f.: il.

Orientador: Paulo de Tarso Amorim de Castro
Co-orientadora: Marjorie Csekö Nolasco
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente, 2018.

1.Índice de geodiversidade. 2.Modelagem em Geociências.
3.Elementos abióticos. 4.Estatística espacial. I.Castro, Paulo de Tarso Amorim de, orient. II.Nolasco, Marjorie Csekö, co-orient.
III.Universidade Estadual de Feira de Santana. IV. Título.

CDU : 55:519.2

Ao povo baiano,
A esta terra Mãe

A ciência será sempre uma busca, jamais uma descoberta.
É uma viagem, nunca uma chegada.

Karl Popper

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus familiares que me apoiam incondicionalmente. Aos meus orientadores, pelo bom convívio e por me trazer a realidade quando necessário, sem tirar minha autonomia, tão importante para o desenvolvimento do pesquisador. Ainda, agradeço a Paulo de Tarso por sua objetividade impar e Marjorie pelas reflexões substanciais, que sem estes fatores seriam impossíveis para o desenvolvimento deste trabalho. Sou grato aos membros da banca, que ajudaram a aprimorar as ideias. Agradeço a CAPES e o INCT pelos auxílios financeiros. Aos professores do PPGM, que também contribuíram para a pesquisa e com meu desenvolvimento profissional. Agradeço a os todos funcionários da UEFS. Aos meus queridos colegas e amigos da minha turma e aos veteranos que, além de partilhar experiências e regionalismos proporcionaram magnífico convívio. Agradeço por último e não menos importante o meu amor Patricia Fiuza, que além de afeto e companheirismo trouxe formidáveis discussões sobre a temática diversidade biológica.

RESUMO

O conceito de geodiversidade foi proposto na década de 1990 e tem ganhado cada vez mais adeptos, principalmente profissionais das geociências. Apesar disso, o reconhecimento por um público científico maior e dentro da sociedade ainda está em estágio inicial, possivelmente devido à falta de um quadro conceitual e metodológico estabelecido. Isso inclui uma caracterização formal da terminologia e uma sistematização de técnicas e ferramentas para promover o conhecimento da geodiversidade. Apesar do uso generalizado do conceito de geodiversidade na literatura, poucos progressos foram feitos no seu mapeamento e avaliação. Assim, ainda existem muitas lacunas sobre questões a respeito da transposição metodológica e até de termos vindos da ecologia. A fim de contribuir com estas discussões o objetivo desta pesquisa foi avaliar e comparar modelos de quantificação da geodiversidade tendo como área piloto a Chapada Diamantina – BA. Os métodos quantitativos escolhidos para avaliação da geodiversidade foram os de Serrano & Ruiz – Flaño e Pereira et al. Então, após aplicar nos territórios, município de Morro do Chapéu e Parque Nacional da Chapada Diamantina os procedimentos baseados naqueles métodos com auxílio dos sistemas de informação geográficas foram gerados mapas com os índices de geodiversidade. Esses produtos foram analisados utilizando métodos estatísticos e avaliados em campo. Além disso, foi proposto uma metodologia de análise espacial utilizando a média aritmética de grades regulares hexagonais e quadradas e análise espacial para avaliação da geodiversidade. Sobre o método Serrano & Ruiz – Flaño foram constatadas algumas limitações metodológicas como o uso do logaritmo natural na equação do índice, a utilização do coeficiente de rugosidade e da dificuldade de serem comparadas diferentes áreas. Sobre o método Pereira et al., constatou-se que a escolha do tamanho de grade interfere substancialmente no resultado final da avaliação da geodiversidade, assim como também na escolha dos elementos abióticos. Concluiu-se que a proposta de utilizar média aritmética entre grades diminuiu a subjetividade na escolha do tamanho. A análise espacial baseada em Moran local e Getis – Ord (Gi) possibilitou o agrupamento dos índices em *hotspots* e *coldspots* de geodiversidade. Dessa forma, resultando em um produto de fácil percepção da riqueza dos elementos abióticos da paisagem.

Palavras-chave: índice de geodiversidade; modelagem em geociências; elementos abióticos; estatística espacial.

ABSTRACT

The concept of geodiversity was proposed in the 1990s and has been gaining more and more supporters, especially among geoscientists. Despite this, the recognition by society and a larger scientific public is still at an early stage, probably due to the absence of an established conceptual and methodological framework. This includes a formal characterization of terminology and a systematization of techniques and tools to promote knowledge of geodiversity. Despite the generalized use of the concept of geodiversity in the literature, there was little progress in mapping and evaluation. Thus, there are still many gaps in the problems of methodological and even terminological transposition from ecology. To contribute to these discussions, the aim of this research was to evaluate and compare geodiversity quantification models, with Chapada Diamantina – Bahia, Brazil, as the pilot area. The quantitative methods chosen for assessing geodiversity were those of Serrano & Ruiz -Flaño, and Pereira and others. Then, after applying the procedures based on those methods with the aid of the geographic information systems, maps with geodiversity indices were generated in the territories of Morro do Chapéu and Chapada Diamantina National Park. These products were both analyzed using statistical methods and evaluated in the fieldwork. In addition, a spatial analysis methodology was proposed using the arithmetic mean of regular hexagonal and square grids, and spatial analysis to evaluate geodiversity. Some methodological limitations were found on the Serrano & Ruiz - Flaño method, such as the use of the natural logarithm in the index equation, the use of the roughness coefficient and the difficulty of comparing different areas. On the Pereira and others Method, it was verified that the choice of grid size interferes substantially with the final result of geodiversity evaluation, as well as with the choice of abiotic elements. It was concluded that the proposal to use arithmetic mean between grids decreases the subjectivity in the choice of size. Spatial analysis based on Local Moran and Getis - Ord (Gi) allowed grouping of the indices in hotspots and coldspots of geodiversity, resulting in a product that facilitates the perception of the richness of the abiotic elements of the landscape.

Keywords: geodiversity index; Models in Geosciences; natural abiotic elements; spatial statistics

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Relação dos conceitos geodiversidade, patrimônio geológico e geossítios	19
Figura 2. Possibilidades de inserção da geodiversidade em várias áreas do conhecimento.....	21
Figura 3. Exemplo teórico para ilustrar os conceitos de riqueza e uniformidade de espécies.....	26
Figura 4. Tipologias dos métodos de avaliação da geodiversidade.....	30
Figura 5. Sistema Orográfico do Espinhaço.....	38
Figura 6. Localização das áreas de estudo: Região Chapada Diamantina, Município de Morro do Chapéu e PNCD.....	39
Figura 7. Associações de litofácies integrantes dos grupos Chapada Diamantina e Una.....	41
Figura 8. Esboço geológico do setor norte da Serra do Sincorá.....	47
Figura 9. Fluxograma metodológico das principais etapas e processamento de dados.	51
Figura 10. Processamento de dados para o índice de geodiversidade (I _g).....	55
Figura 11. Mapa dos pontos verificados em trabalho de campo.....	57
Figura 12. Fluxograma metodológico das etapas de processamento de dados para o mapa de hotspots de geodiversidade na Chapada Diamantina.....	60
Figura 13. Figura 9. Mapa do índice de geodiversidade do PNCD, baseado na proposta de Serrano & Ruiz-Flaño (2007). B: gráfico de frequência do G _d	62
Figura 14. A: mapa do índice de geodiversidade do PNCD sem a variável rugosidade. B: gráfico de frequência das classes de G _d sem R.....	63
Figura 15. A: mapa do índice de geodiversidade com as variáveis solos e litotipos.do PNCD. B: gráfico de frequência das classes de G _d	66
Figura 16. A: mapa do índice de geodiversidade de Morro do Chapéu baseado na proposta de Serrano & Ruiz-Flaño (2007). B: gráfico de frequência das classes de G _d	70
Figura 17. A: mapa do índice de geodiversidade de Morro do Chapéu sem a variável rugosidade. B: gráfico de frequência das classes de G _d	71
Figura 18. A: mapa do índice de geodiversidade com as variáveis solos e litotipos.do PNCD. B: gráfico de frequência das classes de G _d	75

Figura 19. Exemplo da extração de subíndices a partir de grade regular quadrada 0,25 km ² – PNCD.....	78
Figura 20. Cálculo do Ig a partir da soma dos subíndices em grade hexagonal na escala ao milionésimo - PNCD.....	79
Figura 21. Gráfico de frequência da distribuição de células por intervalos do índice de geodiversidade.....	81
Figura 22. Cálculo da diferença de índices de geodiversidade para testar relações de autossemelhança.....	86
Figura 23. Cálculo da diferença de índices de geodiversidade para testar relações de autossemelhança entre grades hexagonais e quadradas,.....	87
Figura 24. Índice de geodiversidade com as variáveis estruturantes extraídas por grades hexagonais – PNCD.....	106
Figura 25. Índice de geodiversidade com as variáveis estruturantes extraídas por grades quadradas - PNCD.....	107
Figura 26. Índice de geodiversidade com as variáveis estruturantes extraídas por grades hexagonais – Morro do Chapéu.....	108
Figura 27. Índice de geodiversidade com as variáveis estruturantes extraídas por grades quadradas – Morro do Chapéu.....	109
Figura 28. Média aritmética dos valores dos índices calculados por diferentes grades.	110
Figura 29. Média aritmética dos valores dos índices calculados por diferentes grades.	111
Figura 30. Mapa de <i>hotspots</i> e <i>coldspots</i> de geodiversidade em diferentes grades – PNCD, a partir do cálculo Getis – Ord.....	113
Figura 31. Mapa de <i>hotspots</i> e <i>coldspots</i> de geodiversidade em diferentes grades – PNCD a partir do cálculo de Moran local.....	114
Figura 32. Mapa de <i>hotspots</i> e <i>coldspots</i> de geodiversidade em grade hexagonal – Morro do Chapéu a partir do cálculo de Moran local e Getis – Ord (Gi).....	115
Figura 33. Mapa de <i>hotspots</i> e <i>coldspots</i> de geodiversidade em grade hexagonal – Morro, a partir do cálculo de Moran local e Getis – Ord (Gi).....	116
Figura 34. Vista oblíqua em 3D no sentido Norte-Sul da região de Águas Claras, setor norte do PNCD.....	117
Figura 35. Exemplo de <i>hotspots</i> de geodiversidade em Morro do Chapéu.....	117

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Comparativo da quantidade de trabalhos publicados em revistas científicas e livros no período 1998 a 2018, com as palavras chaves: <i>biodiversity</i> e <i>geodiversity</i>	10
Tabela 2. PNCD: Cálculos para os índices de geodiversidade (Gd) baseados em Serrano & Ruiz – Flaño (2007).....	61
Tabela 3. Cálculos para Gd com os elementos: litotipos e solos - PNCD.....	64
Tabela 4. Morro do Chapéu: Cálculos para os índices de geodiversidade (Gd) baseados em Serrano & Ruiz – Flaño (2007).....	68
Tabela 5. Cálculos para Gd com os elementos: litotipos e solos – Morro do Chapéu.	73

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Diferentes sistemas de classificação das unidades de paisagem.....	8
Quadro 2. Classificação do relevo a partir da declividade.....	42
Quadro 3. Escala de valores de rugosidade das unidades de paisagem.....	53
Quadro 4. Índice de geodiversidade total do PNCD e Morro do Chapéu.....	77
Quadro 5. Variações nos valores dos índices de geodiversidade.....	80
Quadro 6. Resultado dos cálculos de correlação bivariável de mapas dos índices em diferentes escalas, tamanhos de grades e tipos de grades – PNCD.....	83
Quadro 7. Resultado dos cálculos de correlação bivariável de mapas dos índices em diferentes escalas, tamanhos de grades e tipos de grades – PNCD.....	84
Quadro 8. Resultado dos cálculos de correlação bivariável de mapas dos índices em diferentes escalas, tamanhos de grades e tipos de grades – Morro do Chapéu.....	85
Quadro 9. Ponto de visitação 1 – PNCD.....	88
Quadro 10. Ponto de visitação 2 – PNCD.....	89
Quadro 11. Ponto de visitação 3 – PNCD.....	90
Quadro 12. Ponto de visitação 4 – PNCD.....	91
Quadro 13. Ponto de visitação 5 – PNCD.....	92
Quadro 14. Ponto de visitação 6 – PNCD.....	93
Quadro 15. Ponto de visitação 7 – PNCD.....	94
Quadro 16. Ponto de visitação 7 – Morro do Chap�e.u.....	95
Quadro 17. Ponto de visitação 8 – Morro do Chap�e.u.....	96

Quadro 18. Ponto de visitação 9 – Morro do Chapéu.....	97
Quadro 19. Ponto de visitação 10 – Morro do Chapéu.....	98
Quadro 20. Ponto de visitação 11 – Morro do Chapéu.....	99
Quadro 21. Ponto de visitação 12 – Morro do Chapéu.....	100
Quadro 22. Ponto de visitação 13 – Morro do Chapéu.....	101
Quadro 23. Ponto de visitação 14 – Morro do Chapéu.....	102
Quadro 24. Ponto de visitação 15 – Morro do Chapéu.....	103
Quadro 25. Ponto de visitação 16 – Morro do Chapéu.....	104
Quadro 26. Validação do índice médio por teste Gamma.....	112
Quadro 27. Validação do índice médio por teste de incerteza.....	112

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Variação percentual dos índices $G_d \times G_d \text{ s/ R}$ – PNCD.....	64
Gráfico 2. Variação percentual de E_g – PNCD.....	65
Gráfico 3. Diferentes índices em relação a diferentes denominadores.....	67
Gráfico 4. Variação percentual dos índices $G_d \times G_d \text{ s/ R}$ – Morro do Chapéu.....	72
Gráfico 5. Variação percentual de $G_d \text{ s/ R}$ para Novo G_d – Morro do Chapéu.....	76

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Índice de Diversidade de Shannon (H').....	27
Equação 2. Dominância de Simpson (D).....	27
Equação 3. Dominância de Simpson.....	27
Equação 4. Fórmula do índice de geodiversidade de Serrano & Ruiz-Flaño, (2007).	32
Equação 5. Índice de geodiversidade Melelli (2014).....	35
Equação 6. Média aritmética ponderada.....	53
Equação 7. Escala efetiva de Forbes et al., (1982).....	54

LISTA DE SIGLAS

ALOS - *Advanced Land Observing Satellite*

AMM - Área Mínima Mapeável

BDG – Banco de Dados Geográficos

CBPM – Companhia Baiana de Pesquisa Mineral

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ESRI - *Environmental Systems Research Institute*

GeoSGB - Sistema de Geociências do Serviço Geológico do Brasil

Gd – *Geodiversity Index*

GPS – Sistema De Posicionamento Global

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

ICR - Índice De Concentração Da Rugosidade

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano

Ig – Índice de Geodiversidade

INCT – Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia

JAXA - Agência de Exploração Aeroespacial Japonesa

LEA – Laboratório de Estudos Ambientais

LIG – Lugar de Interesse Geológico

MDE – Modelo Digital de Elevação

PALSAR - *Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*

PPGM – Programa de Pós-Graduação Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

Rlgeo – Repositório Institucional de Geociências

SIG – Sistemas de Informações Geográficas

SIGEP – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos

UEFS – Universidade Estadual de Feira de Santana

UFBA – Universidade Federal da Bahia

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	2
2. ARCABOUÇO TEÓRICO-METODOLÓGICO	5
2.1 Geodiversidade: construindo um paradigma.....	5
2.1.1. As primeiras abordagens holísticas para o meio abiótico.....	5
2.1.2 Geodiversidade.....	9
2.1.3 Geopatrimônio e Geoconservação.....	17
2.1.4 Abordagens metodológicas nos estudos da geodiversidade.....	19
2.2 Métodos de Quantificação da Biodiversidade.....	23
2.3 Métodos de Quantificação da Geodiversidade.....	28
2.3.1. Método Carcavilla et al., (2007).....	31
2.3.2 Método Serrano & Ruiz – Flaño (2007).....	32
2.3.3 Método Benito – Calvo et al. (2009).....	33
2.3.4 Método Hjort & Luoto (2010).....	33
2.3.5 Método Pereira et al. (2013).....	34
2.3.6. Outros métodos.....	35
3. ÁREA DE ESTUDO	37
3.1. Região Chapada Diamantina.....	37
3.1.1. Morro do Chapéu.....	40
3.1.2. Parque Nacional da Chapada Diamantina.....	46
4. MATERIAL E MÉTODOS	49
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
5.1 Método Serrano & Ruiz – Flaño (2007).....	60
5.1.1 Parque Nacional da Chapada Diamantina.....	60
5.1.2 Morro do Chapéu.....	68

5.1.3 Comparação dos índices de geodiversidade do PNCD com Morro do Chapéu.....	76
5.2. Método Pereira et al. (2013).....	78
5.3 Validação dos Mapas em Campo.....	87
5.4 Proposta de avaliação: hotspots de geodiversidade.....	105
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	118
REFERÊNCIAS.....	120
APÊNDICES.....	130
ANEXOS.....	159

1. INTRODUÇÃO

A presença humana no ambiente ocasiona mudanças significativas na paisagem primitiva, principalmente nas estruturas e funções. Algumas alterações dos sistemas ambientais trouxeram prejuízos à qualidade de vida humana. Dentro desta problemática, movimentos conservacionistas vêm alertando sobre o significado e consequências desses processos de impacto negativo ao meio. Além disso, na academia, a questão ambiental vem sendo discutida no âmbito da produção de métodos, técnicas que permitam propor estratégias de minimização das relações conflituosas entre humanos e meio. Em consequência dessa mobilização, a questão ambiental ganha importância também no plano político.

Neste contexto, a academia começou a desenvolver e a divulgar conceitos que amparasse o desenvolvimento de métodos voltados à questão ambiental, tais como biodiversidade e geodiversidade (SERRANO & RUIZ - FLAÑO, 2007). Mais tarde, a partir da RIO – 92, a divulgação desses conceitos foi intensificada, passando a ser considerada em decisões de Estado. Consequentemente, os ditos conceitos foram popularizados, principalmente o de biodiversidade, que há décadas dispõe de métodos sistematizados relativos à sua quantificação em diversas aplicações. Por outro lado, a geodiversidade, termo que envolve o meio abiótico, ainda enfrenta problemas conceituais e práticos, o que se deve ao fato deste termo ser relativamente recente. A geodiversidade passa por releituras e exige novas propostas metodológicas, principalmente as que objetivam avaliar e quantificar o ambiente em nível de paisagem (SERRANO & FLAÑO, 2007; MELELLI, 2014).

Na prática, as propostas metodológicas de avaliação e quantificação da geodiversidade constituem-se enquanto estratégia para conservação do meio abiótico, gestão territorial, e ferramenta auxiliar para o estudo das relações do conjunto dos elementos abióticos na paisagem. Por um lado, desenvolveu-se métodos diretos (PELLITERO, 2014) e qualitativos (ZWOLINSKI, 2018) para a inventariação e valoração do patrimônio geomorfológico e geológico como os de Rivas et al., (1997); Panizza (2001); Brilha, (2005, 2015); Bruschi & Cendrero, (2005); Coratza & Giusti, (2005); Serrano & González – Trueba, (2005); Pralong, (2005); Pereira, (2006); Reynard (2007); Zouros, (2007); García – Cortés & Urqui, (2009). Essas propostas não consistem em metodologias de valoração do meio abiótico

como um todo. Cada uma delas engloba níveis de abrangência distintos, e principalmente de tipo abiótico-geológico.

Ademais, há outra abordagem desta temática, que tem por objetivo avaliar a geodiversidade e utiliza métodos diretos e indiretos (PELLITERO et al., 2014), de cunho quantitativo ou qualitativo-quantitativo, (ZWOLINSKI, 2018) como estes autores: Xavier – da – Silva, (2001); Kozłowski, (2004); Serrano & Ruiz - Flaño (2007, 2009); Carcavilla et al., (2008); Benito-Calvo et al., (2009); Zwolinski (2008, 2009); Hjort & Luoto (2010, 2012); Ruban (2010) ; Pereira et al. (2013); Silva et al., (2013, 2015); Forte, (2014, 2018); Pellitero et al., (2012); Melelli, (2014); Pereira & Ruchkys, (2016); Manosso & Nóbrega, (2016); Argyriou et al., (2016); Bêtard, (2016) Araújo & Pereira ,(2017), Santos et al., (2018). Pereira, (2018).

Em nosso território, o Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2006) fez uma compilação (conceitos, mapas, banco de dados) do que se considera por geodiversidade em todas as unidades da federação.

Ainda em território nacional, foram testados métodos para quantificação da geodiversidade. No Estado de Minas Gerais, por exemplo, Pereira et al. (2013) aplicou, a partir de adaptações do método de Serrano & Ruiz – Flaño um índice de geodiversidade no Quadrilátero Ferrífero. No Paraná, Manosso, (2012) e Pellitero et al., (2014) calcularam em escala média um índice de geodiversidade. No mesmo Estado, Pereira et al., (2013) aplicou um método, utilizando grades regulares, para calcular subíndices de diversidade de elementos abióticos e o índice de geodiversidade. No município de Araripina – PE, Arruda (2013) testou método de quantificação. No Cariri paraibano, Meneses e Nascimento (2014), Silva et al., (2013, 2015) faz avaliação e quantificação da geodiversidade na Bacia do Rio Xingu. Araújo & Pereira (2017) testaram uma nova forma de se avaliar a geodiversidade no Estado do Ceará.

Em artigo recente, Ruchkys et al., (2017) trazem as estatísticas da produção de trabalhos brasileiros acerca dos temas: geodiversidade, patrimônio geológico, geoconservação, geoturismo e geoparques. As autoras concluíram que, desde a primeira defesa em 2003, os trabalhos sobre essas temáticas vêm aumentando nas pós-graduações, concentrando-se, sobretudo, nas regiões sudeste, nordeste e sul.

A área teste contemplada pela presente pesquisa é a região da Chapada Diamantina, localizada no centro do estado da Bahia e considerada, para os estudos geológicos, uma área-escola de amplitude internacional. Essa área apresenta

grande valor ambiental por concentrar uma vasta gama de atributos, tais como variedades de biomas, biodiversidade e zona de nascentes das bacias hidrográficas mais importantes do estado. Nessa região, mais precisamente no município de Morro do Chapéu, Forte (2014) desenvolveu proposta metodológica de avaliação da geodiversidade e Silva (2016), uma metodologia para delimitar geoparques envolvendo a geodiversidade e identidade da população local.

Por ser o Brasil um país de grande extensão territorial e significativa geodiversidade, nota-se, apesar do pequeno número de trabalhos nesta temática, uma rápida evolução. Entretanto, há lacunas a serem preenchidas em relação à aplicabilidade dos métodos, à compatibilidade de escalas cartográficas e à escolha dos elementos que compõem o meio abiótico, para que finalmente se possa tentar um modelo de geodiversidade aplicável à variedade continental do nosso país. A região da Chapada Diamantina, diante de sua complexidade e do fato de ser uma área de pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Ambiental e Ciências da Terra (PPGM), inserida no projeto “Modelando Biodiversidade e Geodiversidade” em convênio com a Universidade Federal da Bahia (UFBA) do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT), reúne todas as condições para ser a área teste destes métodos.

Nesse contexto, a dissertação tem como objetivo geral avaliar e comparar modelos de quantificação da geodiversidade tendo como as áreas de estudo: Parque Nacional da Chapada Diamantina e Município de Morro do Chapéu - Chapada Diamantina (BA). Já os objetivos específicos:

- Aplicar métodos de quantificação da geodiversidade em escalas 1: 100.000 e 1: 1.000.000 tendo como áreas piloto o Parque Nacional da Chapada Diamantina e o Município de Morro do Chapéu – Ambos na região Chapada Diamantina, (BA);
- Comparar os métodos de quantificação entre si e entre as diferentes áreas pilotos e escalas cartográficas;
- Validar os mapas dos índices de geodiversidade em campo;
- Adequar um modelo de quantificação da geodiversidade para as áreas piloto.

A dissertação está estruturada em seis capítulos. O primeiro abrange a introdução e explana os objetivos da pesquisa. Já o arcabouço teórico – metodológico constitui o segundo capítulo, o qual aborda os seguintes temas: contextualização histórica da geodiversidade, o processo de conceituação e de termos que vem sendo trabalhado nesta temática, seu estado da questão, a relação com a categoria de análise geográfica – paisagem, e suas aplicações práticas, e finalmente também se aborda questões sobre métodos de avaliação da biodiversidade e geodiversidade. A descrição do meio físico e a breve caracterização política das áreas teste se encontram no capítulo 3. O material e os métodos empregados na pesquisa são descritos no capítulo 4. No capítulo 5, são mostrados os resultados da pesquisa e a discussão, separados por área, métodos aplicados e proposta de adequação dos modelos de avaliação. Finalmente, no sexto e último capítulo, são expostas as considerações finais, contendo afirmações conclusivas, questionamentos e sugestões de pesquisas futuras.

2. ARCABOUÇO TEÓRICO-METODOLÓGICO

2.1 Geodiversidade: construindo um paradigma

2.1.1. As primeiras abordagens holísticas para o meio abiótico.

A Paisagem é uma das principais categorias de análise da ciência geográfica. Este conceito vem sendo requisitado nos estudos em geodiversidade. Embora a geodiversidade tenha sido mencionada em estudos integrados da paisagem (XAVIER- DA-SILVA, 2001, 2004; TROPPEMAIR & GALINA, 2006; TROPPEMAIR, 2000) não há na literatura especializada discussões suficientes sobre a relação da geodiversidade com paisagem, produzindo, assim, a impressão de sinonímia entre estes termos.

Neste item, procura-se abordar algumas das várias definições do conceito Paisagem a partir de uma visão geossistêmica, e também o conceito Unidade de Paisagem, muito utilizado como orientação metodológica nos estudos de Geomorfologia e planejamento ambiental (GUERRA e MARÇAL, 2006), inclusive para avaliação da geodiversidade (SERRANO & RUIZ – FLAÑO, 2007). Há a possibilidade de que os métodos de avaliação e quantificação da geodiversidade possam ser usados como uma ferramenta inovadora para a análise integrada da paisagem a serviço da preservação do meio natural, planejamento territorial e

entendimento de relações ecológicas (geodiversidade – biodiversidade), (DANTAS et al., 2014, SANTOS et al., 2017). Não se pretende aprofundar a reflexão sobre o conceito de paisagem, mas apenas esboçá-lo, uma vez que ele tem sido empregado como sujeito nos estudos sobre quantificação da geodiversidade, a exemplo de Serrano & Ruiz – Flaño (2007).

A paisagem, conceito caro à Geografia, foi desenvolvida pela escola alemã. Não há uma definição única, como ocorre também a outros conceitos que direcionam a abordagem e constituem o arcabouço teórico-metodológico da Geografia (Território, Lugar, Região e Espaço). O conceito de paisagem tem sido discutido ao longo dos últimos anos por diferentes autores e com diferentes interpretações.

No século XIX, os naturalistas alemães atribuem significado científico à paisagem (*landschaft*) e introduzem o conceito à Geografia (VENTURI, 2004). Neste período, o conceito foi trabalhado no plano descritivo e morfológico. Posteriormente, o conceito é marcado pela perspectiva sistêmica advinda da publicação da **Teoria Geral dos Sistemas Dinâmicos** de Bertalanffy, em 1948 (GUERRA & MARÇAL, 2006). Surge então uma nova concepção de paisagem. Dessa forma: “deixou-se de lado o aspecto fisionômico e passou-se a trabalhar as trocas de matérias e energia dentro do sistema [complexo físico – químico e biótico]” (Idem, 2006, p. 108). A análise sistêmica trouxe uma importante contribuição ao estudo da paisagem porque “a visão sistêmica dos fenômenos desencadeou o processo de reflexão mais abrangente sobre o conceito de paisagem, levando à compreensão dos sistemas naturais, a partir da sua estrutura e funcionamento” (Ibidem, 2006, p. 109). Outra forma de análise da paisagem foi elaborada por meio da concepção de geossistema, formulada pelo soviético Sotchava, cujo trabalho é influenciado pela visão sistêmica. Os soviéticos se preocuparam, portanto, em criar, agrupar e classificar diferentes unidades sobre as quais se estrutura a paisagem. Assim, para Sotchava:

[...] a natureza passa a ser compreendida não apenas pelos seus componentes, mas através das conexões entre eles, não devendo restringir-se à morfologia da paisagem e às suas subdivisões, mas de preferência estudar sua dinâmica, sua estrutura funcional e suas conexões [...] (SOTCHAVA, 1977, p.).

Sobre as conceituações de Paisagem, destacamos as mais relevantes.

Para Bertrand:

[...] a paisagem é concebida como uma certa porção do espaço, resultante da combinação dinâmica e instável de elementos físicos, biológicos e antrópicos, que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem dela um conjunto único e indissociável [...] (BERTRAND, 1971, p.).

Sobre a natureza da paisagem, Bolós afirma que:

[...] a paisagem em sua abordagem sistêmica e complexa, será sempre dinâmica e compreendida como a somatória das inter-relações entre os elementos físicos e biológicos que formam a natureza e as intervenções da sociedade no tempo e no espaço em constante transformação [...] (BOLÓS, 1981, p.)

Christofoletti, por sua vez, entende que:

[...] a paisagem constitui-se no campo de investigação da Geografia, onde se permite que o espaço seja compreendido como um sistema ambiental, físico e socioeconômico, com estruturação, funcionamento e dinâmica dos elementos físicos, biogeográficos, sociais e econômicos [...] (CHRISTOFOLETTI, 1999, p.).

Soares destaca que *“a paisagem é composta por características homogêneas, cujos limites ultrapassam as demarcações jurídicas e administrativas, sendo delimitada por elementos naturais, como bacias hidrográficas e as formas de uso da terra”* (SOARES, 2001, p.).

Para Lang & Blaschke, o conceito de paisagem apoia-se metodologicamente em três aspectos básicos:

Estrutura: configuração específica dos elementos da paisagem no que se refere ao seu tamanho e forma, ao seu tipo e distribuição quantitativa, bem como indício para a identificação da distribuição de energia e matéria, de organismos; **Função:** interações entre os elementos da paisagem, seus componentes e componentes de sistema, com enfoque na permuta e no fluxo de energia, matéria e organismos; **Desenvolvimento e mudança:** mudança de estrutura e função dependente do tempo (LANG & BLASCHKE, 2009, p.111.).

Para além da definição e natureza do conceito Paisagem, Troll buscou definir o seu dimensionamento e atribuições escalares. Para ele:

[...] o dimensionamento é variado, indo desde as unidades maiores, que já em 1905 foram denominadas, por Herbertson, as *principais regiões naturais* (tem como principal enfoque o estudo acerca das zonas climáticas e de vegetação, como nos trabalhos que Passarge desenvolveu e publicou desde 1921), chegando até as unidades menores que são denominadas pequenas paisagens [...] (TROLL, 1997, p.).

Nesse sentido, segundo Troll, a dimensão da paisagem evidencia uma hierarquia de diferentes dimensões. Com o aperfeiçoamento do modo de dimensionar a paisagem, alguns autores propuseram o que designaram *sistemas de classificação da paisagem* (Quadro 2). É possível observar que os níveis de representação sugerem a espacialização de dados mais gerais para os mais detalhados, ou seja, da menor para a maior escala da investigação (GUERRA & MARÇAL, 2006).

Quadro 1. Diferentes sistemas de classificação das unidades de paisagem.

Escala Cailleux-Tricart	Escala G. Bertrand	Unidade climática	Unidade de Relevo ou Geomorfo-lógica	Escala Ross	Unidade sócio-económica	Escala cartográfica
I	Zona	Clima zonal	Sistema Morfogenético	-	-	1: 1.000.000
II	Domínio	Domínio climático	Domínio estrutural	Unidade morfo-estrutural	Região	1: 500.000 1: 100.000
III	Região Natural	Clima regional	Grande bacia fluvial	Unidade morfo-escultural	-	1: 500.000 1: 100.000
IV	Comarca	Clima local	Bacia fluvial de segunda ordem	Unidade de modelado	-	1: 100.000 1: 50.000
V	Geossistema	Mesotopoclima	Vertente	Unidade conjunto de formas	Município	1: 25.000 1: 10.000
VI	Geofácies	Topoclima	Mesoformas	Unidade de dimensão e forma	Distrito	1: 10.000 1: 5.000
VII	-	Microclima	Microformas	Unidade de forma linear de relevo	Setor administrativo	1: 5.000
VIII	Geótopo	Clima estacional	Setor de microformas	-	Bairro	1: 5.000 ou inferior

Fonte: Guerra & Marçal (2006).

Vistas as principais definições de Paisagem e Geodiversidade, pode-se afirmar que, apesar de apresentarem métodos próprios e objetivos diferentes de trabalho, os conceitos podem se complementar. Além do mais, os métodos quantitativos que estão sendo testados para avaliação da geodiversidade podem ajudar na compreensão e formulações de novas possibilidades de análise integrada da paisagem. Além disso, a geodiversidade permite valorar feições da natureza abiótica e criar novas referências no conhecimento entre o homem-meio. Por exemplo, na valoração de lugares de interesse geológico (LIG) é possível individualizar elementos da paisagem de grande valor para o homem a fim de se ter informações sobre o patrimônio geológico importantes para gestão territorial, o desenvolvimento econômico e turístico, sendo sua proteção fundamental para que se conserve os atributos valiosos para as próximas gerações.

2.1.2 Geodiversidade

É sabido que o desenvolvimento da temática geodiversidade não ultrapassa a três décadas, pois, apesar do termo ter sido mencionado anteriormente, ganha destaque na comunidade científica a partir da década de 1990 (GRAY, 2004; SERRANO & RUIZ-FLAÑO, 2007; CARCAVILLA et al., 2008). A temática que se iniciou na Austrália e Europa ligada à questão conservacionista e à gestão de áreas protegidas, mais tarde alcançou outros continentes (GRAY, 2004, 2008; BRILHA, 2005; SERRANO & RUIZ -FLAÑO, 2007). Por fim, os conceitos que envolvem geodiversidade já tem aceitação na comunidade e em alguns órgãos governamentais, além de vir sendo divulgados ao público em geral.

Não se sabe ao certo a origem do neologismo “geodiversidade”. Segundo Serrano & Ruiz - Flaño, (2007) o primeiro pesquisador de quem se teve notícia ao usar o termo geodiversidade foi o geógrafo argentino Federico Alberto Daus, na década de 40 do século passado. Ele usou o termo com o objetivo de denotar as diversidades entre áreas na superfície da Terra, no âmbito da Geografia Cultural. Para ele, a geodiversidade tinha o mesmo sentido que a diversidade geográfica, ou seja, como um mosaico de diversidades culturais e paisagística. Apesar deste termo já ter aparecido antes, ganhou relevo a partir da década de 1990, como dito anteriormente, por analogia com o termo *biodiversidade*, sendo ambos esses termos complementares com relação à diversidade natural.

Para se ter uma noção da divergência entre a considerável quantidade de trabalhos produzidos com a temática biodiversidade e geodiversidade, a Tabela 1 reproduz o resultado da pesquisa do termo *geodiversity* (geodiversidade) e *biodiversity* (biodiversidade) na página de um provedor de periódicos científicos. A busca das palavras-chave envolveu todo texto do artigo, além do título. Também foi feita em língua inglesa, por ser mais comum nas publicações de artigos nessa temática. Então, apesar de esta pesquisa não ser um levantamento sistemático e preciso, ela permite se ter uma primeira noção do crescente volume de trabalhos, tanto sobre biodiversidade, quanto sobre geodiversidade, no período de 1998 a 2018. Por fim, apesar de a tabela exibir a desproporção dos números de artigos sobre o tema geodiversidade em relação à biodiversidade, o crescimento do número de trabalhos nessa temática indica uma maior adesão e esforços em desenvolver o assunto em algumas universidades pelo mundo.

Tabela 1. Comparativo da quantidade de trabalhos publicados em revistas científicas e livros no período 1998 a 2018, com as palavras chaves: *biodiversity* e *geodiversity*.

Ano	Nº Artigos - <i>Biodiversity</i>	Nº Artigos - <i>Geodiversity</i>
03/2018	5551	50
2017	11187	65
2016	11055	48
2015	9641	44
2014	8319	42
2013	8334	41
2012	6588	23
2011	5820	15
2010	5016	10
2009	4736	5
2008	4192	8
2007	3955	4
2006	3358	9
2005	2897	11
2004	2407	7
2003	2227	2
2002	1719	2
2001	2035	2
2000	1389	0
1999	1105	0
1998	1071	2

Fonte: <http://www.sciencedirect.com/> acesso em: 10/05/2017 e 29/03/2018

Na Conferência de Malvern sobre Conservação Geológica e Paisagística, ocorrida em 1993, no Reino Unido, o termo geodiversidade passou a ser conhecido

na Europa (Gray, 2004; Brilha, 2005). Além disso, Gray (2005) sugere que o termo teve suas primeiras aparições em artigos publicados, de início, por geólogos (Sharples, 1993; Dixon, 1995; Kiernan, 1995) que desenvolviam pesquisas na Tasmânia – Austrália. Estes profissionais iam contra a visão “biocêntrica” sobre conservação do meio natural, uma vez que entendiam o sistema natural como algo composto por elementos “não-vivos” e elementos “vivos”. Desta forma, o conjunto biodiversidade e geodiversidade poderia promover uma abordagem holística para se compreender o meio natural, gerando assim estratégias para a conservação da diversidade natural. (SHARPLES, 2002). Talvez não por coincidência, o termo geodiversidade tenha ganhado a atenção destes geocientistas após a Cúpula da Terra, realizada no Rio de Janeiro em 1992 pelas Nações Unidas, com a finalidade de debater a temática *Meio Ambiente* evidenciando a Biodiversidade (GRAY, 2005). Após uma década, Sharples (2002) fez uma compilação dos trabalhos produzidos por estes geocientistas sobre a temática Geoconservação, e publicou em meio digital: *Concepts and principles of geoconservation* hospedado no servidor da *Tasmanian Parks & Wildlife Service*.

Atualmente, os termos geodiversidade, geoconservação e geoturismo vem ganhando notoriedade em órgãos nacionais e internacionais. Isso porque o reconhecimento das características do patrimônio natural e cultural e seu gerenciamento sustentável são hoje aceitos como funções importantes na sociedade. Engering & Barron (2007) ressaltam que a importância do alcance e da diversidade das características do patrimônio da Terra - a "geodiversidade" - de qualquer área é uma faceta tão importante do seu patrimônio natural quanto os interesses da vida selvagem. A conservação, o manejo sustentável, o uso educacional e a interpretação da geodiversidade são tão importantes quanto a biodiversidade ou a arqueologia.

Além disso, conceitos associados a geodiversidade, como o geoturismo, desencadeia estudos e práticas que favorecem o desenvolvimento econômico por atrair turistas para visitação de geoparques, trilhas interpretativas e outros geossítios com valores cênicos, históricos ou culturais.

A propósito, um território com as qualidades acima citadas e passível de exemplificar concretamente todo o aparato conceitual e prático que vem sendo desenvolvido pode se tornar um geoparque. (RUCHKYS, 2007). A UNESCO

(Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura), portanto, considera como geoparque:

Um território com limites bem definidos que tenha uma área suficiente para que sirva ao desenvolvimento econômico local, com determinado número de sítios geológicos de importância científica especial, beleza ou raridade, e que seja representativa da história geológica, dos eventos ou processos de uma área (UNESCO, 2004).

Considerando algumas motivações que contribuíram para o desenvolvimento da temática geodiversidade, tais como as preocupações na preservação da diversidade natural e a RIO – 92, indica-se a seguir a evolução conceitual dos referidos termos e o seu entendimento de pesquisadores dedicados às geociências

“Geodiversidade é a variação do substrato rochoso, depósitos superficiais, formas do terreno e processos geológicos como os vulcânicos, glaciais, fluviais, litorâneos e outros” (JOHANSSON et al., 2000).

Para Stanley, (2001) a geodiversidade é a ponte entre o homem a paisagem, sua cultura através da interação com a biodiversidade, solos, minerais, rochas, fósseis, processos ativos e ambiente urbanizado. Então, para ele o termo se traduz como:

A variedade de ambientes geológicos, fenômenos e processos ativos que modelam a paisagem, as rochas, minerais, fósseis, solos e outros depósitos superficiais que sustentam e servem de base para a vida na Terra (STANLEY, 2001).

Esta definição é considerada por Pereira (2010) como a mais completa e clara. Foi adotada pela *Royal Society for Nature Conservations* do Reino Unido.

Nieto (2001) publicou um artigo para discutir conceitos e propor uma definição mais ampla. Ali, ele explica que, etimologicamente, o termo Geodiversidade designa a diversidade geológica, isto é, a variedade de elementos geológicos associada a uma região. Para ele, já que o termo supõe distribuição da variedade de algo no espaço, nos estudos sobre geodiversidade de uma área, é preciso definir a escala espacial em local, regional ou global. Por isso, o autor assim define o termo:

Geodiversidade é o número e a variedade de estruturas (sedimentares, tectônicas, geomorfológicas, hidrológicas e petrológicas) e de materiais geológicos (minerais, rochas, fósseis e solos) que constituem o substrato físico natural de uma região, sobre a qual está assentada a atividade orgânica, incluindo a antrópica (NIETO, 2001).

Na bibliografia especializada, é comum encontrar a definição de geodiversidade propostas por Sharples (1993, 2002); Kiernan, (1994); Dixon, (1995) e Eberhard (1997). No entanto, durante a década de 1990, esses autores se reuniam, como visto anteriormente, para desenvolver esta temática. Fruto dessas reuniões, foi publicada por estes pesquisadores da Comissão do Patrimônio Australiano em 2002 a seguinte definição:

A variedade natural (diversidade) de recursos, conjuntos, sistemas e processos geológicos (substrato rochoso), geomorfológicos (forma de relevo) e do solo. A Geodiversidade abrange evidências da vida anterior, ecossistemas e ambientes na história da terra, assim como uma variedade de processos atmosféricos, hidrológicos e biológicos que agem atualmente sobre as rochas, formas de relevo e solos (Australian Heritage Commission, 2002).

Pode-se dizer que *Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature* foi o primeiro livro publicado (2004) sobre a temática conservação da geodiversidade (NASCIMENTO et al. 2008). A obra foi concebida pelo professor Murray Gray da Universidade de Londres, no Reino Unido. Submetida a algumas revisões, encontra-se na segunda edição (2013). O vasto referencial teórico usado é notável (em torno de 37 páginas). Neste referencial, os temas que mais aparecem remetem à área das ciências ambientais, ciências da Terra e planejamento territorial e patrimonial. Este autor define geodiversidade como “A diversidade geológica (rochas, minerais, fósseis), geomorfológicos (relevo, processos) e características do solo. Inclui seu conjunto, relações, propriedades, interpretações e sistemas” (GRAY, 2004).

Segundo Carcavilla et al., (2008) a definição de Gray (2004) é reflexo do entendimento sobre geologia, geomorfologia e pedologia que a escola anglo-saxã tem do meio abiótico, sendo, portanto, mais citado nos respectivos países de origem. Apesar desta constatação, a presença do autor em muitos trabalhos dos mais variados idiomas é evidente, o que o torna uma referência incontornável.

Segundo Serrano & Ruiz - Flaño, (2007) até então, a visão mais integradora era a de Kozlowski (2004), que define geodiversidade como:

Variedade natural da superfície terrestre, caracterizada por aspectos geológicos e geomorfológicos, solos e águas superficiais, bem como a outros sistemas produzidos a partir do resultado de processos naturais (endógenos e exógenos) e da atividade humana (KOZLOWSKI, 2004).

Estes autores elaboraram o conceito de geodiversidade a partir da conceptualização de Sharples (2002), Gray (2004), Koslowski (2004) e González Trueba (2006), com o intuito de alcançar um termo mais realista do que denotaria, para eles, a estrutura abiótica da paisagem. Além disso, nota-se grande preocupação, por parte dos pesquisadores, com a aplicação prática do conceito. Assim, definem geodiversidade como:

A variabilidade da natureza abiótica, incluindo os elementos litológicos, tectônicos, geomorfológicos, do solo, hidrológicos, topográficos e físicos na superfície terrestre e nos mares e oceanos, bem como os sistemas gerados por processos naturais, endógenos, exógenos e humanos, diversidade de partículas, elementos e locais (SERRANO & RUIZ - FLAÑO, 2007).

Em 2006, o Serviço Geológico do Brasil – CPRM, lançou o “Mapa Geodiversidade Brasil”, em escala 1:2.500.000, no qual define geodiversidade como:

A natureza abiótica (meio físico) constituída por uma variedade de ambientes, fenômenos e processos geológicos que dão origem às paisagens, rochas, minerais, solos, águas, fósseis e outros depósitos superficiais que propiciam o desenvolvimento da vida na Terra, tendo como valores intrínsecos a cultura, o estético, o econômico, o científico, o educativo e o turístico (CPRM, 2006).

Conforme a temática se populariza e obtém a adesão de diferentes pesquisadores, o próprio conceito se modifica em alguns aspectos, conforme cada interpretação. O geólogo Ricardo Fraga, por exemplo, entende que a geodiversidade “se refere às variadas formas de materialização natural do substrato geológico da Terra” (PEREIRA, 2010). Com base nas definições de autores mencionados anteriormente, o autor reformula o conceito, o qual define como:

O conjunto de elementos abióticos do planeta Terra, incluindo os processos físico-químicos associados, materializados na forma de relevos (conjunto de geofomas), rochas, minerais, fósseis e solos, formados a partir das interações entre os processos das dinâmicas interna e externa do planeta e que são dotados de valor intrínseco, científico, turístico e de uso/ gestão (PEREIRA, 2010).

Por fim, há também outras visões de geodiversidade, como a de Ruban (2010) ou críticas mais contundentes como a de Ollier (2012):

O autor argumenta que o termo “geodiversidade” foi imitado com intuito de captar o mesmo *status* e *glamour* de um termo bem estabelecido, “biodiversidade”. Além disso, o autor é contrário ao raciocínio segundo o qual uma área com maior geodiversidade tem maiores possibilidades de oferecer lugares de interesse geológico propícios ao geoturismo. E completa afirmando: “*muitos outros exemplos em todo mundo mostram que a diversidade é um conceito bastante supérfluo para os valores de geossítios*” (OLLIER, 2012). O autor mostra a relevância de uma visão crítica durante o desenvolvimento de bases teóricas. De fato, a geodiversidade e seus conceitos complementares estão buscando (com certo sucesso) se consolidar como um instrumental ímpar para os estudos de planejamento territorial, escolhas de áreas de grande valor científico, educacional, cênico, promoção do turismo e geração de renda, além da divulgação do conhecimento em geociências. Contudo, há problemas, como se afirmou anteriormente.

Ruban (2010) considera a geodiversidade como ideia vital para o gerenciamento do patrimônio geológico e, portanto, requer uma definição apropriada. O autor defende que o conceito de geodiversidade tem sua maior expressão nos geossítios e a soma deles no território pode indicar, de forma numérica, a geodiversidade, sua riqueza e abundância, bem como a sua perda (o autor denomina georriqueza e geoabundância).

Knight (2011) critica a definição de geodiversidade de Ruban (2010), argumentando ser sintética e controversa em sua aplicabilidade. Para Knight (2011), refletindo a partir de Panizza, (2001), uma definição completa não apenas exige que se identifique o número de sítios geológicos e se os classifique por níveis de importância (global, regional e local), como também requer outros critérios de inclusão, tais como aspectos das propriedades geológicas do local, sua configuração física, incluindo atributos da subsuperfície e submarinos (para casos que visam avaliar geodiversidade costeira), e contexto ecológico, social, cultural e econômico.

O autor justifica a importância de se considerar esses outros itens afirmando que a localização de locais geológicos, dentro deste contexto de paisagem mais amplo, proporciona a conservação do local, e subsequentemente, a preservação do patrimônio geológico, muito mais efetiva e relevante para as políticas públicas e o planejamento.

Ruban, em resposta a Knight, conclui:

Muitos pontos de vista podem ser considerados no estudo da geodiversidade. De fato, uma compreensão da geodiversidade deve ser diversa em si mesma. Embora a avaliação de cada patrimônio geológico regional possa envolver contextos paisagísticos, culturais, históricos e outros, bem como a percepção humana de objetos naturais, uma avaliação do número de tipos de sítios do patrimônio geológico (não o número de geossítios), é essencial, pois mede o número de fenômenos geológicos representados regionalmente. Acredito que os tratamentos conceituais (Gray, 2004, 2008) e numéricos da geodiversidade devem coexistir. Além disso, outros desenvolvimentos teóricos podem ampliar e alterar nossa compreensão da geodiversidade e métodos de sua avaliação. Em outras palavras, a geodiversidade pode ser vista como uma ideia dinâmica (RUBAN, 2011).

Pode-se constatar que nessas definições de geodiversidade há elementos em comum como as diversidades geológicas, geomorfológicas, dos solos e seus processos que caracterizam e estruturam a paisagem. Para melhor delimitação espacial, Alexandrowicz & Kozlowski (1999) propõem que a geodiversidade deve ser analisada apenas na superfície terrestre, desconsiderando os elementos subterrâneos, como cavernas e aquíferos subterrâneos. Há quem discorde. Artefatos arqueológicos e fauna que existiam em épocas pretéritas, que foram soterradas ou as paleopaisagens formadas, por exemplo, pela interação de processos geológicos – geomorfológicos – ação humana, que também foram recobertas, devem ser inclusas nas avaliações de geodiversidade (KNIGHT, 2011).

Para Forte, (2014) há também outros aspectos, de caráter subjetivo, como a relação da geodiversidade com a ação humana, que altera o relevo e o molda conforme os valores econômicos. Para Carcavilla et al., (2008) e Pereira et al., (2013) isso pode trazer problemas práticos e conceituais. Os autores defendem que a definição do conceito de geodiversidade não deve sair do âmbito da natureza abiótica porque o fator humano traria grande complexidade ao modelo. Por outro

lado, há pesquisas como a de Nascimento, (2016), que considerou a variável *formas antropogênicas* na quantificação da geodiversidade. Possivelmente, essa abordagem que considera as intervenções antrópicas no ambiente deve ser testada em trabalhos em escala local, podendo contribuir para os estudos ambientais.

2.1.3 Geopatrimônio e Geoconservação

Desde a década de 1990, a comunidade científica vem desenvolvendo o conceito de geodiversidade para diversos usos práticos, como conservação e gestão do território e do patrimônio geológico. Foram desenvolvidas mais pesquisas sobre a conservação e valorização da geodiversidade em escala local (geossítio) do que para escalas amplificadas (paisagem), (FORTE, 2014). Houve debates sobre o que deveria ser conservado. Em síntese:

[...] de um lado, os fundamentalistas que pretendem conservar tudo o que, para eles, apresente algum tipo de valor. Do outro, aqueles que pretendem conservar apenas os expoentes máximos da geodiversidade [...] como é impossível conservar toda geodiversidade, a Geoconservação só deve ser concretizada depois de um apurado trabalho de definição daquilo que deve ser considerado como Patrimônio Geológico [...] (BRILHA, 2005, p.52).

Conservar implica sempre em investir recursos humanos e financeiros - às vezes, investir bastante. Portanto, há que avaliar, selecionar, priorizar e dosar as iniciativas de geoconservação. Esse processo terá sempre uma componente subjetiva, mas existem ferramentas que permitem diminuir o grau de subjetividade da decisão (MANTESSO – NETO, 2008). No próximo item (2.1.3), serão descritas algumas aplicações neste sentido, e também para a geodiversidade em escala de paisagem.

As questões que envolvem o conceito de patrimônio geológico são complexas por incluir outros aspectos, além dos acadêmicos como legislação, áreas com algum tipo de proteção do Estado, eventuais conflitos de interesse nessas áreas preservadas como pressões para exploração (MANTESSO – NETO, 2008). Nesse sentido, foram desenvolvidos e aprofundados conceitos base.

Geoconservação pode se definir como:

A conservação da diversidade de feições geológicas (substrato rochoso), geomorfológicas (formas de relevo) e pedológicas, incluindo suas combinações, sistemas e processos, em função dos seus valores intrínsecos, ecológicos e patrimoniais (SHARPLES, 2002, p.6).

O objetivo da geoconservação é a conservação e gestão do patrimônio geológico e seus processos naturais (BRILHA, 2005).

Para Brilha, o patrimônio geológico ou como conhecido na literatura estrangeira, *geoh heritage*, define-se como: “o conjunto de geossítios (ou locais de interesse geológico) inventariados e caracterizados de uma dada região”. BRILHA (2005). Já geossítios se define como:

[...] locais bem delimitados geograficamente, onde ocorrem um ou mais elementos da geodiversidade com singular valor do ponto de vista científico, pedagógico, cultural, turístico ou outro (BRILHA, 2005, p.52).

Brilha (2015) traz uma nova abordagem sobre a definição de geossítios. Para o autor, o que os caracteriza é o fato de terem alto valor científico, sendo que as ocorrências são *in situ*, como por exemplo Rocha Moutonnée em Salto – SP, Serra do Tombador na Chapada Diamantina – BA, Canyon do Guartelá – PR,. E as ocorrências *ex situ* como coleções de minerais, rochas e fósseis em museus (BRILHA, 2015; SILVA & NASCIMENTO, 2016).

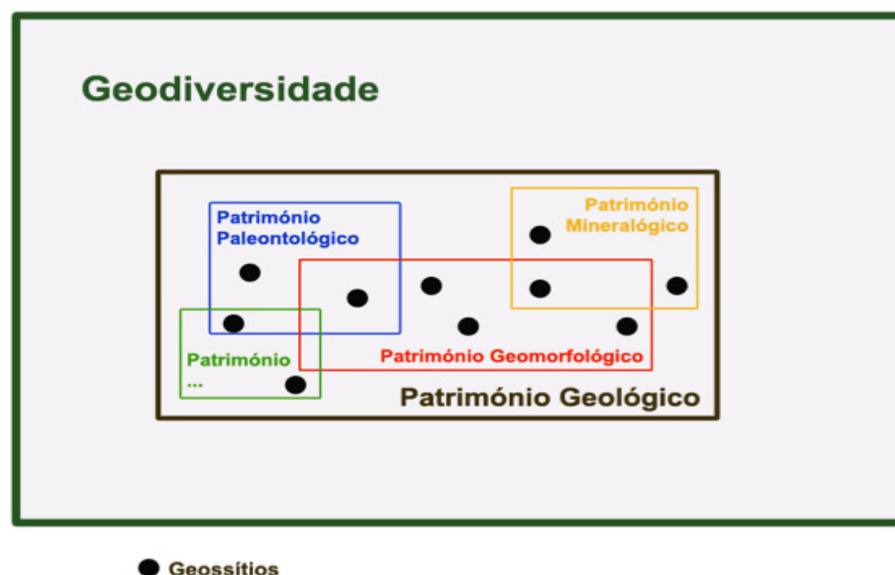
Segundo Mantesso – Neto (2008), a maior iniciativa de proteção do patrimônio geológico no país é a SIGEP -Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos, com sítios classificados como paleontológicos, paleoambientais, sedimentológicos, geomorfológicos, marinhos, ígneos, espeleológicos, história da geologia e sítios de astroblemas catalogados no endereço na rede: <http://sigep.cprm.gov.br/sitios.htm> (MANTESSO – NETO, 2008).

Em síntese, geodiversidade é a qualidade a ser conservada; geoconservação é o esforço para fazê-lo, e patrimônio geológico contempla exemplos concretos daquilo que foi interpretado como tendo importância de conservação (GRAY, 2004). A Figura 1 exibe a hierarquização dos conceitos de geodiversidade, patrimônio geológico e geossítios.

2.1.4 Abordagens metodológicas nos estudos da geodiversidade

O conceito de geodiversidade foi pensado inicialmente como análogo ao de biodiversidade (GRAY, 2004; SERRANO & RUIZ-FLAÑO, 2007; BRILHA, 2005; CARCAVILLA et al., 2008).

Figura 1. Relação dos conceitos geodiversidade, patrimônio geológico e geossítios



Fonte: Forte (2014).

Por conseguinte, teria uma importância vinculada às práticas conservacionistas para biodiversidade, tanto em nível político, quanto acadêmico, a exemplo dos métodos quantitativos desenvolvidos a partir da teoria matemática da comunicação de Shannon & Weaver, (1949). Apesar disso, com a valorização e a preocupação da conservação do meio natural no âmbito na natureza abiótica, este conceito foi adquirindo importância para diversas aplicações nas áreas de Geociências (SHARPLES, 2002; GRAY, 2004). As metodologias desenvolvidas partiram da premissa holística, segundo a qual o ambiente deve ser conservado como um todo, o que justificaria, portanto, os esforços em contemplar a “*metade esquecida da conservação da natureza*” (SHARPLES, 2002, p.01). Os esforços na conservação da geodiversidade adquirem importância a partir de sua valorização. Dessa forma, Sharples, (2002) e Gray (2004) deram início a propostas de valorações da geodiversidade, as quais se descrevem a seguir.

Sharples (2002) propõe três categorias de valores: intrínseco, ecológico e patrimonial. O valor intrínseco (ou de existência) significa a existência de uma coisa tendo valor por ela mesma, e não em razão de algum propósito externo que se

utilize dessa “coisa”. Esta classe permite entender que certas coisas não precisam da aprovação humana para justificar sua continuidade. O valor ecológico pode ser entendido como a necessária manutenção de processos físicos, assim como dos processos biológicos, que dependem desses sistemas físicos. Entender este valor é a chave para se propor uma conservação integrada dos meios abióticos e bióticos. Por fim, o seu valor patrimonial (ou antropocêntrico), cuja proteção se justifica à medida que a geodiversidade é valiosa para os humanos (SHARPLES, 2002).

De outra forma, Gray (2004) propõe que a diversidade abiótica pode ser valorada como: intrínseca ou de existência, cultural (influência de elementos abióticos sobre tradições e folclore), valores estéticos ou cênicos (contemplação de paisagem, e outras motivações humanas que os façam interagir com o meio abiótico), valores para o meio científico-educacional (história da Terra) e o valor funcional, que pode ser entendido como substrato indispensável para o ecossistema e, por conseguinte, a vida na Terra.

A atribuição de valores para os elementos do meio abiótico é parte importante nos trabalhos da temática geodiversidade, porque é a partir do reconhecimento de seus valores que se baseiam as estratégias de conservação (geoconservação) e gestão territorial. Para Brilha, (2005) o fato de algo ter valor para a sociedade justifica os esforços em conservá-lo e protegê-lo. Logo, a intenção de conferir qualidade a elementos naturais é uma perspectiva antropocêntrica, que enxerga a natureza como fonte de recursos para a sobrevivência humana (PEREIRA, 2010; PEREIRA & BRILHA, 2010).

De acordo com Forte (2014), o conceito de geodiversidade permite uma gama de aplicações porque não se restringe apenas a ser um conjunto dos elementos abióticos, mas também tem uma dimensão temporal, ou seja, liga diferentes processos naturais e humanos a diferentes escalas de tempo.

Como conceito aplicado, tem sido utilizado sob a égide da geoconservação tanto como ferramenta básica, quanto como princípio fundamental para a conservação de elementos abióticos. O meio abiótico, seu conjunto e suas relações sintetizados em um único termo, facilita sua incorporação nas políticas públicas de desenvolvimento sustentável (GRAY, 2004). Pode-se dizer que este é um novo paradigma voltado à sustentabilidade (PEREIRA, 2010; JORGE & GUERRA, 2016).

Como exemplo da incorporação desse novo paradigma na rotina científica e institucional, o Serviço Geológico do Brasil / Companhia de Pesquisa de Recursos

Minerais (CPRM) incorporou o conceito geodiversidade de forma a considerar, a partir da visão sistêmica:

[...] um novo e eficaz instrumento de análise da paisagem de forma integral, ou ecótopo, utilizando o conhecimento do meio físico a serviço da conservação do meio ambiente, em prol do planejamento territorial em bases sustentáveis, permitindo, assim, avaliar os impactos decorrentes da implantação das distintas atividades econômicas sobre o espaço geográfico (CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2008, p. 182).

Para ilustrar a ideia de geodiversidade que tem sido trabalhada pela CPRM, a figura 2 agrega a variedade de aplicações deste conceito.

Figura 2. Possibilidades de inserção da geodiversidade em várias áreas do conhecimento.



Fonte: CPRM, 2008, p.182.

Outros métodos foram desenvolvidos para utilização na gestão e planejamento territorial, atividade turística, científica e educacional. Por exemplo, Brilha (2005) desenvolve uma metodologia que visa sistematizar as tarefas no âmbito da conservação do patrimônio geológico. Essas etapas de trabalho, em padrão sequencial, são agrupadas da seguinte forma: inventário, quantificação, classificação, conservação, valorização, divulgação e monitorização. Pesquisadores como Rivas et al., (1997); Bruschi & Cendrero (2005); Coratza & Giusti (2005); Serrano e González – Trueba (2005); Pralong (2005); Pereira (2006); Zouros (2007); Garcia – Cortés & Carcavilla - Urqui (2009), também desenvolveram metodologias que envolvem a valoração do patrimônio geológico e geomorfológico (PEREIRA, 2010).

Lima et al., (2010) propõe, a partir de Brilha (2005), um método de inventariação do patrimônio geológico para o território brasileiro. A CPRM criou a plataforma GEOSSIT (2012) para armazenar e divulgar o extenso trabalho de inventariação e valoração do patrimônio geológico brasileiro. O projeto que antes utilizava o método Brilha (2005) e Garcia – Cortés & Carcavilla - Urqui (2009), (PROCHOROFF, 2014), agora segue em andamento utilizando o método atualizado de Brilha (2015).

Pereira & Brilha (2010) propõem um método para inventariação e valoração para região Chapada Diamantina - BA com o objetivo de dar suporte para delimitação e criação de geoparques. Também na Chapada Diamantina, Silva (2016) propõe uma metodologia para Geoparques envolvendo geodiversidade e identidade.

Outros trabalhos como o citado anteriormente foram desenvolvidos no PPGM na Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS). No âmbito da temática patrimônio geológico e mineiro: Modelagem Espacial do Potencial Turístico de Antigas Trilhas Garimpeiras na Vila de Igatu, Chapada Diamantina – BA (CARVALHO, 2008), Avaliação do Potencial do Uso Educacional da Manga do Céu (RUSS, 2012) e Modelagem espacial do potencial geoturístico do entorno da Baía de Habana - Habana - Cuba (PENALVER, 2013).

Outra linha de pesquisa e a de interesse para este trabalho é a avaliação e quantificação da geodiversidade. Estes métodos tentam realizar a transposição didática oriunda da ecologia aplicada ao meio abiótico tendo por base os cálculos de diversidade como riqueza, frequência e distribuição dos elementos e processos, usando operadores matemáticos (MARTÍNEZ et al. 2008).

No Brasil, o geógrafo Xavier da Silva foi pioneiro em quantificar a geodiversidade. Utilizando sistemas de informação geográfica (SIG) ele produziu um modelo para inferir a relação entre biodiversidade e geodiversidade a fim de indicar áreas de maior biodiversidade (XAVIER – da – SILVA, 2001, 2004). O conceito também ganha destaque em outros trabalhos teóricos aplicados aos estudos em ecologia como de Santucci, 2005; Martins, 2007; Bruschi, 2007; Katerina, J. & Dušan, 2008; Parks & Mulligan, 2010, (MANOSSO, 2012), na modelagem da geodiversidade como estratégia para gestão costeira (MARTINS, 2015), e a avaliação e quantificação da geodiversidade aplicada a questão ambiental (SANTOS et al. 2017).

Também foram desenvolvidas metodologias para avaliação da geodiversidade. Estas propostas, baseadas em métodos quantitativos e qualitativo – quantitativos (híbrido) deram um viés mais integrador no âmbito conceitual, isto é, foram inclusos outros elementos abióticos. Estes são alguns autores que propuseram esta nova forma de avaliação da geodiversidade: Kozłowski, (2004); Carcavilla Urqui et al. (2007); Serrano & Ruiz - Flaño (2007, 2009); Jackova & Romportl, (2008); Benito-Calvo et al. (2009); Zwolinski (2010); Hjort & Luoto (2010, 2012); Pellitero et al., (2011); Manosso (2012); Pereira et al., (2013); Silva et al. (2013, 2015); Forte, (2014, 2018); Melelli, (2014); Argyriou et al., (2016); Nascimento, (2016); Araújo, (2016); Tukiainen et al., (2016) e outros.

Os trabalhos mostrados acima têm como principal referencia metodológica o a proposta de Serrano & Ruiz – Flaño (2007). Desta forma, no item **2.3** serão descritos, além deste, outros que trouxeram modelos diferentes de avaliação e quantificação aplicados em diversas regiões e escalas de trabalho, seja pela introdução de novos elementos da geodiversidade, seja pelo uso de diferentes formas de análise espacial como álgebra de mapas, métricas da paisagem, método de análise hierárquica, o AHP (*Analytic Hierarchy Process*), agregação espacial e modelagem estatística.

2.2 Métodos de Quantificação da Biodiversidade

Diversidade é um conceito usado constantemente como sinônimo de “variedade, “heterogeneidade”, “variabilidade” (IBÁÑEZ et al., 2013). De forma abrangente, Houston (1994) explica que:

O conceito de diversidade tem dois componentes principais e dois julgamentos de valor inevitáveis. Os componentes primários são propriedades estatísticas que são comuns a qualquer conjunto de objetos diferentes, se os objetos são bolas de cores diferentes, segmentos de DNA que codificam diferentes proteínas, espécies ou níveis taxonômicos mais altos, ou tipos de solo ou manchas de habitat em uma paisagem. Cada um destes grupos de itens tem duas propriedades fundamentais: 1. o número de diferentes tipos de objetos (por exemplo, espécies, tipos de solo) no conjunto ou amostra; e 2. o número relativo ou quantidade de cada tipo diferente de objeto. Os juízos de valor são: 1. se as classes selecionadas são diferentes o suficiente para serem consideradas tipos separados de objetos; e 2. se os objetos de uma determinada classe são semelhantes o suficiente para serem considerados do mesmo tipo. Sobre essas premissas, está a quantificação da diversidade biológica” (HOUSTON, 1994).

Embora o uso do termo “diversidade” seja comum em diferentes disciplinas científicas (de físico-químicas a ecológicas e socioeconômicas) e na fala cotidiana, ele foi pretexto de muitas discussões sobre o seu significado, especialmente na ecologia (IBAÑEZ et al., 2013), que cria, a partir das definições de diversidade biológica, o termo biodiversidade.

Em 1988, Wilson e Peter popularizam o termo biodiversidade, que a partir da Rio – 92 (Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento) gerou impacto na opinião pública (IBAÑEZ et al., 2013) e atingiu uma posição de destaque frente a fóruns governamentais, públicos e políticos, (CROFTS, 2014) nos meios de comunicação, na academia e no currículo escolar.

Pode-se definir biodiversidade como sendo “*a variação de todas as formas de vida e em todos os níveis em que ela se manifesta (escala espacial múltipla)*”, (ACCACIO et al., 2003, p. 368), conceito este concebido em meio à crise ambiental, sob o impacto das atividades humanas (destruição de habitats, introdução de espécies exóticas e invasoras) que geraram redução na diversidade biológica (LÉVÊQUE, 1999).

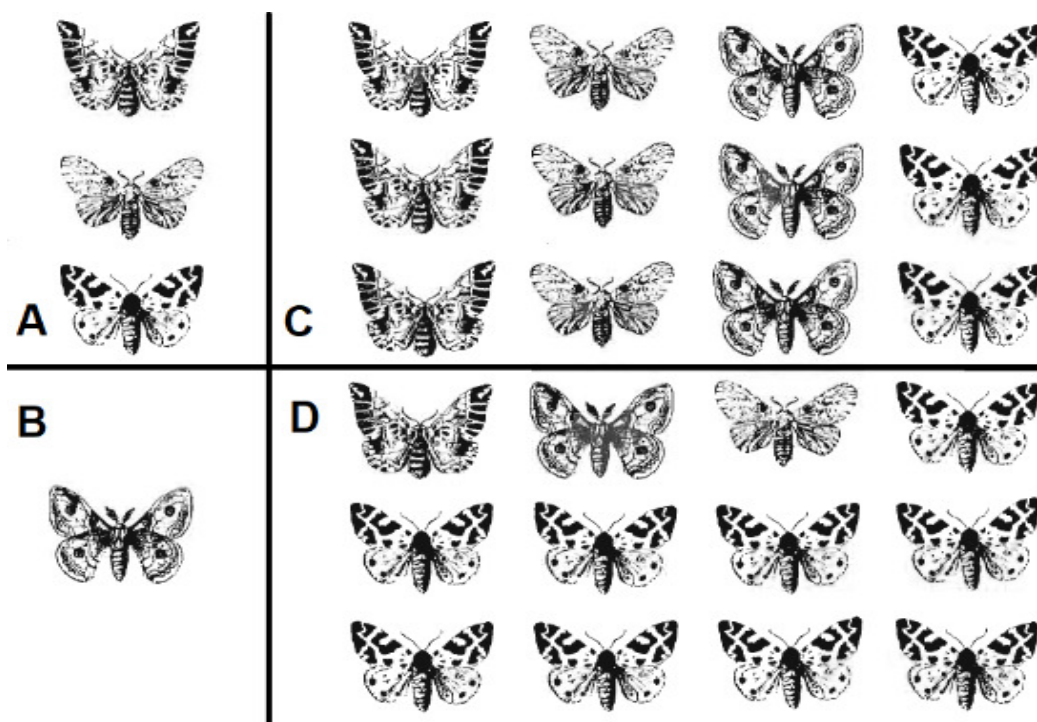
Sobre as medidas de biodiversidade Magurran, (1988) faz uma provocação: “*À primeira vista, a diversidade parece ser um conceito muito simples e inequívoco. Então, onde há espaço para tantos índices concorrentes?*”. A autora responde que, por conta das medidas de diversidade estarem baseadas nos fatores riqueza de espécies e uniformidade ou equitabilidade, cada índice que se proponha a medir diversidade irá depender do peso/ponderação relativa em que atribuem à riqueza e uniformidade. Logo, a complexidade conceitual da “diversidade” trouxe por esses motivos citados críticas e reflexões como as de Hurlbert (1971) e Cousins (1991). Estes autores apontaram problemas como o número de variáveis nos cálculos, peso de cada variável. Eles concluíram que as respostas dependem dos objetivos de estudo e que a depender da interpretação ou escolha dos índices, pode-se trazer resultados paradoxais.

Ricklefs (1990) diz ser comum a utilização do termo diversidade associado à ideia de riqueza de espécies. Isto é, riqueza seria o número absoluto de espécies presentes na comunidade numa determinada área. No entanto, é uma ideia incompleta. Porque, além do número e composição de espécies, deve-se levar em conta o quanto uma espécie é comum em relação às outras, relação esta calculada pela abundância relativa (RICKLEFS, 1990). Pelo fato de existir espécies mais

comuns e mais raras, deve-se levar em consideração a razão da abundância das espécies. Isso possibilita a definição de equitabilidade ou uniformidade (*evenness*) e dominância (ACCACIO et al., 2003).

Para melhor entendimento, a figura 3 ilustra os conceitos de uniformidade e riqueza de espécies. Em uma comparação entre A e B, o local A seria considerado mais diverso, pois possui três espécies de mariposas (portanto, maior riqueza), enquanto o local B tem apenas uma. Por contraste, não há diferença na riqueza de espécies de C e D. O local C possui quatro espécies de mariposas, cada uma com três indivíduos. O local D também possui quatro espécies de mariposas e novamente um total de 12 indivíduos. No entanto, no caso do local D, uma espécie é particularmente abundante em nove indivíduos, sendo o restante raro com apenas um indivíduo cada. Assim, embora em D tenham números iguais de espécies e indivíduos, a maior uniformidade em C o torna mais diversificado. Enfim, a alta uniformidade, que ocorre quando as espécies são iguais ou virtualmente iguais em abundância, é convencionalmente equacionada com alta diversidade. Por conseguinte, é possível dizer que medidas de diversidade, a partir da riqueza, podem enfatizar a ponderação de espécies incomuns (raridades de espécies) ou se enfatizar a partir da dominância (ponderação para espécies abundantes) (MAGURRAN, 1988).

Figura 3. Exemplo teórico para ilustrar os conceitos de riqueza e uniformidade de espécies.



Fonte: Magurran, (1988).

As medidas para biodiversidade podem ser divididas em três categorias principais. Primeiro são os índices de riqueza de espécies. Estes índices são essencialmente uma medida do número de espécies em uma unidade de amostragem definida. Em segundo lugar, existem os modelos de abundância de espécies que descrevem a distribuição das abundâncias das espécies (MAGURRAN, 1988).

Os modelos de abundância de espécies vão desde os que representam situações onde há alta uniformidade até aqueles que caracterizam os casos em que as abundâncias de espécies são muito desiguais. A diversidade de uma comunidade pode, portanto, ser descrita referindo-se ao modelo que fornece o melhor ajuste ao padrão observado de abundância de espécies. Se for necessário um único índice de diversidade, um parâmetro de uma distribuição apropriada pode ser usado. Índices baseados nas abundâncias proporcionais de espécies formam o grupo final. Nessa categoria surgem os índices como os de Shannon e Simpson, que buscam reunir riqueza e uniformidade em uma única figura (MAGURRAN, 1988).

Sobre esses últimos índices citados, os ecólogos fizeram adaptações baseados em modelos de diversidade derivados da Teoria Matemática da Comunicação, proposto por Shannon (1948). O índice de diversidade de Shannon

assume que os indivíduos são colhidos aleatoriamente a partir de uma população "indefinidamente grande" (isto é, efetivamente infinita) (PIELOU, 1975). O índice também admite que todas as espécies estão representadas na amostra. É calculado a partir da equação (equação 2):

Equação 1. Índice de Diversidade de Shannon (H')

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \ln(p_i)$$

Onde: S = número total de espécies; Pi = abundância relativa da espécie i.

O índice de diversidade de Shannon também tem sido aplicado a outros problemas, como a classificação da cobertura da terra na área de pesquisa conhecida como ecologia da paisagem (ver trabalhos de Ibañez et al. (1995); Yabuk et al., (2009); Malinowska & Szumacher, (2013)). A partir da ecologia, foi possível transpor este conhecimento, por exemplo, a variável 'espécies', equivale à 'classe de cobertura da terra' e os mesmos conceitos se aplicam (IBAÑEZ et al., 2013). Ou seja, para os processamentos de dados são trocados os tipos de entidades.

Outro índice de heterogeneidade é conhecido como medida de dominância, uma vez que são ponderadas em relação às abundâncias das espécies mais comuns, em vez de fornecer uma medida da riqueza de espécies. O índice de Simpson (ou dominância de Simpson "D") é o mais conhecido. Simpson (1949) deu a probabilidade de quaisquer dos indivíduos aleatórios de uma comunidade infinitamente grande pertencente a diferentes espécies como:

Equação 2. Dominância de Simpson (D)

$$D = \sum p_i^2$$

Onde: Pi = a proporção de indivíduos nas espécies i. Para calcular o índice, o formulário apropriado para uma comunidade finita é usado:

Equação 3. Dominância de Simpson

$$D = \sum_{i=1}^s \left(\frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)} \right)$$

Onde: n = o número de indivíduos de cada espécie. N = o número total de indivíduos.

À medida que D aumenta, a diversidade diminui e, portanto, o índice de Simpson é geralmente expresso como $1-D$ ou $1 / D$. O índice de Simpson é fortemente ponderado em relação às espécies mais abundantes na amostra, sendo menos sensível às espécies raras.

Segundo os autores Carcavilla et al., (2007) e Forte (2014), os índices de diversidade mais aplicados para quantificação da geodiversidade são o de Shannon & Weaver, (1949) e de Simpson (1949). Por exemplo: Benito-Calvo et al., (2009) utilizou os índices de uniformidade de Shannon e Diversidade de Simpson, Cushman et al. (2008) utilizou a diversidade e uniformidade de Simpson. Serrano & Ruiz-Flaño, (2007) adaptaram a diversidade de Shannon para medir geodiversidade através de um índice.

Apesar dos estudos em geodiversidade terem avançado principalmente nos métodos diretos, isto é, produtos que indicam e compõe de forma direta um modelo de geodiversidade como mapas temáticos de geologia, geomorfologia etc. (PELLITERO et al., 2014) e qualitativos (ZWOLINSKI et al., 2018). Há ainda grande lacuna nos métodos indiretos, aqueles cujos produtos podem compor um modelo de avaliação da geodiversidade de forma indireta como a rugosidade, orientação de vertentes e outros (PELLITERO et al., 2014) e quantitativos, sobretudo, nas adaptações de medidas da biodiversidade para a geodiversidade. Não obstante, já é notável uma maior aplicabilidade da quantificação baseada no conceito de riqueza de espécies (PELLITERO et al., 2014). Outras medidas de diversidade como as de uniformidade e dominância devem ser testadas e aprimoradas no âmbito das geociências.

Mostrada algumas formas de se medir biodiversidade no próximo item mostra-se alguns métodos diretos quantitativos e qualitativos-quantitativos para avaliação da geodiversidade.

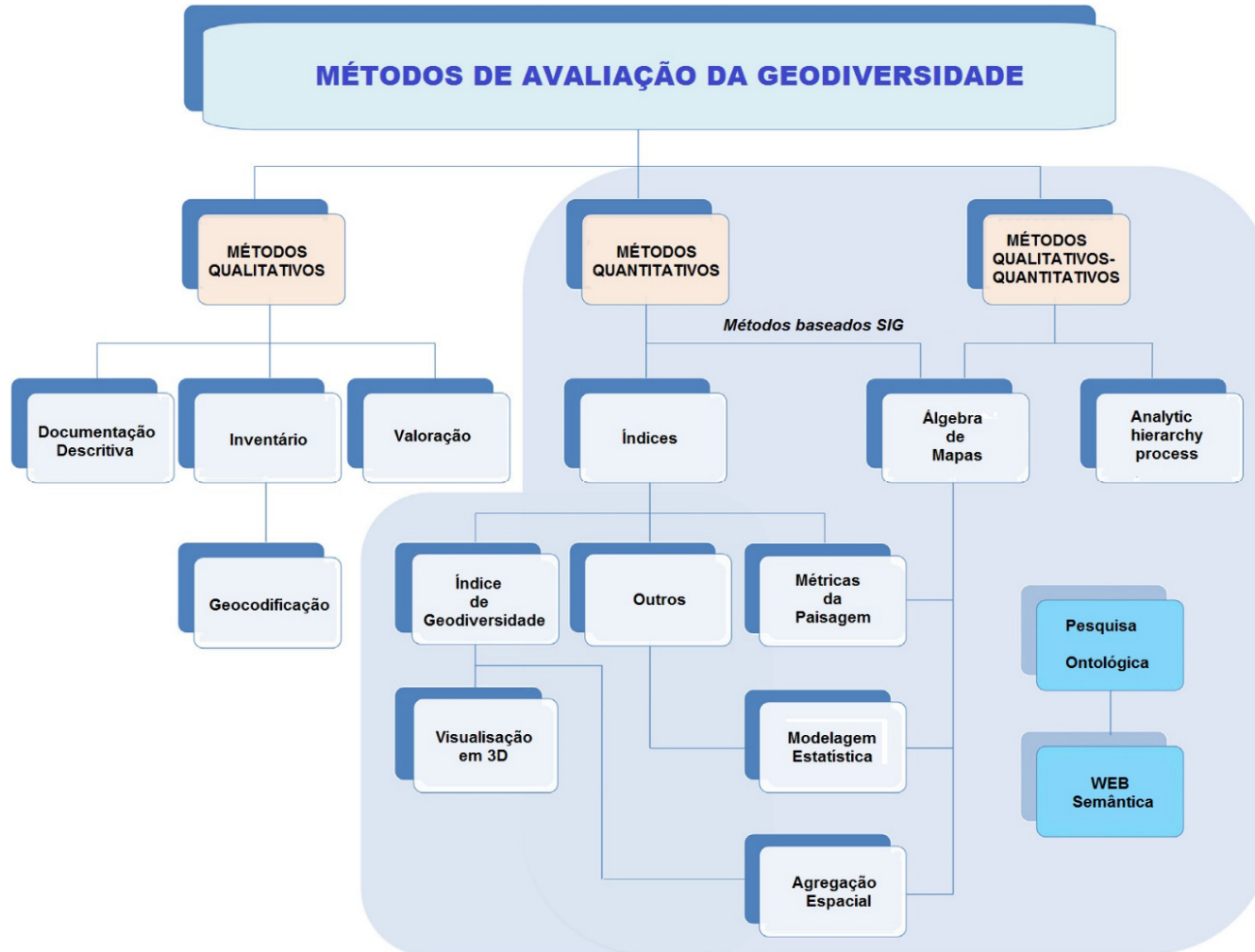
2.3 Métodos de Quantificação da Geodiversidade

Se comparado aos métodos quantitativos para biodiversidade, como visto anteriormente, os métodos para quantificar a geodiversidade estão em fase de teste (SERRANO & RUIZ – FLAÑO, 2007; PELLITERO, 2012). Além disso, pode se perceber que mesmo dentro da temática geodiversidade os trabalhos se concentram na componente qualitativa (SERRANO & RUIZ – FLAÑO, 2007). Em razão disto, ainda não foi sistematizado um modelo que avalie todos os componentes da

geodiversidade (GRAY, 2004). Em virtude deste hiato, trabalhos vem sendo realizados com o auxílio das geotecnologias no sentido de propor soluções e abrir novos campos de investigação.

Na figura 4, são mostradas as principais tipologias dos métodos de avaliação da geodiversidade. Nota-se que os métodos quantitativos, entre os quais se insere esta pesquisa, fazem uso dos sistemas de informação geográficas. Nota-se também a necessidade de desenvolver uma semântica universal para esta temática (ZWOLINSKI et al., 2018), bem como motivações para pesquisas ontológicas, de modo a estimular o debate e fazer o tema avançar. As tipologias para avaliação da geodiversidade se dividem em três. A primeira, qualitativa, que utiliza métodos diretos (ver conceito em PELLITERO et al., 2014), a segunda que utiliza métodos indiretos quantitativos com ferramentas SIG, e por últimos métodos híbridos, isto é, conciliam métodos diretos e indiretos para construção de seus modelos de avaliação da geodiversidade. Estes últimos tendem a crescer conforme se avançam as pesquisas nesta área (ZWOLINSKI et al., 2018).

Figura 4. Tipologias dos métodos de avaliação da geodiversidade.



Fonte: Zwolinski et al., (2018), adaptado pelo autor

2.3.1. Método Carcavilla et al., (2007).

Baseando-se nos estudos de quantificação da diversidade biológica, eles laboram a avaliação da geodiversidade por meio da frequência (abundância) e da distribuição dos elementos geológicos. O método proposto não foi testado na prática. No entanto, o trabalho teórico serve de referência para outros modelos. Os autores recomendam uma série de padrões a ser considerados na quantificação como: delimitação da área de estudo (administrativos, geológicos, biogeográficos e outros), sendo a delimitação a partir da geologia a recomendada; escala apropriada, que influi na escolha da tipologia dos elementos a serem quantificados (escolha dos elementos físicos). Por fim, é recomendada a representação da geodiversidade em linguagem cartográfica.

São estipulados três aspectos importantes para a análise da geodiversidade: a variedade geológica de um território; a relação entre os elementos que definem essa geodiversidade; valor dessa geodiversidade e a sua relação com o patrimônio geológico.

Na análise da geodiversidade podem ser usados parâmetros para quantificação, diagnóstico e a comparação da geodiversidade dentro da unidade de análise. Os parâmetros são:

1. Abundância: geodiversidade intrínseca (G_i) representa o número de classes presentes na unidade. $G_i = C/S$. Onde C = número de classes existentes na unidade, S = Superfície em km^2 .
2. Intervalo relativo (I_r): $I_r = I_c/I_t$. Onde I_c = Intervalo cronoestratigráfico representado na área, I_t = Intervalo cronoestratigráfico geral considerado na área.
3. Frequência: analisa os parâmetros de distribuição da geodiversidade. Frequência de classe (F_c) – número de vezes que se repete cada classe, relativamente à superfície total. $F_c = r_c/S$. Onde: r_c = Número de polígonos dessa classe, S = Superfície em km^2 . Superfície relativa de cada classe (S_c) – refere-se a área que ocupa a classe relativamente à superfície total, dando valor percentual. $S_c = (S_n \cdot 100) / S$. Onde, S_n = Superfície ocupada pela classe n (km^2) S = Superfície em km^2 .
4. Distribuição: analisa como é a organização espacial das classes, definindo o grau de fragmentação (G_f). $G_f = r/S$. Onde, r = Número de polígonos presentes na área de estudo, S = Superfície em km^2 .

Não é comum encontrar trabalhos que apliquem os procedimentos propostos por Carcavilla et al., (2007). Isto é, os trabalhos que propuseram a quantificar a geodiversidade se limitaram a calcular a quantidade de feições diferentes (riqueza) de determinado elementos abióticos dentro de uma unidade, seja ela unidade de paisagem ou grade regular. De forma inédita, Manosso (2012; 2014) calculou igualmente a superfície relativa e a superfície acumulada dos elementos em análise (FORTE, 2014).

2.3.2 Método Serrano & Ruiz – Flaño (2007)

A metodologia baseia-se na definição de unidades geomorfológicas e do levantamento de elementos físicos, cálculo do índice de geodiversidade para cada unidade. Ela foi aplicada na região de Tiermas-Caracena, setor sul da província de Soria – Espanha. Os autores consideram que um maior número de elementos (riqueza) corresponde a uma maior geodiversidade (ver Anexo 1). O parâmetro rugosidade do terreno (R) é incluído e representa as variações microclimáticas e topográficas, que podem indicar o grau de energia daquele geossistema. Dependendo do terreno, a medida R potencializa a geodiversidade.

Os elementos considerados no modelo são: topografia (energia e rugosidade), geologia (minerais, litologia, os depósitos superficiais, fósseis, tectônica e estruturas), geomorfologia (morfoestruturas, sistemas morfogenéticos, processos, formas de erosão, formas de acumulação, microformas), hidrologia (estados da água, oceanos, mares, rios, geleiras, fontes, região pantanosa e lagos) e solos (ordens e subordens).

Os autores ressaltam a importância na escolha da escala de trabalho por ser difícil a representação de toda geodiversidade e propõem 4 escalas: no nível de partículas (átomos, moléculas e processos de energia); nível dos elementos (geomorfológicos, geológicos e solos); local (geótopos e geossistemas); e na escala de paisagem. A metodologia tem três passos:

1. Análise dos elementos e elaboração do mapa geomorfológico.
2. Criação de unidades geomorfológicas que armazenaram os valores de riqueza da geodiversidade.
3. Valoração das unidades (índice de geodiversidade) a partir da fórmula:

Equação 4. Fórmula do índice de geodiversidade de Serrano & Ruiz-Flaño, (2007).

$$Gd = EgR/\ln S$$

Onde: G_d = Índice de Geodiversidade; E_g = Número dos diferentes elementos físicos das unidades; R = Coeficiente de rugosidade da unidade; S = Área superficial da unidade (km^2).

O parâmetro E_g é calculado através da contagem dos elementos físicos. E a rugosidade corresponde à maior frequência do valor da declividade na unidade.

No Brasil, em escala local, Pereira et al., (2013) adaptaram o método de Serrano & Ruiz - Flaño (2007), aplicando-o à Área de Proteção Ambiental Sul da região metropolitana de Belo Horizonte – MG.

A principal crítica a este método é a supervalorização da geomorfologia incidindo na redundância do elemento relevo na quantificação da geodiversidade (PEREIRA, 2013). Apesar disso, a metodologia pode ser utilizada para entender os valores gerados do índice de geodiversidade correlacionando com áreas de interesse geomorfológico (PELLITERO et al., 2011), ou ser utilizada em outros polígonos como unidades de paisagem ou até mesmo em malha municipal (ver trabalho de Pereira, (2017)).

2.3.3 Método Benito – Calvo et al. (2009)

A proposta dos autores foi a de comparar várias zonas geodinâmicas da Península Ibérica. Para alcançarem o objetivo, desenvolveram em SIG uma classificação regional baseada em processamento de dados morfométricos, morfoclimáticos, geológicos e, de forma indireta, propriedades pedológicas. Com os três mapas gerados, foi feita operação de união dos vetores, que produziu um único mapa. Com este mapa, foram calculados parâmetros de métricas das paisagens como a densidade de riqueza, índice de riqueza de Shannon, índice de abundância de Shannon, índice de riqueza de Simpson e índice de abundância de Simpson.

Os autores concluíram que os maiores valores dos índices apontavam áreas com maior altitude, no caso, os Alpes. Eles concluem afirmando que dependendo da escala de trabalho e os critérios de classificação da paisagem, estes índices forneceram uma classificação objetiva da geodiversidade da Península Ibérica.

2.3.4 Método Hjort & Luoto (2010)

Os autores propuseram um método aplicado ao norte da Finlândia com área de 285 km^2 , para se entender as relações geodiversidade – ambiente e geodiversidade – biodiversidade. As etapas são resumidas em:

1. Inventariação e descrição da variação espacial da geodiversidade numa paisagem subártica;
2. Testar e aplicar quatro medidas de geodiversidade: a geodiversidade total, a variabilidade dos processos geomorfológicos, a variabilidade dos elementos e o índice de geodiversidade proposto por Serrano & Ruiz - Flaño (2007).
3. Explorar a relação entre topografia e geodiversidade.

Na escolha dos elementos físicos se basearam em Gray (2004) e Serrano & Ruiz - Flaño (2007), incluíram elementos da geologia, geomorfologia e hidrologia e excluíram a pedologia e a rugosidade. Foi proposta uma grade de alta resolução 500x500m que permite o cálculo da riqueza de diferentes dados em diferentes escalas cartográficas seja ele mapas ou coletas de campo.

Hjort e Luoto (2012) propõem o levantamento da geodiversidade sem uso de cartas base de solo, geologia e geomorfologia. Eles desenvolveram uma metodologia por meio de técnicas do sensoriamento remoto e modelagem digital do relevo, a partir do modelo digital de elevação (MDE). Empregou-se algoritmos como o *generalized additive modeling* (GAM) e variação particionada

2.3.5 Método Pereira et al. (2013)

Neste método os autores afirmam que contemplaram todos os elementos da geodiversidade, sem criar redundâncias na quantificação. O método foi aplicado no estado do Paraná, cuja área é de aproximadamente 200.000 km². A análise espacial utilizada em um sistema de informação geográfico (SIG) se baseia na sobreposição (*overlay*) de uma grade de tamanho 25x25 km nas camadas representativas da geodiversidade (mapas geológico, geomorfológico e pedológico nas escalas 1:500.000 e 1:600.000) para gerar índices parciais em cada quadrícula. A metodologia teve os seguintes passos:

1. Escolha dos elementos físicos representativos da geodiversidade: geologia (estratigrafia e litologia); geomorfologia: unidades morfoestruturais, unidades morfoesculturais, subunidades morfoesculturais, hidrografia; pedologia (ordem e subordem); paleontologia (número de diferentes formações fossilíferas); ocorrências minerais (ocorrência de minerais, fontes de energia).

2. Processamento dos índices parciais: Índice geológico; Índice geomorfológico; Índice paleontológico; Índice pedológico; Índice de ocorrências minerais. As feições foram contadas e somadas para cada quadrícula.
3. Para o índice de geodiversidade, somou-se os valores dos índices parciais.
4. Criou-se classes de intervalos iguais para indicar a intensidade da geodiversidade (muito alto – alto – médio – baixo – muito baixo).
5. Após a classificação do índice, os valores foram interpolados no mapa.

A análise espacial feita por uma grade (grid) fornece um resultado sem valorizar elementos específicos e também mostra de forma homogênea a distribuição da diversidade de elementos na área de estudo (ver Anexo 2).

2.3.6. Outros métodos

Silva (2015) parte do método Pereira et al. (2013) para entender a influência dos padrões de canais de drenagem e de outros parâmetros da morfologia fluvial como indicador de geodiversidade (ver Anexo 3) da bacia do rio Xingu (Pará e Mato Grosso).

Forte (2014) traz um método modificado de Serrano & Ruiz-Flaño (2007) onde considera como variáveis estruturantes a geologia, geomorfologia e solos para entender a variação espacial de elementos abióticos em diferentes territórios como caso de Mafra (Portugal) e Morro do Chapéu (Bahia) fazendo análise espacial baseada em operações *overlay* e densidade *kernel* (agregação espacial). O autor conclui a impossibilidade de comparação de territórios diferentes quando usadas bases cartográficas em escalas diferentes (ver Anexo 4).

Melelli (2014), em seu artigo onde propõe um novo índice quantitativo para aprimoramento de áreas naturais protegidas, discute a importância de se implementar um modelo imparcial de análise espacial em ambiente SIG para a geodiversidade em diferentes escalas. A autora utiliza método de grade para quantificar a riqueza da região de Umbria (Itália). Nesta direção a autora propõe um índice de geodiversidade (GI):

Equação 5. Índice de geodiversidade Melelli (2014).

$$GI = \frac{[(\sum_{i=1}^n Vi) + (\sum_{i=1}^n Gmi)] \left(\frac{Sa}{Pa}\right)}{\ln Sa}$$

Onde: V_i (função de variabilidade) é cada fator abiótico que contribui para a definição da geodiversidade com características intrínsecas de continuidade espacial (isto é, litotipos e classes de uso da terra);

G_{mi} (fator de geomorfologia) é cada fator abiótico que contribui para a definição da geodiversidade com características intrínsecas de descontinuidade espacial (unidades geomorfológicas, formas de relevo).

S_a (superfície) é um dado matricial em que os valores das células refletem a verdadeira área de superfície topográfica dentro dessa célula;

P_a (área planimétrica) é o quadrado da resolução do Modelo Digital de Elevação (MDE) que representa a superfície topográfica.

Ela conclui afirmando que seu método obteve um conjunto de dados que classificou a área de estudo em nula, baixa, média e alta geodiversidade, e principalmente que seu método é um caminho para implementação de um modelo computacional para geodiversidade em diferentes escalas, para melhor definição dos elementos de geodiversidade e um procedimento imparcial adequado para determinação automática do índice de geodiversidade (ver Anexo 5).

Argyriou et al., (2016) a partir da classificação geomorfométrica, geológica e climática utilizando SIG realiza álgebra de mapas (*overlay*) e produz um mapa de geodiversidade da Ilha de Creta (Grécia). Em posse das classes de geodiversidade, avalia a estrutura da paisagem a partir das métricas riqueza, uniformidade, fragmentação e forma das manchas (*patches*). Conclui que os índices de geodiversidade fornecem informações sobre processos como a deformação neotectônica e erosão/deposição na paisagem. E sobre a utilidade destas informações para avaliação do patrimônio geológico, planejamento e gestão de recursos naturais e apontamentos de áreas prioritárias para conservação (ver Anexo 6).

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1. Região Chapada Diamantina

A Chapada Diamantina é uma região que apresenta duas denominações, uma de ordem fisiográfica (definida pelas características físicas), e uma de significado político (caracterizado pelo agrupamento de municípios para fins de gerenciamento governamental).

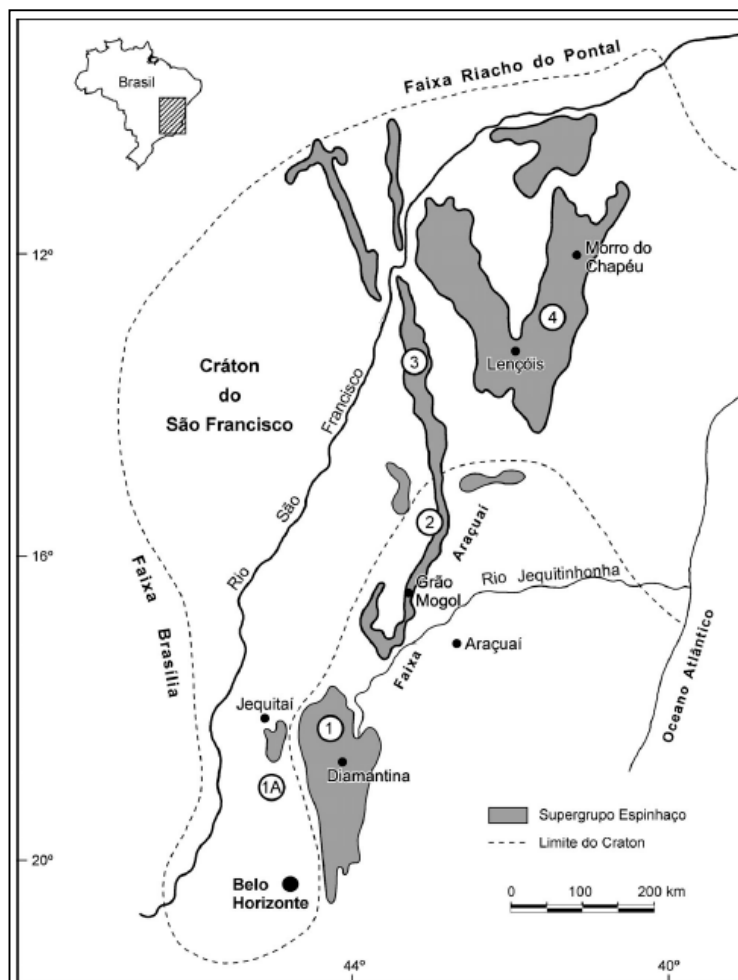
Sobre as características físicas: a Chapada Diamantina é o prolongamento no estado da Bahia, do sistema orográfico do Espinhaço. Essa região abrange da parte setentrional da Cadeia do Espinhaço (figura 5), conjunto de montanhas disjuntas que se estende desde o Estado de Minas Gerais, em direção ao Norte, até alcançar a calha do Rio São Francisco (Misi & Silva, 1996). A Chapada Diamantina (a figura 6 mostra a distribuição geográfica da serra do Espinhaço, em destaque, e da unidade estratigráfica que a sustenta, Supergrupo Espinhaço, na região centro-oriental brasileira. Domínios geográficos: 1 – Espinhaço Meridional; 2 – Espinhaço Central; 3 – Espinhaço Setentrional; 4 – Chapada Diamantina) ocupa uma área de cerca de aproximadamente 65.000 km², nela estão situados cerca de 75 municípios. A região se caracteriza por um conjunto de relevos serranos, planaltos e sistemas cársticos e bacias sedimentares, desenvolvidos essencialmente em rochas de natureza sedimentar e metassedimentar, as quais estão estratigraficamente agrupadas nos Grupos Rio dos Remédios, Paraguaçu, Chapada Diamantina e Una (PEREIRA, 2010).

Sobre o relevo, a região se configura como um planalto, com borda suavizada a leste e a oeste escarpado formando vultuosos paredões, serras com picos rochosos menores que compõem um sistema de dobramentos proterozóicos com fraturas e falhamentos ortogonais (NOLASCO, 2002). Os vales principais situam-se nos domínios dos depósitos quaternários. Além disso, este sistema orográfico tem altitude média em torno de 1.000 metros, e picos de 1.700 metros.

A região constitui-se, portanto, um divisor do vale do São Francisco a oeste, e o litoral a leste, e é dividida geograficamente em várias serras, como a do Rio de Contas, do Bastião, do Mangabeira e do Sincorá. Nessa última, localizada a leste da Chapada Diamantina, está situado o Parque Nacional da Chapada Diamantina (PNCD).

Figura 5.
Orográfico do

Sistema
Espinhaço

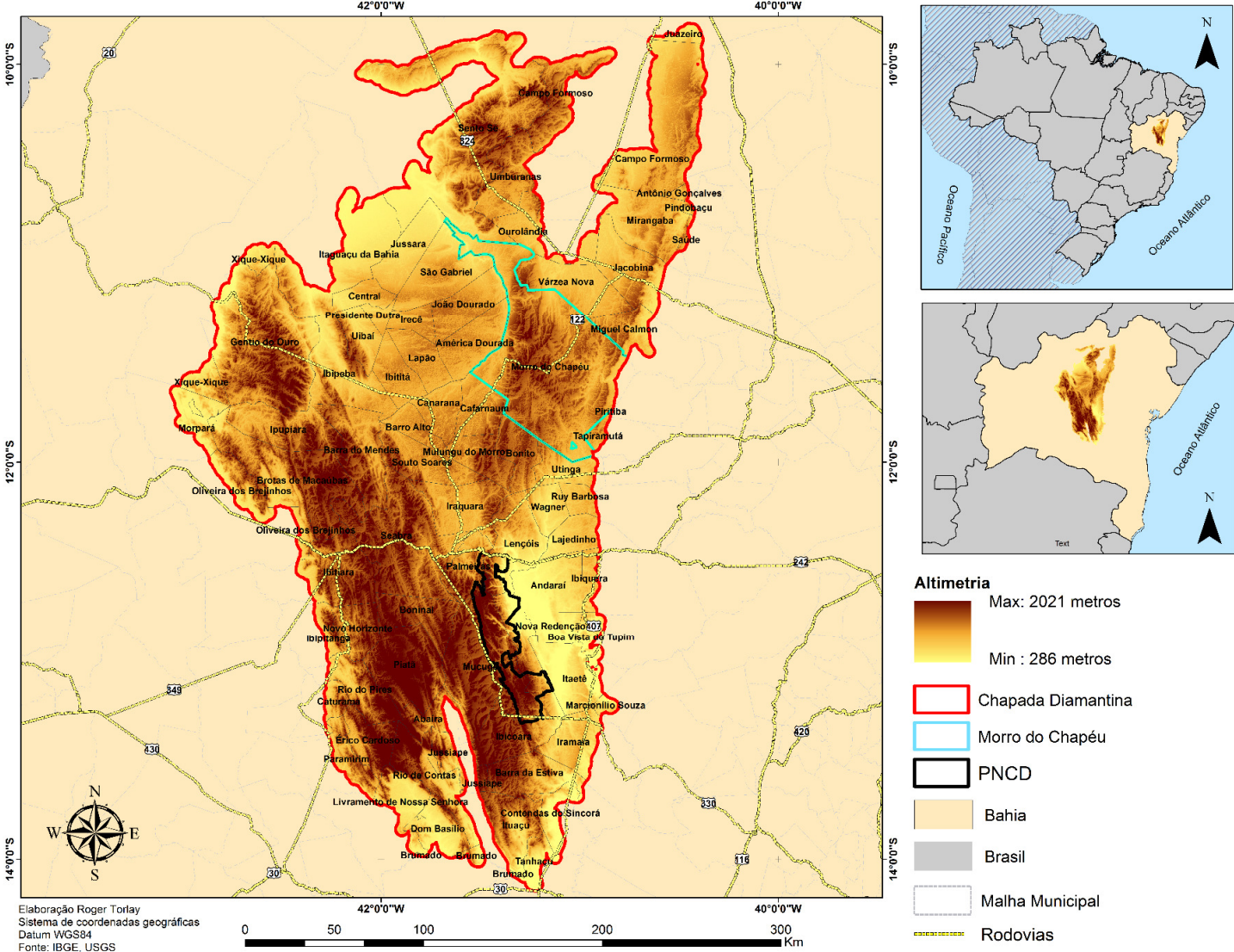


Fonte: Chaves & Brandão, (2004).

Embora a região ser normalmente incluída na zona climática do semiárido, o relevo da Chapada Diamantina provoca uma barreira no fluxo de ar, possibilitando a formação de chuvas orográficas de caráter torrencial, principalmente no setor oriental, que contribuem para atenuar a temperatura, cuja média pode variar entre 18°C e 20°C aproximadamente.

Apesar de considerada ecorregião do bioma Caatinga, o conjunto de condicionantes físicos da geodiversidade e as características climáticas na região propiciam que a Chapada Diamantina seja um mosaico de fitofisionomias com de uma diversidade de paisagens que inclui cerrados – chamados de campos gerais –, campos rupestres, florestas e caatingas, bem como o ecótono carrasco (JUNCÁ et al., 2005).

Figura 6. Localização das áreas de estudo: Região Chapada Diamantina, Município de Morro do Chapéu e PNCD.



Vistas as principais características físicas da região, passa-se a observar sua organização política. Os municípios contidos na região Chapada Diamantina totalizam 75 e são conectados principalmente por rodovias estaduais e federais (ver mapa na figura 6). A distância média da região com a capital Salvador é de 350 quilômetros.

Em 2007, o governo do Estado criou uma nova regionalização no estado de forma a agrupar os municípios conforme aspectos sentimentais de pertencimento (identidade cultural) da população, associados a características socioeconômicas, políticas, culturais e geo-ambientais por municípios. A partir deste propósito, definiu-se e delimitou-se os 26 Territórios de Identidade do Estado da Bahia, (BAHIA, 2007).

O território de identidade Chapada Diamantina é composto por 23 Municípios, que tem como atividade produtiva a agropecuária, serviços e turismo. Isso porque a região é um dos principais destinos ecoturísticos do Brasil (BRITO, 2015) e tem nos elementos da geodiversidade o seu principal apelo turístico, sendo Morro do Chapéu, Palmeiras, Mucugê, Andaraí e Lençóis os municípios que recebem mais turistas.

Os 23 municípios têm uma população total de aproximadamente 361.000 habitantes sendo que 50% da população total por municípios habitam a zona rural (IBGE – Cidades, 2007). O IDHM (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal) varia de baixo a médio desenvolvimento humano. Sendo o mais baixo 0.569 (Andaraí) e mais alto 0,681 (Abaíra), (PNUD, 2008).

Realizada a caracterização geral da paisagem e dos aspectos humanos da Região Chapada Diamantina, passa-se a seguir a aprimorar a descrição das características físicas do município de Morro do Chapéu e o PNCD.

3.1.1. Morro do Chapéu.

Onde se encontra o município de Morro do Chapéu há uma particularidade em relação ao relevo. As formas tabulares dispostas por patamares com altitudes que variam entre 400 e 1200 metros promovem diferentes zonas climáticas (ROCHA & COSTA, 1995). Segundo a classificação de Köppen, o município apresenta (Ver Apêndice 1) os tipos climáticos: a oeste BSh (semiárido quente) e no centro predomina o tipo CWb (tropical de altitude com verão brando). Em contato com a zona climática predominante no centro do município se têm o tipo Cwa (tropical de

altitude com verão quente) e por fim, a leste do município o tipo Aw (tropical subúmido) é predominante.

Quanto à geologia do município de Morro do Chapéu (ver mapa geológico em Anexo 7), sobre as rochas do embasamento cristalino granito-gnáissico de 2,5 bilhões de anos que compõem o Complexo Mairí e o Granitoide de Brejo Grande, formou-se uma bacia sedimentar onde foram depositados cascalhos, areias, argilas e calcários que deram origem ao Grupo Chapada Diamantina e Grupo Una (ROCHA & PEDREIRA, 1995). O Grupo Chapada Diamantina (ver figura 7), que se desenvolveu no Mesoproterozóico (há aproximadamente 1.600 milhões de anos), é constituído pelas Formações Tombador (na base), Caboclo e Morro do Chapéu (no topo). Suas discordâncias e associações de litofácies revelam mudanças ambientais e, conseqüentemente, diferentes ambientes de deposição (ROCHA & PEDREIRA, 2013).

A Formação Tombador é constituída por rochas sedimentares clásticas e possui características de ambientes continentais e transicionais. Já a Formação Caboclo é composta por sedimentos mais finos que os da Tombador, são argilitos e siltitos, além dos carbonatos, e caracteriza-se por ambientes deposicionais de transição e marinho. A formação Morro do Chapéu é composta por conglomerados, arenitos, argilitos e siltitos, os quais foram depositados em ambientes fluviais, planícies de maré e deltaico.

Figura 7. Associações de litofácies integrantes dos grupos Chapada Diamantina e Una.

Grupo	Formação	Perfil gráfico - sedimentar	Associação de Litofácies	Ambiente de Deposição	
Una	Salitre		Calclutito e Marga (Unidade Irecê)	Submaré	
			Calcarenito (Unidade Jussara)	Inter a submaré	
			Calcissiltitos (Unidade Gabriel)	Intermaré	
Una	Bebedouro		Laminito Algal (Unidade Nova América)	Supramaré a submaré	
			Diamictito, Arcóseo e Lamito	Glacial	
			Conglomerado Suportado pelos Clastos	Sistema fluvial <i>braided</i>	
Chapada Diamantina	Morro do Chapéu		Arenito Feldspático Sigmoidal Fluidizado	Deltaico	
			Arenito / Lamito	Supra a submaré	
			Arenito Sigmoidal	Inter a submaré	
			Siltito / Arenito	Inter a submaré	
			Conglomerado Suportado pelos Clastos	Sistema fluvial <i>braided</i>	
	Chapada Diamantina	Caboclo		Laminito Algal / Estromatólito Colunar	Supra a submaré
				Lamito / Arenito	Plataformal
				Laminito Algal / Calcarenito Oolítico	Supra a intermaré
				Arenito Conglomerático	Sistema fluvial <i>braided</i>
				Lamito / Arenito	Plataformal
				Laminito Algal / Calcarenito Oolítico	Supra a intermaré
				Arenito Conglomerático	Sistema fluvial <i>braided</i>
				Lamito / Arenito	Plataformal
				Siltito Lenticular	Submaré
				Laminito Algal / Calcarenito / Estromatólito	Supra a submaré
Chapada Diamantina	Tombador		Arenito de Granulação Grossa	Transicional	
			Arenito Estratificado	Sistema eólico	
			Arenito	Sistema fluvial <i>braided</i>	
Granitóide de Brejo Grande			Conglomerado	Leque aluvial	
Complexo Mairí			Granodioritos e monzogranitos porfiroclásticos		
			Paragneisses, ortoqnaisses e metabásicas com formações ferríferas		

Fonte: Rocha & Pedreira, (2013).

O Grupo Una (ver mapa geológico, anexo 7), composto pelas formações Bebedouro e Salitre, teve início no Neoproterozóico (há aproximadamente 950 milhões de anos). Sua deposição inicial está relacionada a um evento glacial que deu origem a uma associação de litofácies diamictito/arcóseo/lamito, que compõem a denominada Formação Bebedouro. Em seguida, devido à mudança climática para um clima semiárido, houve o derretimento das geleiras e consequente elevação do nível do mar, que deu origem à Formação Salitre com depósitos de unidades carbonáticas. (Ibdem, 2013).

Além da descrição sobre processo e origem do relevo de Morro de Chapéu utilizou-se também classes de relevo conforme a declividade a partir de proposta (quadro 2) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1999).

A geomorfologia de Morro do Chapéu é constituída por 15 unidades (Ver Apêndice 2): **Baixada do Rio Jacaré**, que foi desenvolvida principalmente em calcários cinza claro. Esta unidade se caracteriza por declividade plana - suave e

Quadro 2. Classificação do relevo a partir da declividade.

Classe de relevo	Características
Plano – 0 a 3%	Superfície de topografia esbatida ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos.
Suave Ondulado – 3 a 8%	Superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjuntos de colinas e/ ou outeiros (elevações de altitudes

	relativas até 50 m e de 50 a 100 m, respectivamente), apresentando declives suaves.
Ondulado – 8 a 20%	Superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas, apresentando declives moderados
Forte Ondulado – 20 a 45%	Superfície de topografia movimentada, Formada por outeiros e/ou morros (elevações de 50 a 100 m e de 100 a 200 m de altitudes relativas, respectivamente) e raramente colinas, com declives fortes.
Montanhoso – 45 a 75%	Superfície de topografia vigorosa, com predomínio de Formas acidentadas, usualmente constituída por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes e muito fortes.
Escarpado – >75%	Áreas com predomínio de Formas abruptas, compreendendo superfícies muito íngremes e escarpamentos, tais como: aparados, itaimbés, Frentes de cuevas, Falésias, vertentes de declives muito fortes.

Fonte: EMBRAPA, (1999)

pouco dissecado. No setor leste, ocorrem formações superficiais, geralmente de origem alóctone, sobre rochas calcárias (ROCHA & COSTA, 1995). A oeste nesta unidade ocorrem vales desenvolvidos em superfícies cársticas, com fundo plano e vertentes com declive médio a acentuado. A sul, localizam-se algumas colinas, morros e escarpas calcárias com declive até 25%.

A Unidade **Encosta Ocidental** é formada por arenitos. Ela apresenta uma longa encosta com relevo influenciado pela estrutura geológica representando facetas triangulares de camadas ou dobras, cristas, planos rochosos e relevos ruiformes. Toda esta área, cujas altitudes (ver mapa hipsométrico no apêndice 5) variam entre 600 a 1000 metros (referente ao datum vertical de Imituba), é drenada por pequenos cursos de água, os quais afluem para oeste, para o rio Jacaré e/ou vereda do Romão Gramacho.

Tabuleiro Rampeado, esta unidade é constituída por extensas áreas de declive suave com dissecção pouco significativa do relevo. O curso de água mais importante desta unidade é o riacho Orlando e também é drenada por afluentes do rio Salitre.

Pedimentos do Rio Salitre se caracterizam por ocorrerem extensas áreas planas e suave ondulado (ROCHA & COSTA, 1995) com variação altimétrica de 640 a 1000 metros. Suas vertentes são drenadas pelo rio Salitre e os riachos Vereda e Vereda de Covão. Os calcários predominantes na unidade **Baixada do Rio Salitre**

possibilitou por meio de suas alterações (dissolução) o desenvolvimento de uma extensa área aplainada, além de dolinas. A altitude média é em torno de 800 metros.

A unidade **Tabuleiros de Flores** possui uma extensa área aplanada com altitude média de 880 metros, levemente dissecada, com algumas formações superficiais profundas e rasas (Rocha & Costa, 1995). As coberturas detríticas são predominantes nesta unidade e é onde se localizam várias lagoas, em menor extensão, os conglomerados-arenito-argilito e campos de murundus (ver Apêndice 4).

Na unidade **Superfície Serrana** são encontradas serras como a do Estreito, Isabel Dias e Candéal. Nesta unidade há altas declividades (acima de 45 %) e tem altitudes que variam de 900 a 1100 metros. Nesta região mais acidentada, há um grande número de nascentes como a do rio Jacaré, Salitre e Jacuípe.

A unidade **Planalto do Morro do Chapéu** foi desenvolvida sobre litotipos das formações Tombador, Caboclo, Morro do Chapéu e Bebedouro. Essa litologia e estrutura geológica influencia no grau de dissecação das vertentes e no entalhamento dos vales, que geram morros com topos planos. Esta unidade drenada pelos rios Jacuípe, da Barra e Ferro Doido tem altitudes que variam entre 800 e 1000 metros.

O **Vale do Rio do Ferro Doido** é drenado pelos rios, Preto, Ventura e riacho dos Pojos. Destacam-se planícies fluviais com fundo de vales plano e vertentes convexas com altitude variando entre 600 a 800 metros. Também ocorrem extensas áreas aplainadas de coberturas detríticas.

No **Patamar Dissecado Dias Coelho** ocorrem extensas planícies fluvial com altitude entre 480 e 560 metros com relatos de inundações periódicas em épocas de cheia do rio Jacuípe (ROCHA & COSTA, 1995). Em direção aos vales de fundo plano, as vertentes são mais íngremes. Tais relevos são modelados a partir das rochas graníticas e gnáissicas do embasamento cristalino.

Na unidade **Chapada Duas Barras** possui altitude variando entre 600 e 800m, com caimento topográfico em direção ao rio Duas Barras. Predominam relevos planos e suave ondulado com declividades variando entre 2 a 6%.

Vão dos Córregos, esta unidade está situada entre as unidades do Planalto de Morro do Chapéu e Planalto da Lagoinha e drenada por córregos afluentes da margem esquerda do rio Duas Barras, essa unidade está a uma altitude entre 800 e 960m. O relevo é constituído por uma superfície aplainada, dissecada pelos vários

córregos formando vales em V ou plano, e recoberto com formações superficiais espessas, geralmente resultantes da alteração dos argilitos e arenitos (ROCHA & COSTA, 1997).

A unidade **Chapada de Ouricuri** foi desenvolvida principalmente pelos calcários. Apresentam declividades plana e suave ondulado, presença de dolinas. Nos Vales de fundo aplainados foram desenvolvidos por linhas de falhas. O principal rio que drena esta unidade é o rio Baixa de Cafarnaum.

A unidade **Planalto de Lagoinha** se caracteriza por terrenos aplainados com alguns vales de fundo plano condicionados pelas linhas de falha. O rio Baixa do Cristal drena esta unidade com altitudes variando de 900 a 1000 metros.

Por fim a menos unidade geomorfologia chamada de **Planícies Fluviais** é uma unidade segmentada que faz contato a oeste da unidade Encosta Ocidental e a leste e sul do Vale do Rio do Ferro Doido, no Patamar Dissecado Dias Coelho e na Chapada de Duas Barras. A unidade é constituída por aluviões advindo de acumulação fluvial onde está sujeito a inundações periódicas de acordo com Rocha e Costa, (1995).

Sobre a distribuição dos solos a descrição é feita conforme o mapa (apêndice 4) produzido a partir do sistema de classificação dos solos proposto pela Embrapa (1997) e mapeado no Projeto Mapas Municipais – Município de Morro do Chapéu.

Os solos mais encontrados no município de Morro do Chapéu são: **AQa - Areia Quartzosa** álica A moderado + **Areia Quartzosa Latossólica** álica A moderado + Solos Litólicos álicos A fraco textura arenosa e arenosa cascalhenta substrato arenito fase pedregosa. São encontrados principalmente formas de relevo plano e suave ondulado. **Ra1 - Solos Litólicos** álicos A fraco e moderado textura arenosa substrato arenito fase pedregosa + Afloramento de Rocha. São encontrados principalmente formas de relevo suave ondulado, ondulado e forte ondulado; **Ad - Solos aluviais** distróficos Tb A moderado, textura média e argilosa + Solos Aluviais distróficos salino-sódicos em profundidade A moderado textura média e argilosa. São encontrados principalmente formas de relevo plano com microrrelevo (possivelmente referentes aos campos de murundus, ver fotos no apêndice 3).; **PVa5 - Podzólico Vermelho_Amarelo** álico Tb A moderado textura média/argilosa e média cascalhenta + Latossolo. São encontrados principalmente formas de relevo plano no fundo dos vales encaixados e ondulados e forte ondulado nas encostas; **Ce1 - Cambissolo** eutrófico Tb profundo e pouco profundo A fraco e moderado

textura média e argilosa. São encontrados principalmente formas de relevo plano e suave ondulado. **LVe - Latossolo Vermelho-Amarelo** eutrófico A fraco textura média leve. São encontrados principalmente formas de relevo plano.

3.1.2. Parque Nacional da Chapada Diamantina.

O PNCD é uma Unidade de Conservação Federal, regulado pela Lei nº 4.771, de 15/09/1965 Dec. Nº 84.017, de 21/09/1979 que considera Parques Nacionais como áreas extensas e delimitadas, dotadas de atributos excepcionais da natureza, ou seja, da flora, fauna, solo e paisagem natural ou de valor científico ou histórico, objeto de preservação permanente, postas à disposição da população. Sua utilização para fins científicos, educacionais e recreativos dependerá de prévia autorização do ICMBio, que tem sede no município de Palmeiras.

O parque criado em 1985 por meio do Decreto Federal nº 91.655/85 (BRASIL, 1985), está localizado na borda centro oriental da Chapada Diamantina (ver mapa de localização na figura 6). Além dos valores ecológicos e para a sociedade, já citados anteriormente o parque está inserido em uma região que abriga as nascentes dos principais rios do estado, incluindo o rio Paraguaçu, que abastece a sua capital, e mais um conjunto de afluentes importantes da margem direita do rio São Francisco. Esses aspectos enaltecem a importância estratégica e hidrológica da região, que também abriga 13 unidades de conservação, fato que demonstra a relevância do seu valor ambiental.

Dessa forma, o PNCD é considerado uma Unidade de Conservação integral, seus 1.520Km² de extensão correspondem mais da metade da Serra do Sincorá. Sobre esta Serra, sua vertente ocidental é uma escarpa quase contínua, com cerca de 800 a 2000 metros de altura (ver mapa hipsométrico no apêndice 6) e 80 quilômetros de extensão.

O **clima** predominante na região do PNCD é do tipo tropical semi-úmido, condicionado especialmente pelo relevo, o que o diferencia do clima característico do seu entorno, que é semi-árido (CPRM, 1994). A média de precipitação pluviométrica anual do parque está entre 1000 e 1400 milímetros (CEPLAB, 1980). Estas precipitações estão concentradas no verão e outono, e menos concentradas no inverno e primavera.

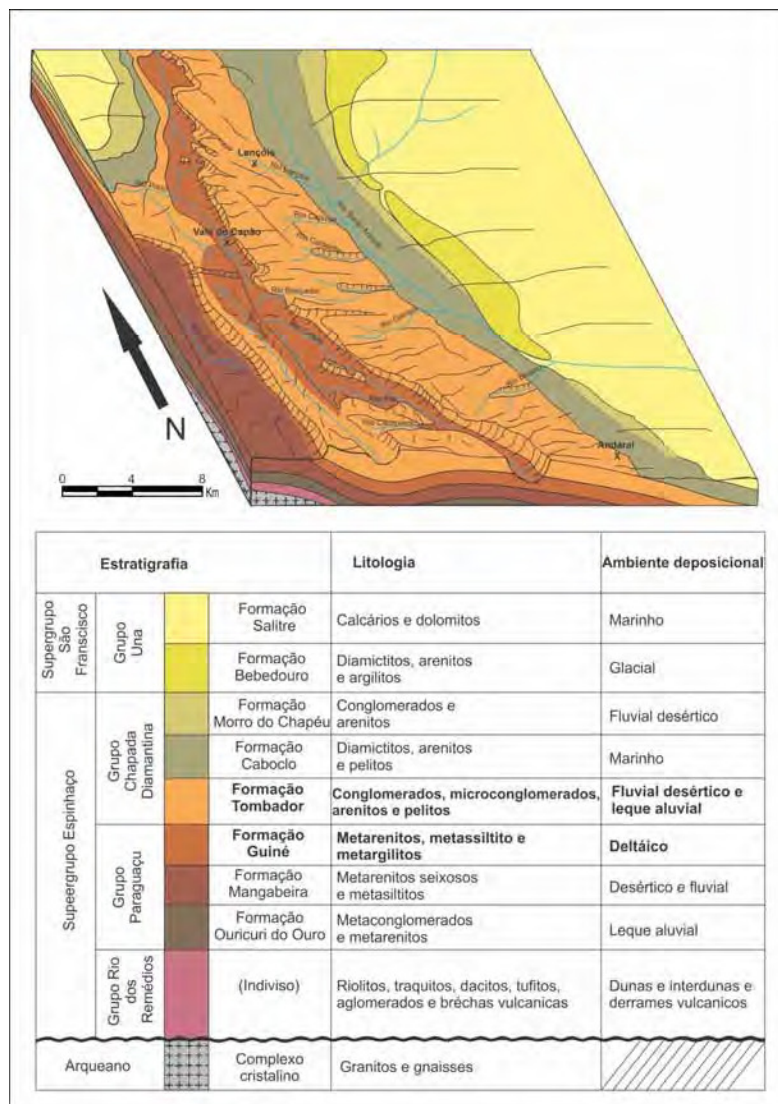
Sobre a **geologia** (ver mapa geológico em anexo 8) da região do PNCD segundo Pedreira, (2002), as rochas que afloram na serra do Sincorá pertencem essencialmente à Formação Tombador de idade mesoproterozóica. Nesta área, a

Formação Tombador está depositada sobre a Formação Guiné, do Grupo Paraguaçu (figura 8). A sua estrutura é de um grande anticlinório com eixo ondulante. As ondulações positivas estão na região central da serra, entre o morro do Pai Inácio e a vila de Guiné, e entre as cidades de Mucugê e Barra da Estiva. Nesses locais afloram as rochas da Formação Guiné, sotoposta à Formação Tombador, cujas principais rochas presentes são os conglomerados, microconglomerados e os arenitos e em ambientes deltaicos do Grupo Paraguaçu se encontra arenitos finos, siltitos e argilitos (PEDREIRA, 2002).

Falhas de grande extensão com direção norte - sul e outras menores transversais a essas, dividem as serras na região do parque em inúmeros blocos que tomam denominações locais como as serras da Cravada, do Sobrado, do Lapão, do Veneno, do Roncador ou Garapa, e do Esbarrancado (que faz parte da sua escarpa ocidental). Essas serras possuem picos com até 1700m de altitude e são separadas por vales íngremes e profundos como canyons. A Serra do Sincorá constitui um planalto em estruturas dobradas e sub-horizontais, já dissecada pela ação erosiva. Algumas das estruturas anticlinais foram erodidas e esvaziadas, originando vales alargados tipo alvéolos. Ainda que erodidas, as camadas sub horizontais podem ser observadas no Morro do Pai Inácio. O topo da Serra do Sincorá é grosseiramente aplainado, podendo denominar-se como um chapadão, provido de vertentes escarpadas em ambos os lados (leste e oeste) e em quase toda sua extensão.

Na região do parque, conforme o mapeamento da **geomorfologia** (ver mapa geomorfológico em anexo 9), ela se divide em três feições principais de relevo: as superfícies semi aplainadas do topo, as escarpas frontais e os alvéolos.

Figura 8. Esboço geológico do setor norte da Serra do Sincorá.



Fonte: Souza, (1998).

A **superfície de topo semi aplainada** tem como características sua estrutura sub horizontal originaria das formações do Grupo Chapada Diamantina. Esta unidade tem um caimento de sua superfície no sentido leste com secções em toda extensão, por vales estruturais. O maior vale dentro do PNCD é o do Paty que chega a ter 400 metros em seu talvegue. Os fundos de vale se constituem na forma de gargantas (canyons) caracterizados por paredões verticalizados e fundo atulhados de blocos e matacões que não apresentam acumulações aluviais, pois os rios que correm têm regime torrencial. Então, estes afluentes em parte têm sua drenagem condicionadas às fraturas e processos erosivos e se enquadram como rios de alta energia (CPRM, 1994). Nesta unidade, de modo geral, não têm camadas significativas de solo. Assim, as rochas aflorantes são frequentes junto com os **solos Litólicos** (ver mapas de solos no anexo 10).

A outra unidade, **escarpas frontais** apresenta duas subfeições: a cornija (paredão rochoso) caracterizada pela alta declividade e seccionada por fraturas verticais. O tálus se caracteriza pela alta declividade ($\sim 45^\circ$) constituído de matações desprendidos dos paredões e blocos. Esta feição se desenvolveu do lado oeste da Chapada. O limite destas duas feições é feito por quebra abrupta no perfil, sendo possível o tálus dar continuidade, na depressão, a um pedimento de menos inclinação e de natureza coluvial bem mais fina (CPRM, 1994).

Por fim, a última unidade, os **alvéolos**, são formas evoluídas de vales que, aproveitando zonas de maior fraqueza estrutural e litológica, alargaram-se formando vertentes escarpadas. Destaca-se o alvéolo de Mucugezinho, localizado ao norte do parque em sentido oeste – leste. Ele apresenta um fundo plano ondulado, contornado por escarpas sinuosas e recortadas as quais apresentam no sopé importantes depósitos de tálus (CPRM, 1994).

Além dessas unidades de relevo planáltico descritas, na área do PNCD também há **depressões e planícies**. Os pediplanos desenvolvidos nos vales do rio Santo Antônio e de seu afluente o São José tem como característica um relevo de extensos interflúvios tabulares, formados em rochas do Grupo Uma que derivam uma ampla planície aluvial e que apresenta um afunilamento a montante da confluência do Santo Antônio com o Paraguaçu. Por conta disto, toda planície possui um baixo gradiente, que dificulta a drenagem e transforma a área em um extenso pantanal denominado como Marimbus (Idem, 1994).

4. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado em 6 etapas. O resumo das etapas numeradas estão ilustrados no fluxograma metodológico, figura 9.

1. Na primeira etapa foi feito **levantamento bibliográfico (1a)**, redação do estado da arte e decisão sobre a escolha dos métodos para quantificar a geodiversidade nas áreas teste. A partir do levantamento bibliográfico, definiu-se critérios para **seleção dos métodos (1b)** a testar, como coerência conceitual e prática, pioneirismo do desenvolvimento metodológico, clareza metodológica e relevância para comunidade científica (número de citações e fator de impacto, ambos altos). Como resultado desta revisão bibliográfica se concluiu que os métodos a serem testados, isto é, aqueles que responderam a estes critérios, foram o de Serrano & Ruiz – Flaño, (2007), que é o mais citado e que serviu de base

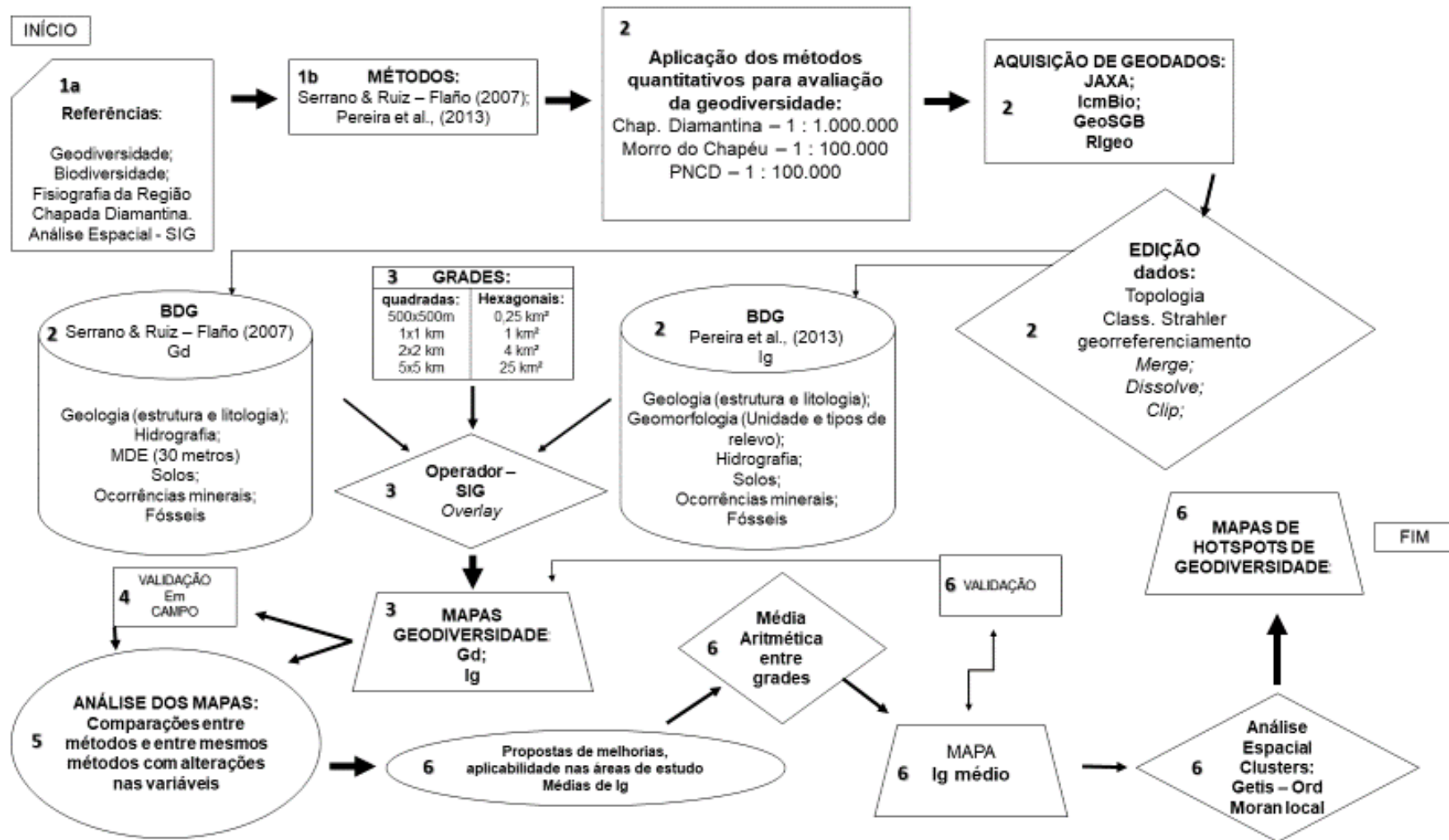
teórica para a maior parte dos trabalhos sobre avaliação da geodiversidade; e Pereira et al., (2013), que trouxe uma simplificação do método de Serrano e Ruiz – Flaño (2007) com a utilização de grades no cálculo de subíndices e o índice de geodiversidade (I_g), e a escolha de elementos abióticos (estrutura, litotipos, unidades geomorfológicas, tipos de solos, hidrografia, ocorrências minerais e fossilíferas), justificados pela menor subjetividade e maior representatividade da geodiversidade.

2. Aquisição de geodados e edição vetorial. Nesta etapa foram construídos três bancos de dados geográficos. O primeiro para os dados de geologia, geomorfologia, hidrografia, pedologia e ocorrências minerais (não houve registros de pontos georreferenciados de ocorrências fossilíferas) para o município de Morro do Chapéu. Estes dados derivam dos mapeamentos feitos pela CPRM para o “Projeto mapas municipais do município de Morro do Chapéu” (ROCHA & COSTA, 1995), em escala 1: 100.000 e foram adquiridos em formato vetorial (na extensão *shapefile* da ESRI™).

Outro banco de dados geográficos (BDG) com os mesmos temas foram adquiridos para área do Parque Nacional da Chapada Diamantina (PNCD) por meio de mapeamentos também realizados pela CPRM em convênio com o ICMBIO – IBAMA em escala 1: 100.000 (CPRM, 1994). E por fim foi criado o terceiro BDG contendo dados vetoriais de toda região Chapada Diamantina ao milionésimo adquiridos pelo GeoSGB (antigo geobank), (CPRM, 2006).

Após a aquisição e composição dos BDG, os dados passaram por tratamento de padronização cartográfica, onde foram transformados para o sistema de projeção Universal Transversa de Mercator – fuso 24 sul e o datum WGS 84 (World Geodetic System). Além disso, as classes de feição passaram por edição vetorial como a hidrografia, que foi classificada no sistema de Strahler (1957), conforme proposto por Pereira (2013).

Figura 9. Fluxograma metodológico das principais etapas e processamento de dados.



Os dados vetoriais representados por poligonais foram tratados. Cada classe de feição foi unida para que não houvesse repetição na contagem da geodiversidade nos dois métodos. Porque, no conceito de riqueza da biodiversidade, cada espécie, ou gênero (dependendo da escolha taxonômica) tem valor 1. Desta mesma forma foi adaptado o valor de cada elemento abiótico, ou seja, sem nenhum tipo de ponderação, na geodiversidade, onde cada classe independentemente da continuidade do polígono dentro de uma mesma unidade ou célula/grade vale 1 na contagem.

3. Aplicação dos métodos. Em posse dos dados editados, iniciou-se o processamento em ambiente SIG utilizando o pacote Arcgis®. Para ambos os métodos, foram utilizados os mesmos elementos da geodiversidade (litologia, estrutura, hidrografia, solos de primeira ordem, ocorrências minerais de exploração mineral, por exemplo, minas de diamante, unidade geomorfológica). Não foi computado as ocorrências fossilíferas por falta de dados. A escolha destes elementos se baseou na proposta de Pereira et al., (2013) já que os autores afirmaram, a respeito da escolha que fizeram dos elementos abióticos, que se destina a avaliar toda geodiversidade e que, diferentemente de outros métodos, essa escolha evita a redundância de elementos na composição do índice. Além disso, como este estudo também objetiva a comparação entre métodos, é imprescindível que sejam usados os mesmos elementos e a mesma escala para viabilizar a comparação.

A modelagem para o mapa de índice de geodiversidade baseado em Serrano & Ruiz – Flaño (2007) ocorreu em três etapas: 1- extração da riqueza (Eg) nas unidades geomorfológicas, 2 – cálculo da rugosidade nas unidades (R) e 3 – cálculo do índice de geodiversidade $Gd = Eg R / \ln S$. Para cálculo da rugosidade foi utilizado o MDE da Agência de Exploração Aeroespacial Japonesa (JAXA), com pixel de 30 metros a partir dos sensores PALSAR e PALSAR 2 a bordo da plataforma ALOS1 e ALOS2. Com o MDE, foi gerada a declividade e em seguida extraída a superfície utilizando as unidades geomorfológicas como máscara. Então, foi calculada a área para cada classe de declividade.

A fim de se calcular os valores adimensionais de rugosidade, calculou-se média aritmética ponderada das declividades. Logo, utilizou-se frações das classes de declividade distribuídas pela superfície como peso inserido no cálculo de média

ponderada, onde cada intervalo da declividade calculada em graus é reclassificada assumindo valores adimensionais (equação 6). Após isto, foi reclassificada a declividade média conforme a proposta dos autores (ver quadro 3).

Equação 6. Média aritmética ponderada

$$MP = \frac{\sum x_i P_i}{\sum P_i}$$

Onde: MP = média ponderada; x = média; P = ponderação.

Quadro 3. Escala de valores de rugosidade das unidades de paisagem.

Declividade	0 - 5	6 - 15	16 - 25	26 - 50	>45
Rugosidade	1	2	3	4	5

Fonte :Serrano & Ruiz – Flaño, (2007). Adaptado pelo autor.

Gerados os valores da rugosidade e a somatória dos elementos da geodiversidade por unidades extraídas com a ferramenta *spacial join*, foi calculado o índice de geodiversidade (Gd) proposto por Serrano & Ruiz-Flaño (2007). (ver a equação 4).

Para testar possíveis variações do método aplicado às duas áreas, também foi calculado o Gd sem a variável rugosidade. Outro teste feito, retirou-se as variáveis representadas por linhas e pontos como a estrutura (falhas ou fraturas), hidrografia e ocorrências minerais para o cálculo do índice de geodiversidade das duas áreas teste.

Feitos os cálculos, partiu-se para espacialização dos índices resultando em mapas e gráficos de frequência como produto final. Os índices foram agrupados em 5 intervalos de classes conforme método de quebras naturais (JENKS, 1967): muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto.

Já o procedimento para o método Pereira et al., (2013) se inicia com a escolha de grades para extração (utilizando *spacial join* também) dos subíndices. Como faz parte do objetivo deste trabalho testar possíveis variações dentro do mesmo método, foi criado diversos tamanhos de grades: grade de 500x500 metros, de 1x1 quilômetro, 2x2 quilômetros e 5x5 quilômetros.

A escolha da grade se fundamenta em regras da cartografia temática. Pois é recomendado para qualquer tipo de mapeamento saber a relação do objeto a ser mapeado e a escala de trabalho e do mapa (HENGL, 2006). Essa relação é

conhecida como escala efetiva. A escala efetiva foi calculada pela seguinte equação (FORBES et al., 1982):

Equação 7. Escala efetiva de Forbes et al., (1982)

$$N = NSN \times (IMR/2)$$

Onde: ESN é o divisor da escala efetiva; NSN, o divisor da escala nominal; e IMR, o índice de máxima redução, o fator pelo qual a escala do mapa pode ser reduzida até que o tamanho médio dos polígonos delimitados (ASD) seja igual à área mínima mapeável (MLD), que no Brasil é especificada como 0,4 cm² (IBGE, 2007).

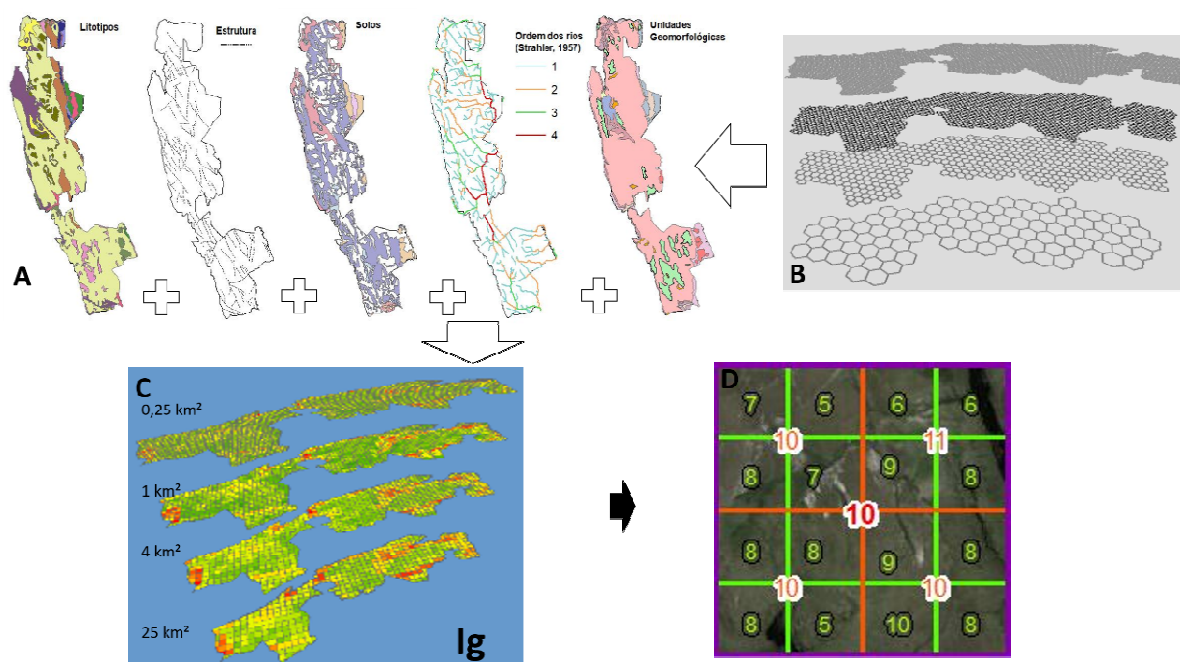
A partir do cálculo de escala efetiva e área mínima mapeável, definiu-se que para escala 1: 100.000 o menor polígono que apareceria no mapa é de 0,25 km². E para escala ao milionésimo um polígono de 25 km². Desta forma decidiu-se gerar grades regulares hexagonais e quadradas a partir da área mínima mapeável nas 2 escalas trabalhadas (0,25 km² e 25 km²) além de tamanhos intermediários (1 km² e 4 km²). As grades quadradas foram processadas na ferramenta *fishnet* e as hexagonais a partir de um *script* adaptado da ferramenta que cria polígonos de Thiessen, ambas no pacote Arcgis®.

O uso da grade regular hexagonal testado na composição do índice (I_g) se justifica devido a ela ser utilizada em modelagens ecológicas visto às características da figura geométrica (polígono regular que pode preencher um plano), que possibilitam maiores conexões entre vizinhança mais próxima. Além disso, o hexágono reduz os efeitos de borda, dobram o nível de detalhes dos efeitos vizinhos, são compactos (menor índice de forma: perímetro²/área) e isso faz a figura fornecer uma amostragem mais precisa e finalmente, facilitam a visualização (BIRCH et al., 2007).

Em posse das grades regulares, foi feita a sobreposição delas em cada tema (litotipos, unidades geomorfológicas, estrutura, hidrografia, ocorrências minerais e solos), resultando nos mapas de sub índice. Após esta etapa, foi calculado o número de feições encontradas dos temas dentro de cada célula. O valor resultante da soma corresponde ao índice de geodiversidade (I_g). Na figura 6 mostra-se esquema metodológico aplicado no PNCD Em “A” tem-se as variáveis a serem computadas, em “B” as grades de diferentes tamanhos, em “C” os índices especializados em intervalos de classes e, finalmente, em “D” os valores do índice em diferentes

tamanhos de grades. Estes mesmos procedimentos foram feitos para escala ao milionésimo e também na outra área teste, Morro do Chapéu.

Figura 10. Processamento de dados para o índice de geodiversidade (I_g).



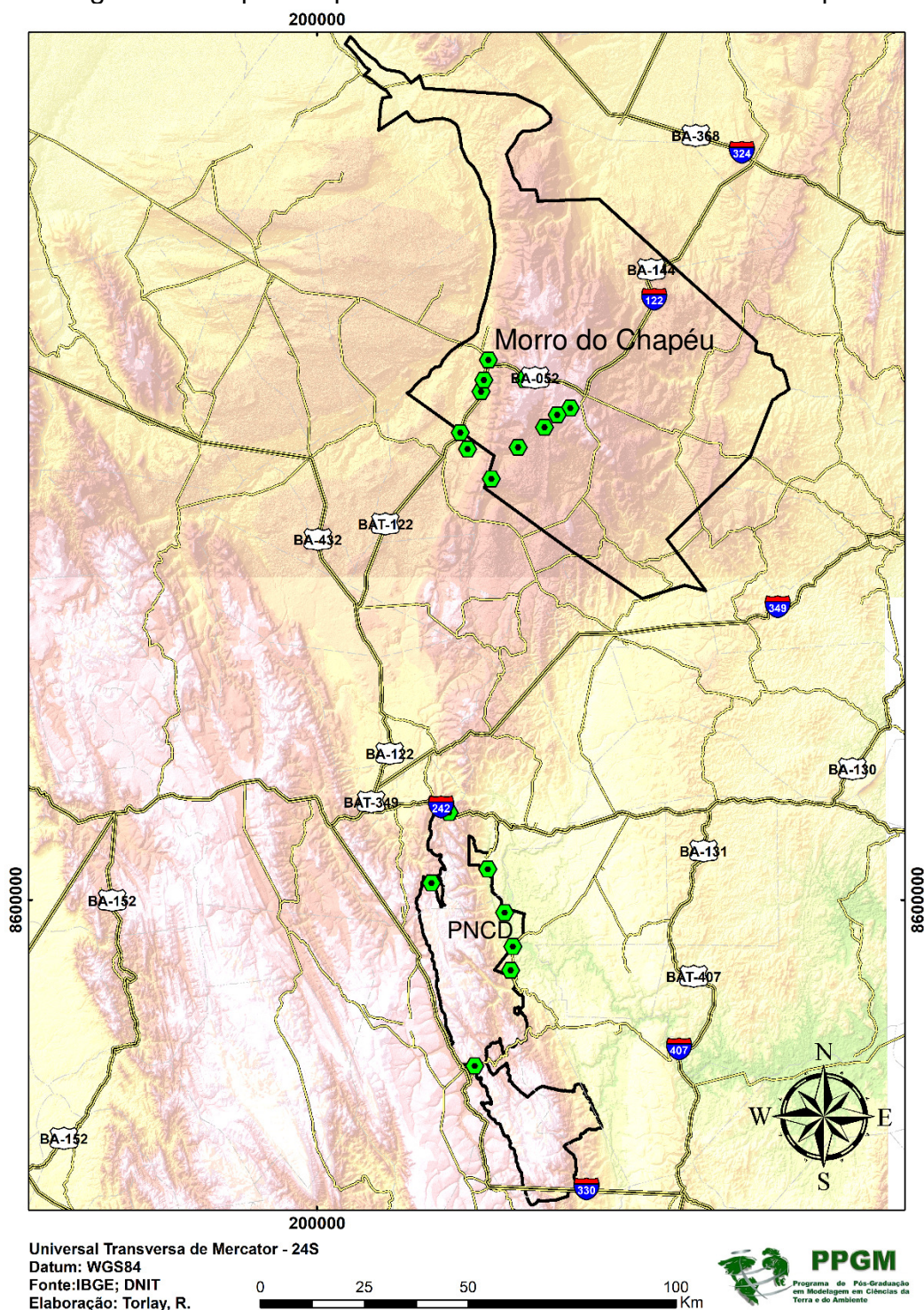
4. Com os mapas em mãos, procedeu-se ao **trabalho de campo** a fim de **validá-los**. Antes das saídas a campo, predefiniu-se os pontos de parada nas áreas teste (PNCD e Morro do Chapéu). A escolha dos pontos de verificação teve dois critérios: o primeiro pela acessibilidade, já que foi usado automóvel para a locomoção. O segundo critério foi o de percorrer todos valores do índice de geodiversidade em pelo menos uma grade. Foi escolhida grade de 1 km². Dessa forma, buscou-se verificar uma amostragem significativa do *ranking*. Por exemplo, se a variação dos índices fossem de 1 a 10, tentou-se percorrer por todos os valores. No caso no mapa de índices feito a partir do método Serrano & Ruiz-Flaño (2007), não foi possível percorrer todos os valores do índice devido às grandes distâncias e dificuldade de acesso tanto no PNCD, quando em Morro do Chapéu.

O trabalho de campo foi feito em três dias (19, 20 e 21/09/2017). Nos dias 19 e 21/09 foi dedicado ao PNCD onde foram coletados e descritos 7 pontos (ver mapa do roteiro figura 11), 1 no setor norte, no limite do parque com a BR-242. Um ponto no Vale do Capão (setor noroeste), outros dois na antiga estrada do garimpo (setor

nordeste). Outros 2 pontos foram coletados e descritos na BA-142 próximo a Andaraí. E por último um ponto no setor central do PNCD em Mucugê.

No dia 20/09/2017, o percurso para validação e verificações dos índices de geodiversidade representada nos mapas foram feitas no município de Morro de Chapéu. Foram 10 pontos verificados distribuídos pelas vias de acesso (BR – 122, BA – 052 e BA – 426), no setor sudoeste e central do município (figura 11).

Figura 11. Mapa dos pontos verificados em trabalho de campo.



5. Nesta etapa foi feita **comparação entre métodos**, assim, procurou-se analisar a auto semelhança dos índices entre variações de mesmos métodos (diferentes escalas cartográficas e áreas) e entre os métodos com auxílio de estatística e análise qualitativa (observações dos mapas).

Então, para o modelo gerado a partir do método Serrano & Ruiz – Flaño, (2007) comparou-se os índices “inclusão coeficiente de rugosidade” com “sem o coeficiente de rugosidade”, em ambas áreas de estudo mapeados na escala 1:100.000. Para verificação de certas relações entre as variáveis, além de gráficos de frequência. Ressalta-se que não foi gerado mapa do índice de geodiversidade na escala ao milionésimo porque este método, foi pensado para escalas médias e locais.

No modelo gerado a partir do método Pereira et al., (2013) buscou-se comparar os índices por tipos de grades, isto é grade quadrada *versus* grade hexagonal nas escalas 1: 100.000 e 1: 1.000.000. Também foi comparado o quanto há de dependência no valor do índice nos diferentes tamanhos de grade, tanto hexagonal, quanto quadrada com as áreas de 0,25 km², 1 km², 4 km² e 25 km². O método estático usado nessas comparações para dados não paramétricos foi o *rô* de Spearman e o *tau* de Kendall. Estes dois métodos estatísticos expressam o grau de dependência entre 2 variáveis numa escala de -1 – 0 – 1. Onde -1 indica grau de dependência inversa, 0 mostra nenhum grau de associação e 1 indica 100% dos dados tem correlação. Foi definido utilizar dois métodos para correlação espacial em decorrência da variação de resultados e minimizar possíveis paradoxos nos resultados (SILVA, 2003). Além disso, o cálculo de correlação proposto por Spearman costuma gerar valores mais otimistas se comparado com os valores calculados utilizando *tau* de Kendall (CROUX & DEHON, 2010).

6. Após análise dos resultados em gabinete e no campo foi proposto neste trabalho uma **adequação metodológica para área de estudo**. Para escolha dos elementos da geodiversidade, optou-se em simplificar a entrada de variáveis no modelo a fim de evitar redundâncias ou superestimações do índice em decorrência de certas representações cartográficas. Além disso, Forte, (2014) afirma que a geomorfologia e a geologia e os solos são variáveis estruturantes na quantificação da geodiversidade. Então, foi proposto reduzir o número de variáveis e deixar no modelo de geodiversidade apenas os elementos estruturantes (solo, litologia e geomorfologia).

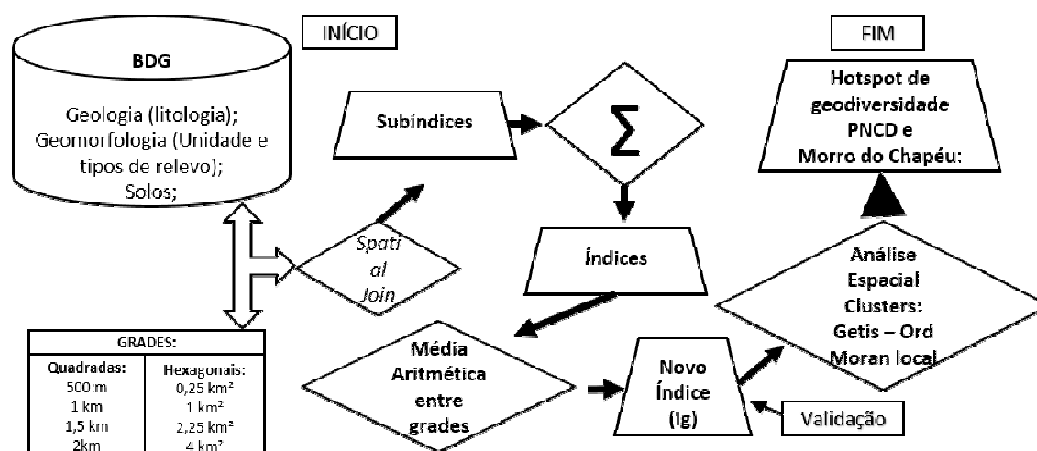
No caso da adaptação do modelo em grades proposto por Pereira et al, (2013) para as áreas teste, além da escolha dos elementos estruturantes da geodiversidade para compor o índice, foi apresentado um mapa de *hostpots* e *coldspots* de geodiversidade. Na figura 12 é mostrado o processo para proposta de mapas de

hotspots. Além do processamento de dados em SIG até chegar nos índices de geodiversidade, inclui-se nesta proposta o cálculo da média de índices de diferentes grades, utilizando álgebra de mapas. Para isso foi convertido os dados vetoriais em matriciais com células medindo 30 metros, que propicia uma exatidão cartográfica compatível com escala 1:100.000 (SILVA, 2003). Assim, calculou-se as médias entre índices dos dois tipos de grades, obtendo-se um mapa da fusão de diferentes grades em apenas uma.

Para validar o mapa criado, foram utilizadas estatísticas de tabelas cruzadas. Onde cada mapa de uma determinada grade e tamanho foram correlacionados com o mapa final (mapa do índice médio). Utilizou-se os métodos para dados ordinais Gamma (varia entre -1 e 1, onde 0 é ausência de associações) e também se validou o mapa final com o coeficiente de incerteza, que é uma medida de associação que indica a redução proporcional do erro quando os valores de uma variável são usados para prever valores da outra variável. Por exemplo, um valor de 0,80 indica que o conhecimento de uma variável reduz o erro na previsão de valores da outra variável em 80%.

Novamente se converteu os dados, agora de matriciais para vetoriais. E finalmente foi realizada análise de agrupamentos (*clusters*), que calcula a autocorrelação espacial, utilizando as estatísticas Moran Local (LISA), (MORAN,1950) e o *Getis – Ord general G* (G_i), (GETIS & ORD, 1992; ORD & GETIS, 1995). Estes métodos de análise espacial são usados para análise de padrões espaciais globais (relação de entidades dentro de um território) ou locais (relação de proximidade entre entidades vizinhas). Neste caso foram adaptadas as análises de padrões entre entidades vizinhas com a finalidade de agrupar valores a partir dos índices de geodiversidade para o PNCD e Morro do Chapéu. Para esta meta buscou-se um empréstimo dos termos *hospots* e *coldspots* das ciências biológicas (hotspots de biodiversidade, áreas com grande concentração de espécies endêmicas e riqueza biológica). Além disso, o termo pode ser aplicado nos estudos quantitativos da geodiversidade já que se refere a técnicas da estatística espacial (já supracitados), na qual se objetiva separar e agrupar células com valores próximos entre vizinhanças. Como resultado prático tem-se um mapa onde se destaca no gradiente valores máximos e mínimos, que permite visualizar áreas com maiores e menores riqueza de geodiversidade.

Figura 12. Fluxograma metodológico das etapas de processamento de dados para o mapa de hotspots de geodiversidade na Chapada Diamantina



5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Método Serrano & Ruiz – Flaño (2007)

5.1.1 Parque Nacional da Chapada Diamantina.

Os resultados obtidos a partir da aplicação do método Serrano & Ruiz – Flaño (2007), e sua variação (sem o coeficiente de rugosidade) são apresentados na tabela 2. E como produto os mapas (figura 11 – A e figura 12 - A) com a espacialização do índice de geodiversidade com e sem a variável rugosidade e os gráficos de frequência das classes de intensidade (muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto) proporcionais às áreas nas figuras 9 – B e 10 – B. Para melhor percepção da compartimentação do relevo e a densidade da rugosidade foi posto relevo sombreado sob as cores que representam os intervalos dos índices.

Os índices (G_d) calculados nas unidades geomorfológicas do PNCD variaram de 4,5 nas planícies fluviais aluviais (VII) a 82,5 na superfície estrutural de relevo irregular e ruiforme (XI). Nota-se no mapa (figura 12 - A) que a classe “muito alto” coincidiu com a maior unidade geomorfológica. Como mostra o gráfico de frequência na figura 12 – B, cerca de 70% da área total. Aproximadamente 25% tem baixa e média geodiversidade. Entretanto, a unidade II, a de menor área (aproximadamente 1,2 km² ocupando 0,08% do PNCD), obteve um valor de 37,4. Sendo assim, a segunda unidade com maior índice de geodiversidade.

Na figura 13 tem-se o mapa da espacialização do cálculo de G_d sem a variável rugosidade. Além da diminuição dos valores dos índices em todas unidades,

houve migração das classes “muito baixo”, “baixo” e “médio” para “alta”. Por exemplo, a unidade IX (patamares rochosos com quase total ausência de recobrimento detrítico superficial) e III (Escarpas frontais e respectivos depósitos de tálus) passaram de “média” para alta geodiversidade.

Nota-se que o coeficiente R potencializa Gd, isso porque sua função na equação é multiplicar o número de diferentes elementos abióticos (Eg). No gráfico 1 pode-se observar as variações percentuais dos índices calculados. Assim, excluindo “R” do cálculo houve um decréscimo médio de 45% em Gd s/ R. Entretanto, houve variação superior a 80% nas unidades I (Depressões abertas na superfície por processos erosivos influenciados por zonas de fratura) e XI (Superfície estrutural de relevo irregular e ruiforme). As unidades que tiveram decréscimo superiores a 50% são aquelas com declividades mais acentuadas, isto é, acima de 25°.

Tabela 2. PNCD: Cálculos para os índices de geodiversidade (Gd) baseados em Serrano & Ruiz – Flaño (2007).

Unidade	código	Eg	lnS	R	Gd	Gd s/ R	área km ²	área %
Depressões abertas na superfície por processos erosivos influenciados por zonas de fratura	I	29	3	2.7	29.0	10.73	15	0.98
Encostas dos patamares	II	5	0.2	1.55	37.4	24.14	1,2	0.08
Escarpas frontais e respectivos depósitos de tálus	III	34	4	1.50	11.5	7.67	84	5.52
Interflúvios tabulares ou semitabulares	IV	20	4	1.43	7.8	5.45	39	2.58
Morros de topo arredondado eventualmente formados em coberturas residuais	V	7	3	2.13	5.0	2.35	19.5	1.28
Patamares de superfície ondulada com frequentes afloramentos de rocha	VI	8	1,7	1.83	8.3	4.54	5.83	0.38
Patamares de superfície ondulada com vales encaixados e drenagem densa	VII	10	3	1.38	4.5	3.28	21	1.38
Patamares estruturais de fundo de alvéolo formados por erosão diferencial superfície ondulada e vales abertos	VIII	6	0.9	1.76	11.2	6.39	2.56	0.17
Patamares rochosos com quase total ausência de recobrimento detrítico superficial	IX	36	4	1.53	13.0	8.49	69	4.54
Planícies fluviais aluviais	X	27	3	1.81	14.5	7.99	29	1.92
Superfície estrutural de relevo irregular e ruiforme	XI	192	7	3.00	82.5	27.50	1075	70.45
Superfície estrutural de relevo plano ou quase plano	XII	47	5	2.30	21.8	9.46	143	9.40
Superfícies amorreçadas de fundo de alvéolo talhadas por erosão diferencial	XIII	16	3	2.33	12.4	5.33	20	1.32
Total	---	437	7.33*	2**	119	59.6	1,526	100%

Observação: Eg = Somatória das diferentes feições da geodiversidade (solos, geologia, unidades morfoesculturais, ocorrências minerais, corpos d'água, ; lnS = logaritmo neperiano da área (km²); R = coeficiente de rugosidade; Gd = índice de geodiversidade; Gd s/ R= o índice de geodiversidade sem a variável rugosidade. *ln da área total. **média aritmética calculada para as médias ponderadas das unidades.

Figura 13. Mapa do índice de geodiversidade do PNCD, baseado na proposta de Serrano & Ruiz-Flaño (2007). B: gráfico de frequência do Gd.

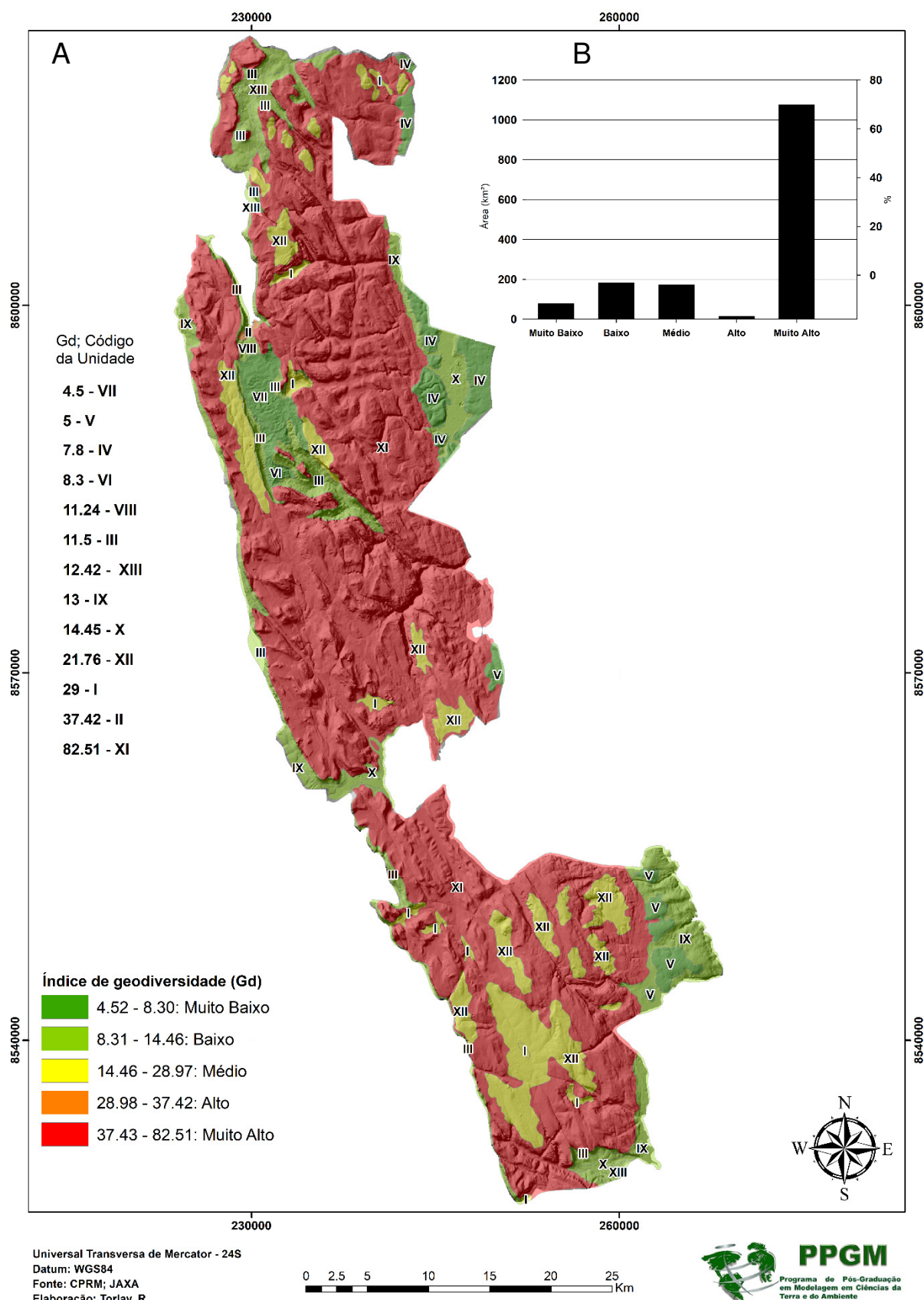


Figura 14. A: mapa do índice de geodiversidade do PNCD sem a variável rugosidade. B: gráfico de frequência das classes de Gd sem R.

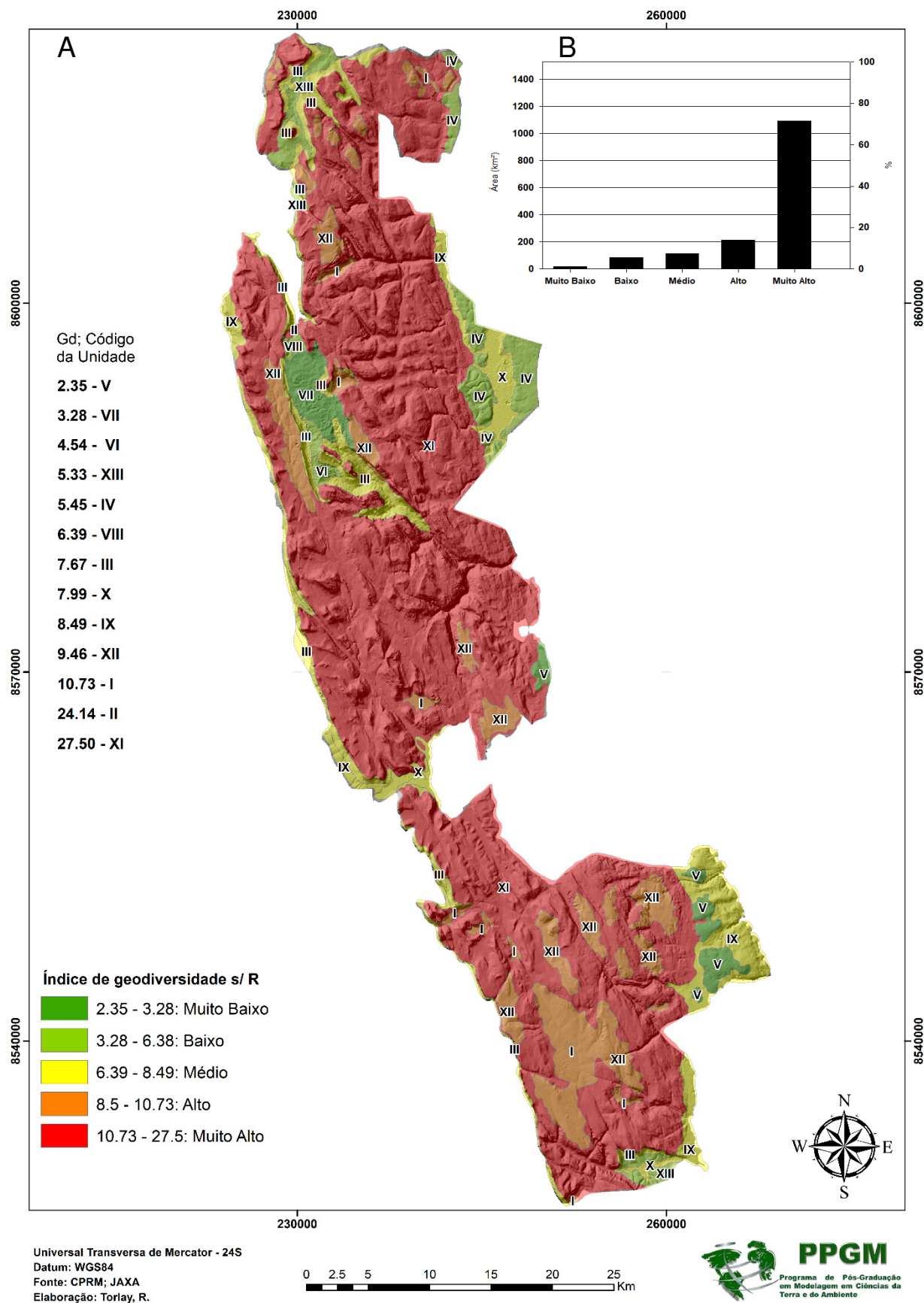
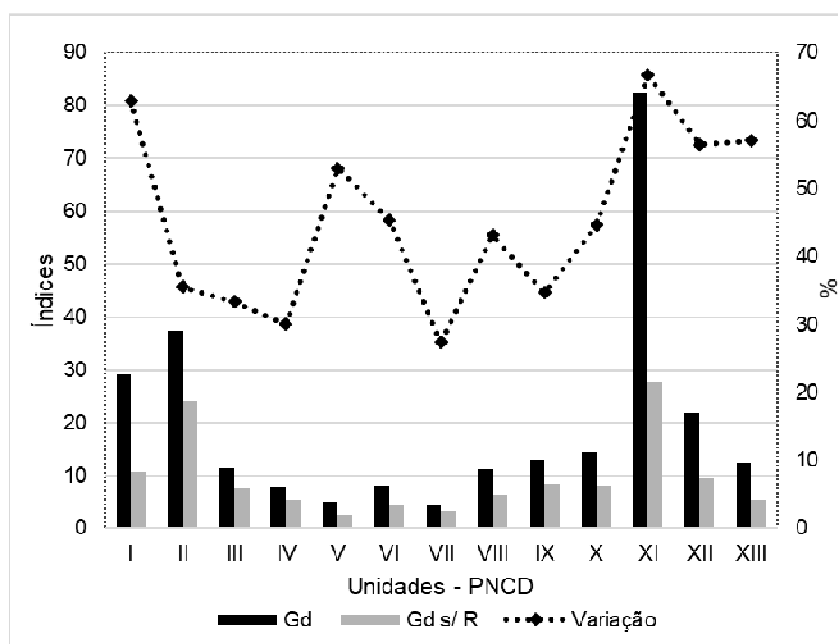


Gráfico 1. Variação percentual dos índices Gd x Gd s/ R – PNCD.



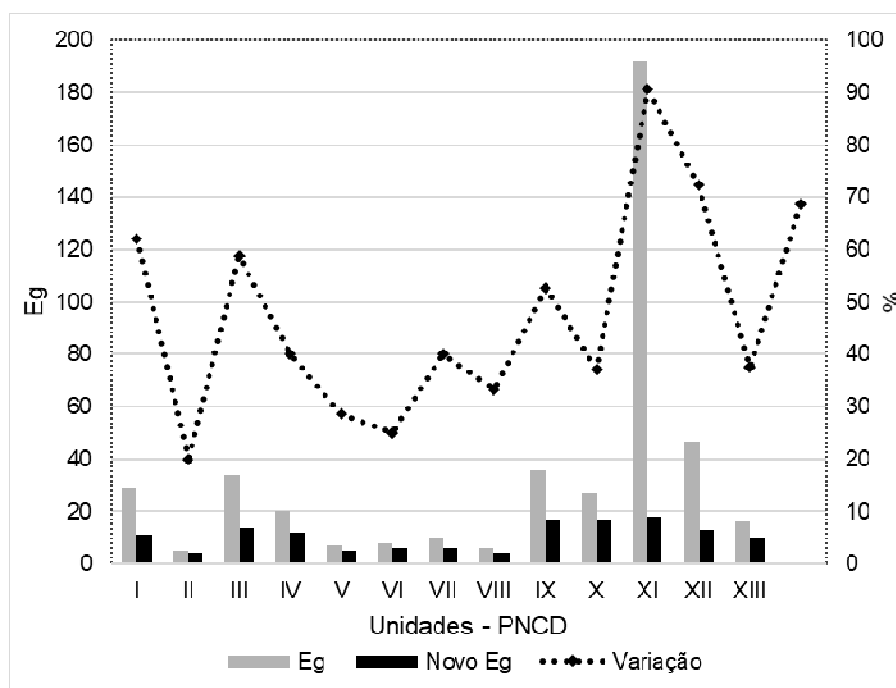
A fim de se verificar resultados a partir da simplificação do modelo, além da retirada da variável R, também foi calculado os índices de geodiversidade com apenas as variáveis estruturantes (rochas, tipos de relevo e solos). São apresentados na tabela 3 e o mapa do índice de geodiversidade na figura 14 os resultados deste experimento.

Tabela 3. Cálculos para Gd com os elementos: litotipos e solos - PNCD

Unidade	código	Eg	LnS	Gd	área km ²	área %
Depressões abertas na superfície por processos erosivos influenciados por zonas de fratura	I	11	2.70	4.07	15	0.98
Encostas dos patamares	II	4	0.21	19.31	1	0.08
Escarpas frontais e respectivos depósitos de tálus	III	14	4.43	3.16	84	5.52
Interflúvios tabulares ou semitabulares	IV	12	3.67	3.27	39	2.58
Morros de topo arredondado eventualmente formados em coberturas residuais	V	5	2.97	1.68	19.5	1.28
Patamares de superfície ondulada com frequentes afloramentos de rocha	VI	6	1.76	3.40	5.83	0.38
Patamares de superfície ondulada com vales encaixados e drenagem densa	VII	6	3.05	1.97	21	1.38
Patamares estruturais de fundo de alvéolo formados por erosão diferencial superfície ondulada e vales abertos	VIII	4	0.94	4.26	2.56	0.17
Patamares rochosos com quase total ausência de recobrimento detrítico superficial	IX	17	4.24	4.01	69	4.54
Planícies fluviais aluviais	X	17	3.38	5.03	29	1.92
Superfície estrutural de relevo irregular e ruiforme	XI	18	6.98	2.58	1075	70.45
Superfície estrutural de relevo plano ou quase plano	XII	13	4.97	2.62	143	9.40
Superfícies amorreçadas de fundo de alvéolo talhadas por erosão diferencial	XIII	10	3.00	3.33	20	1.32
Total	---	137	7.33	18.7	1.526	100%

Como resultado deste experimento a unidade com maior geodiversidade (muito alto) passou a ser a II, enquanto que a unidade XI passou a ter um Gd de 2,58. Essa redução abrupta de 90% se caracteriza pela retirada de elementos de geodiversidade (Eg) representados por pontos e linhas como a hidrografia, estrutura geológica e ocorrências minerais. O gráfico 2 mostra as variações do Eg calculado com as variáveis “antigas” (litotipos, solos, ocorrências minerais, hidrografia e estrutura geológica) e com as “novas” variáveis, (litotipos e solos). No geral

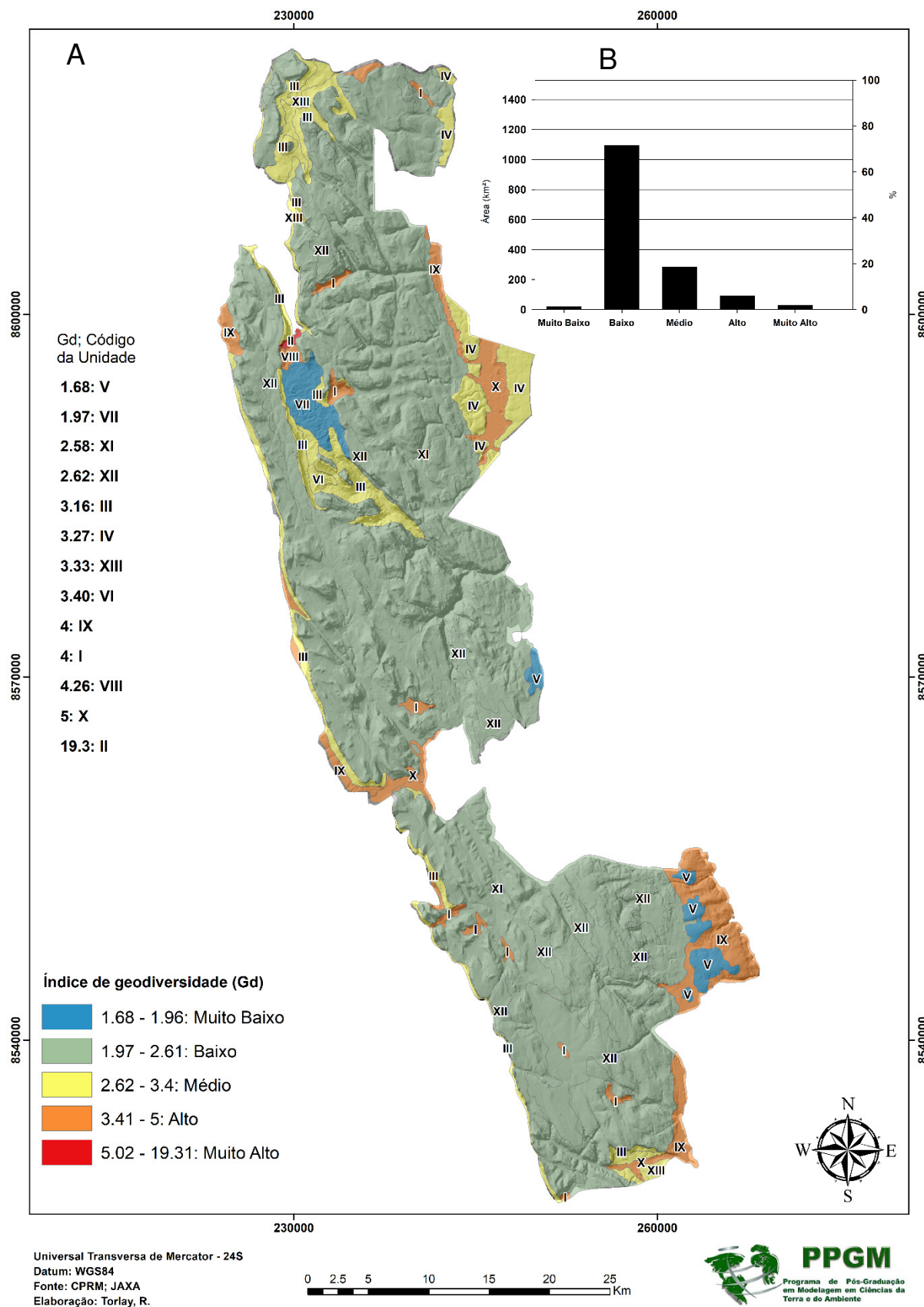
Gráfico 2. Variação percentual de Eg – PNCD.



Nota-se ainda que a menor Unidade em área (1,2 km²) superou todas outras em riqueza de geodiversidade. Foi verificado que não se trata de uma área com “megageodiversidade”, mas sim de um problema matemático. Assim, investigou-se que, a função logarítmica foi responsável por este incremento. Neste caso, ao calcular a variável (numerador) “Eg = 4” pelo (denominador) “lnS=0,21” foi encontrado um valor superestimado de “Gd=19,3”.

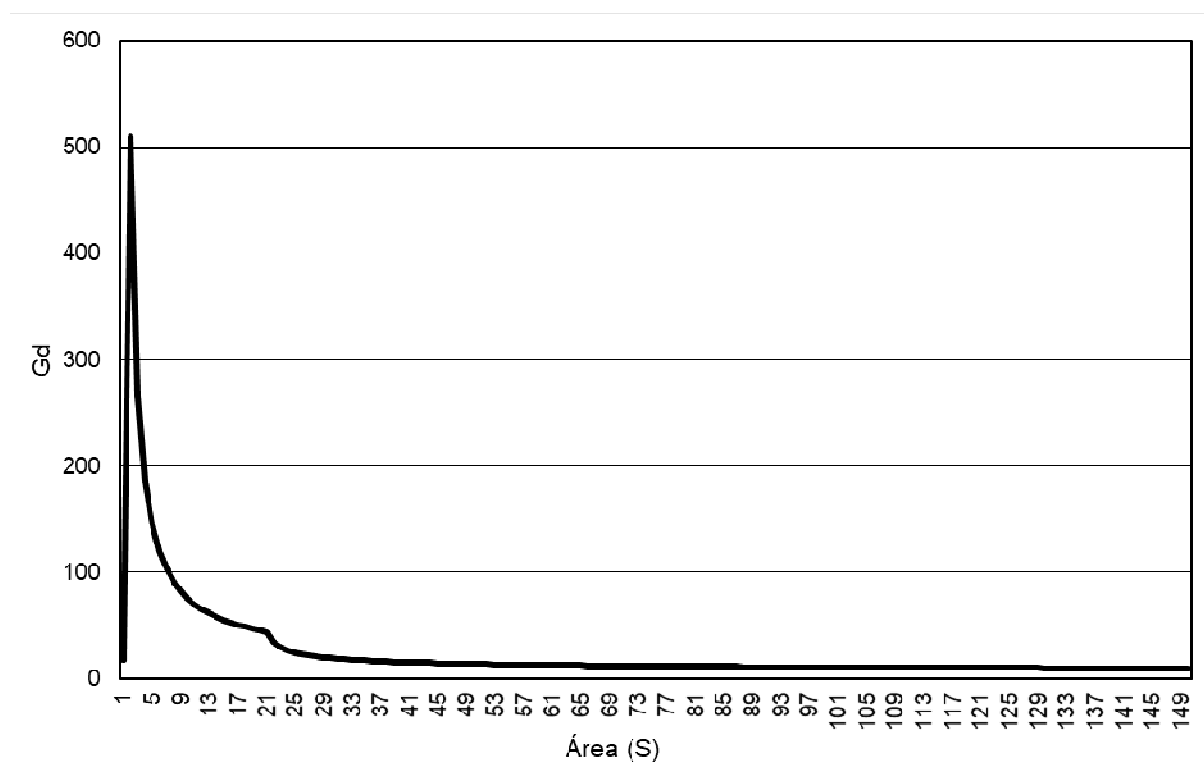
Com o intuito de não superestimar os valores de Gd em relação aos diferentes tamanhos de áreas (km²) das unidades, Serrano & Ruiz-Flaño propuseram o uso do logaritmo

Figura 15. A: mapa do índice de geodiversidade com as variáveis solos e litotipos.do PNCD. B: gráfico de frequência das classes de Gd.



natural, no entanto há uma limitação de uso. Isto é, quando se divide algum número pelo logaritmo natural, dependendo variação média dos valores, não garante tal proporcionalidade. A situação se torna mais desproporcional entre valores de áreas de 1,1 a 2,718281828459045 235360287, sendo este último o número que serve de base para o logaritmo natural, o número de Euler (e). No gráfico 3 é ilustrado o problema referido. Nessa demonstração, foi utilizado os valores da Unidade 3 (Hoz de Pozo Moreno), (SERRANO & RUIZ – FLAÑO, p. 94, 2007) em razão da área apresentar 1 km², e como neste trabalho, também ter o maior valor de Gd. No apêndice 7 há os cálculos feitos para esta demonstração. Além deste exemplo prático, é mostrado o gráfico teórico da função logarítmica ($y=\ln[x]/x$) no apêndice 8.

Gráfico 3. Diferentes índices em relação a diferentes denominadores.



Nota-se dois problemas que interferem no modelo final que se almeja, o índice de geodiversidade. O primeiro já dito, valores de “ $S \leq e$ ” (e = número de Euler) geram hipervalorização principalmente se E_g tiver baixo valor como ocorrido neste trabalho (Unidade II: onde $E_g = 5$; $\ln S = 0,2$; $G_d s / R = 37$). O outro problema de mesma natureza é sobre a supervalorização que ocorre quando “ $S \geq e < 25$ ”. Ou seja, a partir deste limiar de 25 a

curva se estabiliza fazendo com que haja proporcionalidade na escala, oferecendo maior veracidade no índice de geodiversidade.

5.1.2 Morro do Chapéu

A partir da aplicação do método Serrano & Ruiz – Flaño (2007) no município de Morro do Chapéu, são apresentados na tabela 4. A partir destes cálculos foram gerados mapas (figura 15 – A e figura 16 - A) com a espacialização do índice de geodiversidade com e sem a variável rugosidade e os gráficos de frequência das classes de intensidade (muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto) proporcionais às áreas nas figuras 15 – B e 16 – B. Para melhor percepção da compartimentação do relevo e a densidade da rugosidade foi posto relevo sombreado sob as cores que representam os intervalos dos índices.

Tabela 4. Morro do Chapéu: Cálculos para os índices de geodiversidade (Gd) baseados em Serrano & Ruiz – Flaño (2007)

UNIDADE	código	Eg	LnS	R	Gd	Gd s/ R	Área km ²	área%
Baixada do Rio Jacaré	I	49	5	1.1	9	8	529	9
Baixada do Rio Salitre	II	17	6	1	3	3	170	3
Chapada de Duas Barras	III	24	6	1.2	5	4	377	6
Chapada de Ouricuri	IV	73	6	1	13	13	305	5
Encosta ocidental	V	281	7	1.3	56	43	712	12
Patamar dissecado de Dias Coelho	VI	34	6	1.4	8	6	392	7
Pedimentos do Rio Salitre	VII	93	6	1	16	16	365	6
Planalto de Lagoinha	VIII	40	6	1	7	6	506	8
Planalto do Morro do Chapéu	IX	186	7	1.1	33	28	754	13
Planícies fluviais	X	24	4	1.3	8	6	52	1
Superfície serrana	XI	122	6	1.3	29	21	315	5
Tabuleiro de Flores	XII	20	5	1	4	4	230	4
Tabuleiro rampeado	XIII	60	6	1.4	14	11	260	4
Vale do Rio Ferro Doido	XIV	67	6	1.2	14	10	609	10
Vão dos Córregos	XV	65	6	1.3	15	11	417	7
Total	...	1155	8.6*	1.2**	234	193	5,993	100%

Observação: Eg = Somatória das diferentes feições da geodiversidade (solos, geologia, unidades morfoesculturais, ocorrências minerais, corpos d'água, ; LnS = logaritmo neperiano da área (km²); R = coeficiente de rugosidade; Gd = índice de geodiversidade; Gd s/ R= o índice de geodiversidade sem a variável rugosidade. *In da área total. **média aritmética calculada para as médias ponderadas das unidades.

Os índices (Gd) calculados nas unidades geomorfológicas de Morro do Chapéu variaram de 3 na Unidade Baixada do Rio Salitre (II) a 56 na Encosta Ocidental (V). Como mostra o gráfico de frequência na figura 15 – B, cerca de 80%

(aproximadamente 4000 km²) da área total apresenta alta e muito alta geodiversidade. Nota-se que as Unidades que apresentaram maiores índices (XI, IX e V) tem as

Figura 16. A: mapa do índice de geodiversidade de Morro do Chapéu baseado na proposta de Serrano & Ruiz-Flaño (2007). B: gráfico de frequência das classes de Gd.

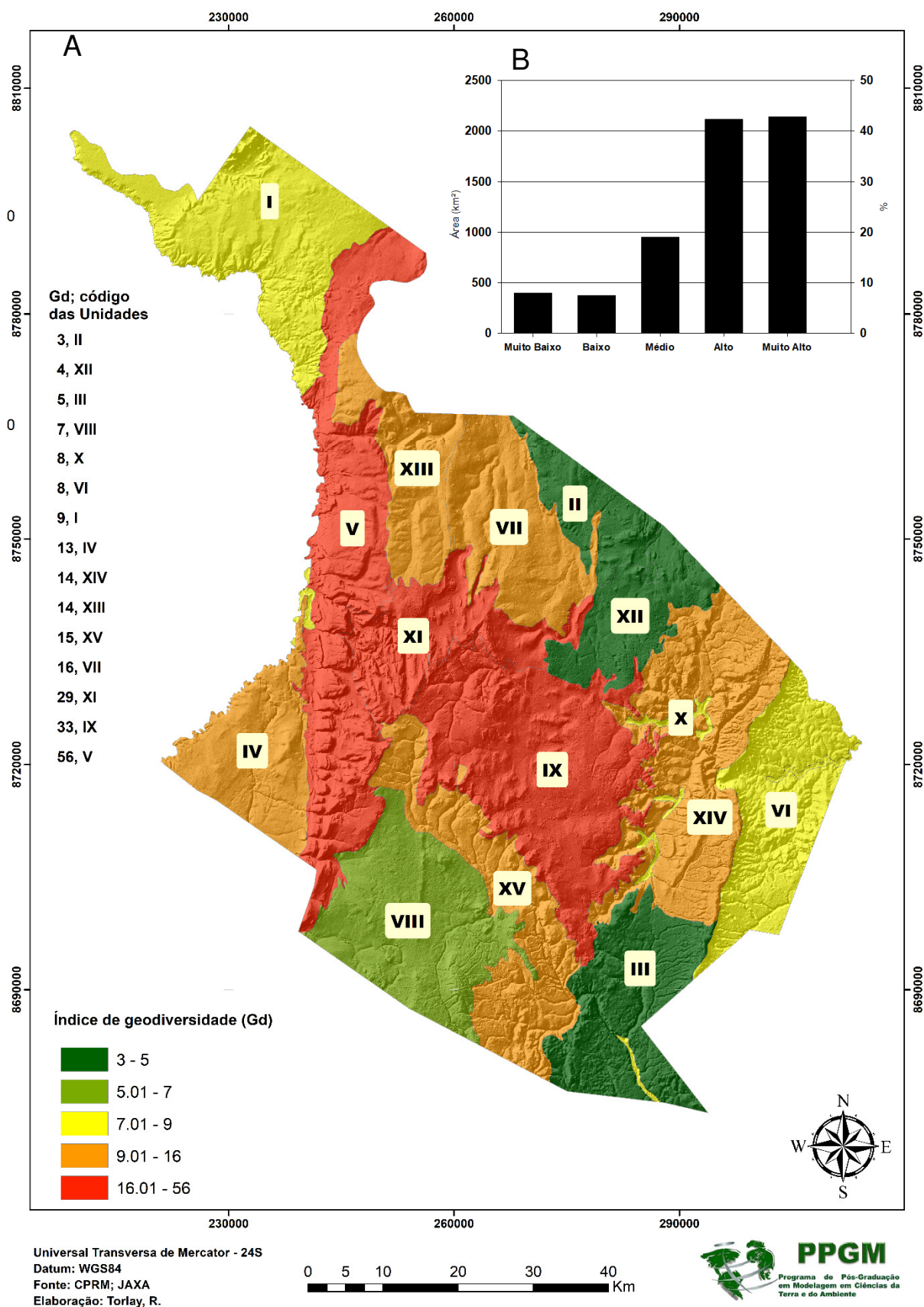
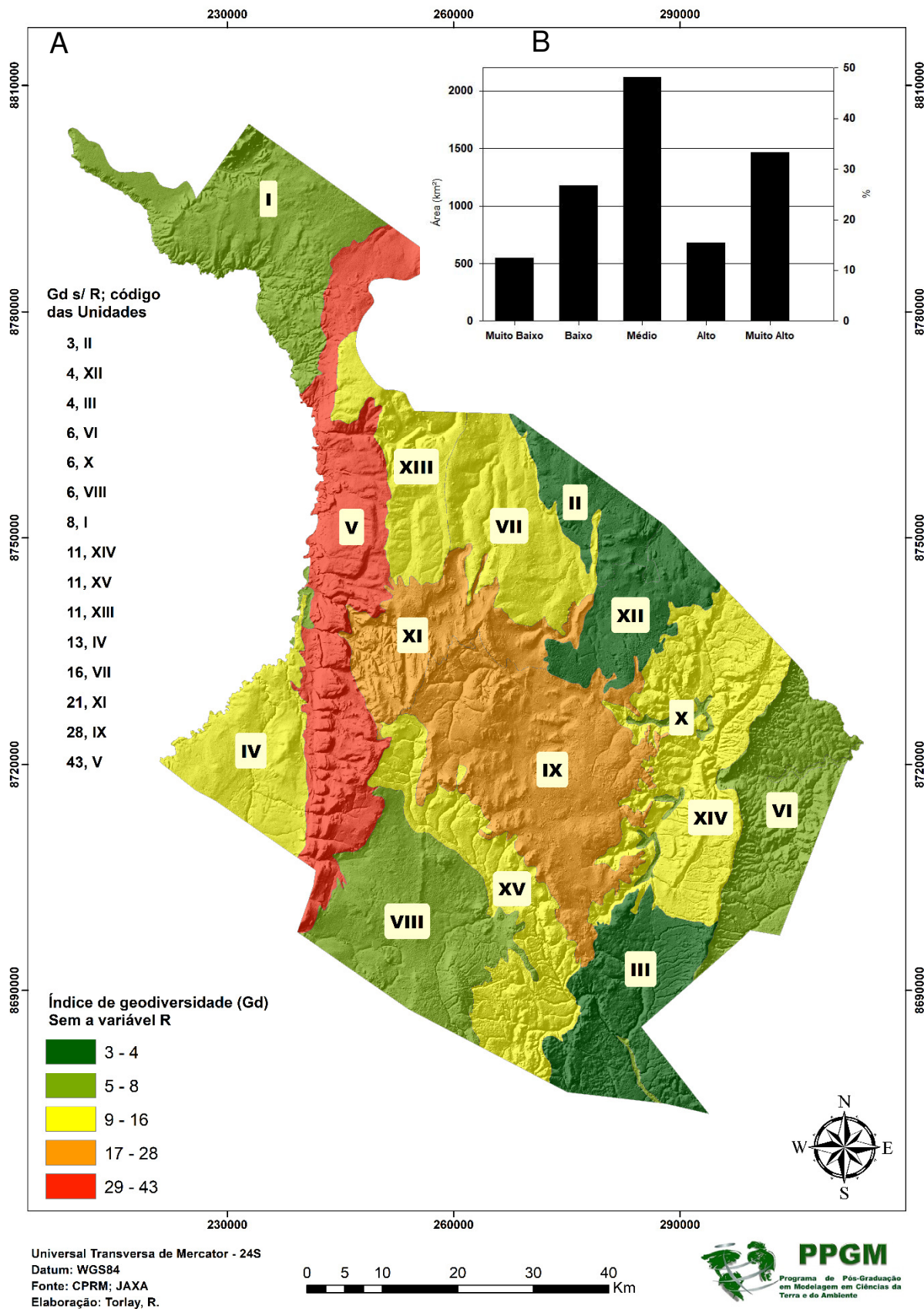


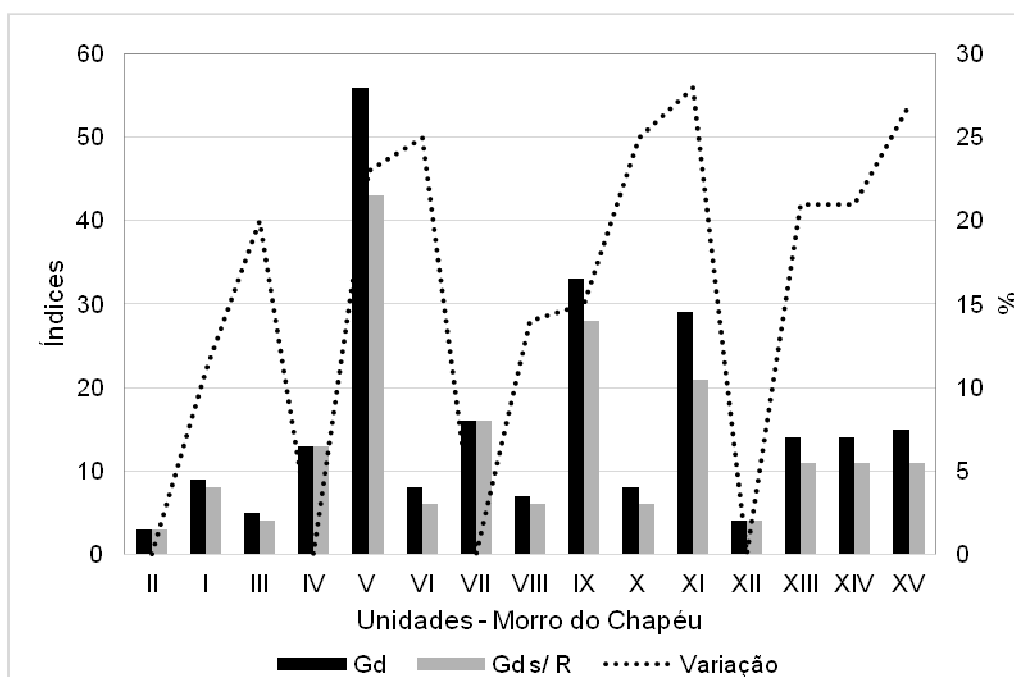
Figura 17. A: mapa do índice de geodiversidade de Morro do Chapéu sem a variável rugosidade. B: gráfico de frequência das classes de Gd.



maiores altitudes contínuas no município de Morro do Chapéu (entre 900 e 1100 metros). Apesar dos baixos valores de R, que, não ultrapassaram de 1,4, ele ainda potencializou os valores finais das Unidades com maior número de elementos da geodiversidade. Nota-se que as outras Unidades tiveram pouca variação do Gd (ver gráfico 4) cerca de 15%. Além disso, comparando gráfico na figura 15 – B e figura 16 – B, afirma-se, que quando se retirou o R houve migração nos valores de Gd das classes “alta” e “muito alta” para “média”, “baixa” e “muito baixa”.

Então, o que mais influenciou para os altos valores dos índices destas Unidades foram as variáveis representadas por linhas. Isto é, falhas ou fraturas geológicas como o Planalto de Morro do Chapéu que apresenta 154 falhas, Superfície Serrana com 107 e com 252 a Encosta Ocidental. Então, se comparar somente os valores da estrutura com o de elemento (Eg) tem-se participação maior que 80% na composição do índice. Sendo assim a estrutura geológica com maior peso na geodiversidade de Morro de Chapéu.

Gráfico 4. Variação percentual dos índices Gd x Gd s/ R – Morro do Chapéu.



Como feito anteriormente, também foi gerado novos índices de geodiversidade baseados apenas nos elementos estruturantes (solos, litologia). Novamente exclui-se as unidades geomorfológicas do cálculo já que ela serve de base para se atribuir os valores de Gd. Na tabela 5, observa-se os novos valores para Gd.

Tabela 5. Cálculos para Gd com os elementos: litotipos e solos – Morro do Chapéu.

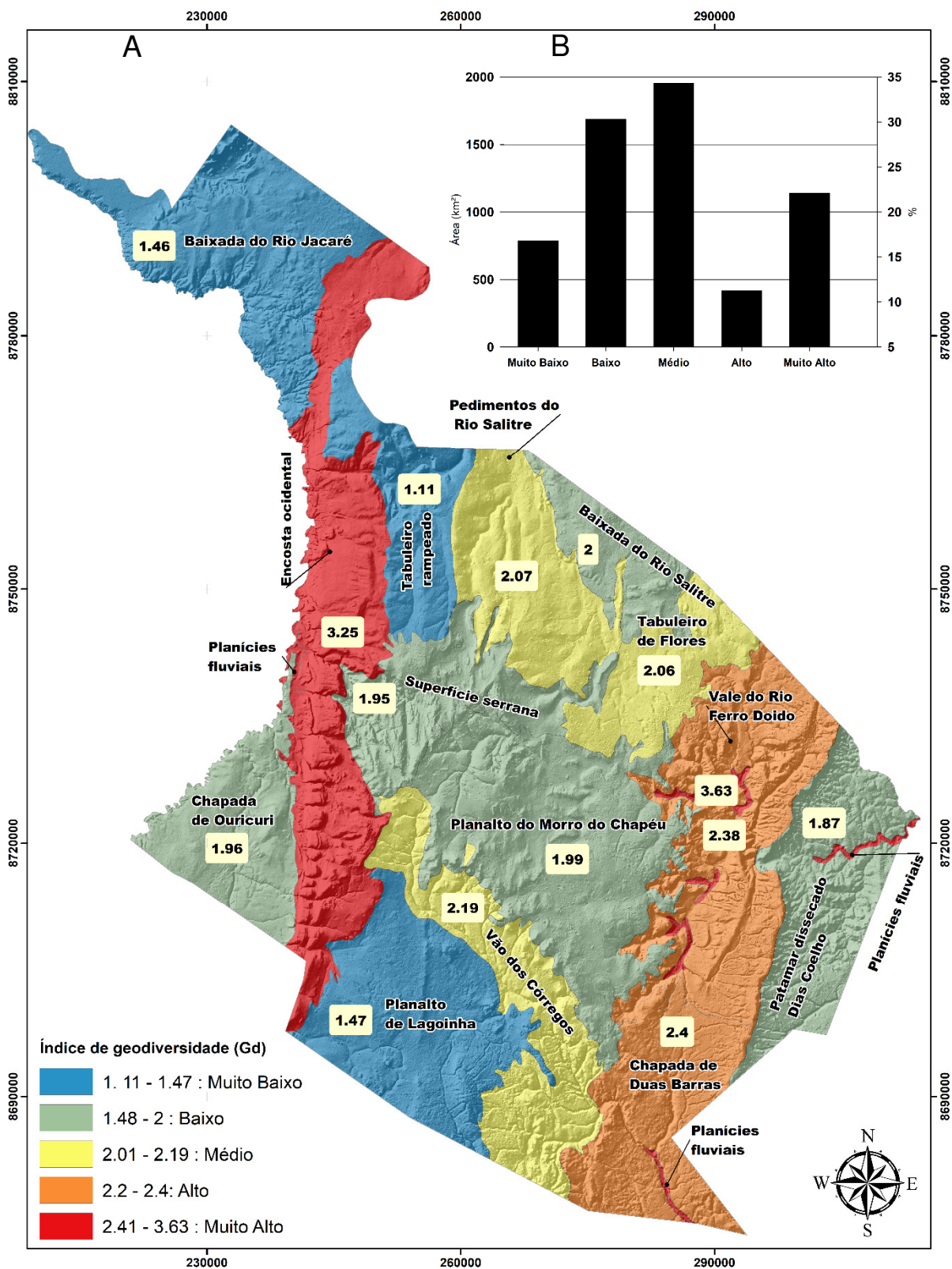
UNIDADE	código	Novo Eg	LnS	Novo Gd	Área km ²	área%
Baixada do Rio Jacaré	I	9	5	1.44	529	9
Baixada do Rio Salitre	II	10	6	2	170	3
Chapada de Duas Barras	III	14	6	2.36	377	6
Chapada de Ouricuri	IV	11	6	1.92	305	5
Encosta ocidental	V	21	7	3.25	712	12
Patamar dissecado de Dias Coelho	VI	11	6	1.84	392	7
Pedimentos do Rio Salitre	VII	12	6	2.03	365	6
Planalto de Lagoinha	VIII	9	6	1.45	506	8
Planalto do Morro do Chapéu	IX	13	7	1.99	754	13
Planícies fluviais	X	14	4	3.63	52	1
Superfície serrana	XI	11	6	1.91	315	5
Tabuleiro de Flores	XII	11	5	2.02	230	4
Tabuleiro rampeado	XIII	7	6	1.26	260	4
Vale do Rio Ferro Doido	XIV	13	6	2.03	609	10
Vão dos Córregos	XV	13	6	2.19	417	7
Total	...	179	8.6*	20,8	5,993	100%

Observação: Eg = Somatória das diferentes feições da geodiversidade (solos, geologia, unidades morfoesculturais, ocorrências minerais, corpos d'água; LnS = logaritmo neperiano da área (km²); R = coeficiente de rugosidade; Gd = índice de geodiversidade; Gd s/ R= o índice de geodiversidade sem a variável rugosidade. *ln da área total. **média aritmética calculada para as médias ponderadas das unidades.

Os maiores índices deste experimento foram encontrados nas Unidades Planícies Fluviais (X) e a Encosta Ocidental (V), que era a unidade com maior Gd. A Unidade X (ver mapa na figura 17 – A) com aproximadamente 50 km² teve maior índice por conta da natureza do logaritmo natural, problema já discutido. Também por outra limitação do próprio método, que tem a ver com a contiguidade territorial da Unidade. Então, quando as Unidades são contíguas, ou seja, tem superfície contínua, elas assumem os valores da soma dos elementos de geodiversidade. No entanto, quando há Unidades de mesma classe, mas fragmentada no território, o valor final pode não ser proporcional em relação à Unidade com território contínuo. A exemplo disso, tem-se a Unidade Planícies Fluviais subdivididas em 5 fragmentos. Portanto, se fosse calcular o Gd para cada fragmento desta Unidade, os valores de Eg seriam inferiores que a soma total. Assim, se cada fragmento fosse uma Unidade

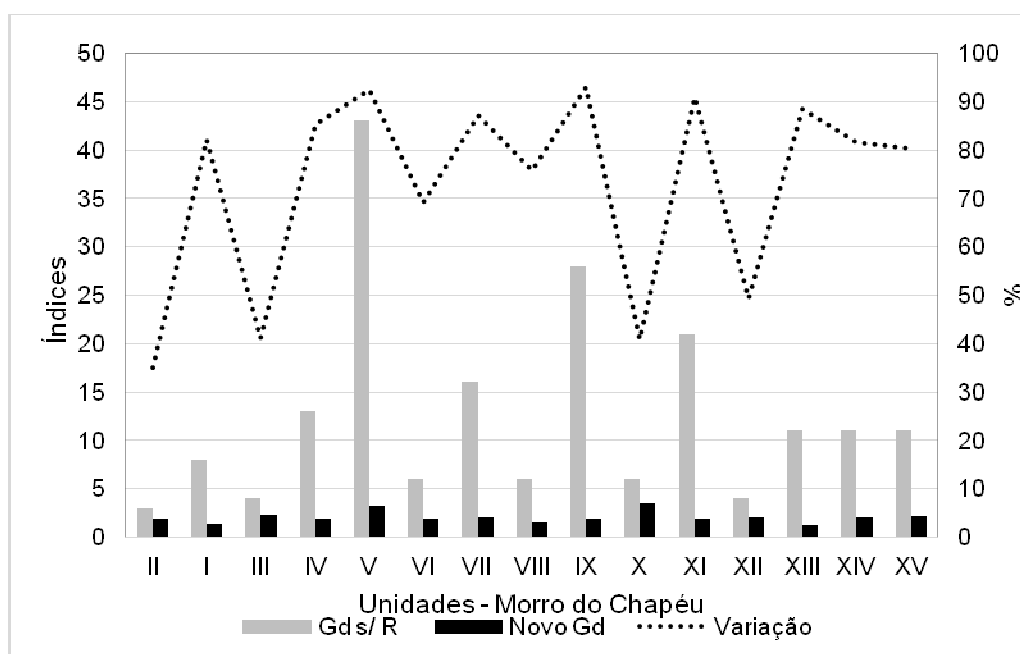
por um lado se reduziria o valor de E_g , por outro lado com a redução areal diminuiria o valor de $\ln S$, que poderia acarretar na hiperestimação de G_d .

Figura 18. A: mapa do índice de geodiversidade com as variáveis solos e litotipos do PNCD. B: gráfico de frequência das classes de Gd.



A partir da leitura do gráfico 5 nota-se, que onde ocorreram as maiores variações foram nas Unidades com maiores valores de Eg, potencializadas pelo elemento estrutura geológica. Desta forma, ao simplificar o modelo restringindo a apenas elementos poligonais (areais) constatou-se menor variabilidades nos valores de Gd nas Unidades. Esta redução de variáveis possibilitou a uniformização dos valores de Gd, ocasionados pela uniformização do número de elementos. Ou seja, o valor médio de Eg para as unidades foi de 12 elementos e o desvio padrão de 3, indicando consistência do valor médio de Eg.

Gráfico 5. Variação percentual de Gd s/ R para Novo Gd – Morro do Chapéu.



5.1.3 Comparação dos índices de geodiversidade do PNCD com Morro do Chapéu.

Como mostra o quadro 4, os índices de geodiversidade no PNCD considerando as variáveis: estrutura geológica, litologia, solos, ocorrências minerais e hidrografia tiveram valores inferiores aos de Morro do Chapéu. De um território a outro o Gd variou cerca de 97%. Já em comparação com os novos índices gerados, houve variação de aproximadamente 10%. O que influenciou na proximidade do resultado de Gd foi a baixa variação de elementos da geodiversidade entre áreas, cerca de 1,5%. Poder-se-ia afirmar que, Morro de Chapéu tem maior riqueza de elementos abióticos, quando se tem o Gd calculado com 5 variáveis. Entretanto, com a extinção das variáveis representadas por pontos e linhas praticamente o

PNCD e Morro do Chapéu tem a mesma geodiversidade. Por tanto, a comparação de territórios distintos ainda pode apresentar inconsistências a depender:

1 - Dos métodos de mapeamento dos elementos abióticos, por exemplo os mapas geomorfológicos parecem apresentar diferentes níveis taxonômicos conforme classificação de Ross, (2011). Assim, o mapeamento geomorfológico de Morro do Chapéu parece chegar até o 4^o Taxon (tipos de formas de relevo) e o mapeamento do PNCD pode chegar até o 5^o Taxon.

2 - E em relação ao problema apresentado sobre os limites do logarítimo natural.

3 - E por fim na escolha dos níveis e elementos da geodiversidade para modelagem, que a depender do tipo de representação cartográfica pode influenciar nos valores dos índices.

Quadro 4. Índice de geodiversidade total do PNCD e Morro do Chapéu.

	PNCD	Morro do Chapéu
Eg	437	1155
Gd	119	234
Gd s/ R	60	193
Novo Eg	137	179
Novo Gd	19	21
Área total (km²)	1.526	5.993

Sobre o coeficiente de rugosidade R, o PNCD apresentou maiores valores que Morro do Chapéu. Entretanto, é incongruente a comparação de R entre territórios com diferentes áreas, visto que o método que calcula a rugosidade a partir das médias de declividade acaba generalizando os valores.

Segundo Serrano & Ruiz-Flaño (2007), parâmetro R, deve ser estudado mais a fundo e ser testado em áreas com variabilidade de declividade. Pereira et al., (2013) afirmam que, dependendo da área a ser aplicado o índice, pode-se superestimar o resultado. Já Hjort & Luoto, (2010) não utilizaram a rugosidade devido a baixa variação altimétrica de sua área teste.

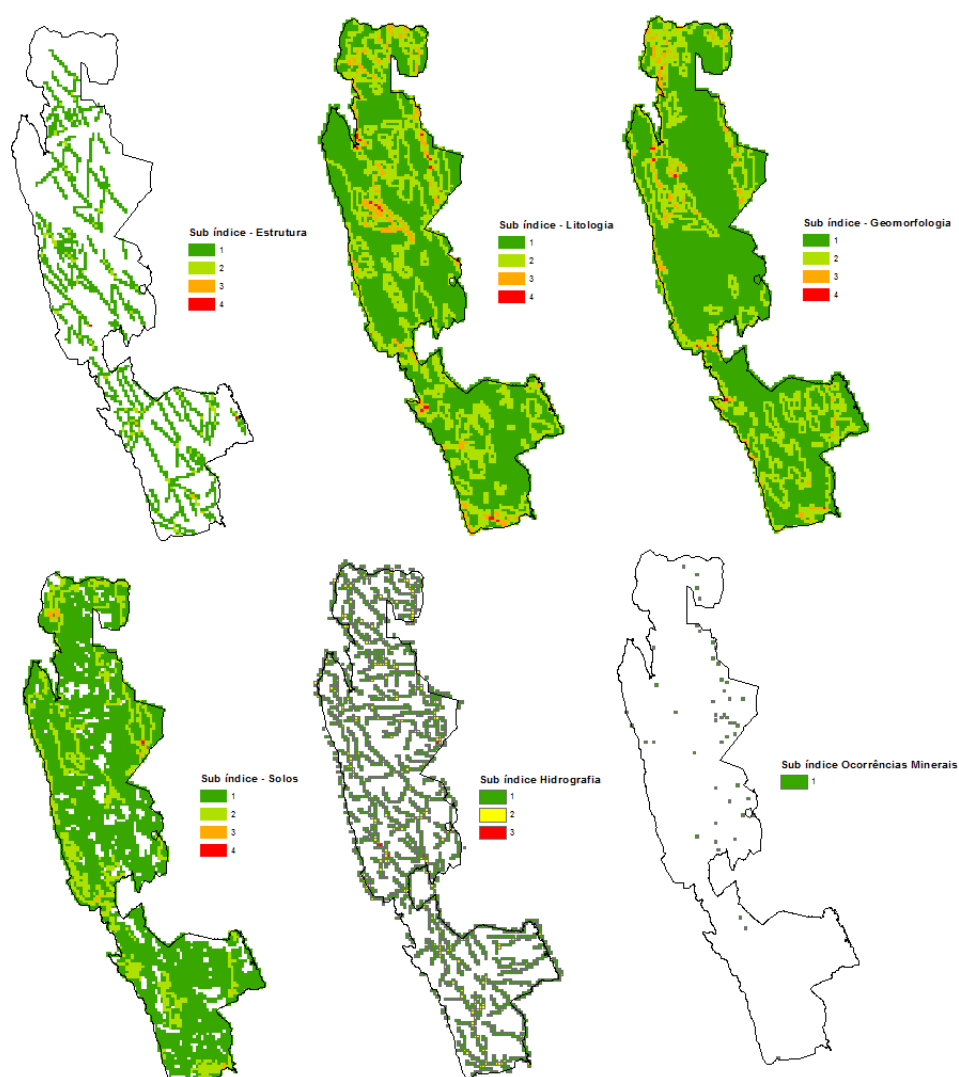
A proposta de usar a rugosidade tem justificativa inerente ao conceito da geodiversidade na visão holística. No entanto, é uma variável que não se adequa ao conceito de riqueza. Com isso traz incertezas ao modelo de avaliação da riqueza da geodiversidade devido a sua natureza conceitual, que implica na supervalorização de terrenos com grandes variações altimétricas. Por tanto, traz uma redundância, de

ordem geomorfológica, para a composição do modelo de avaliação da geodiversidade.

5.2. Método Pereira et al. (2013)

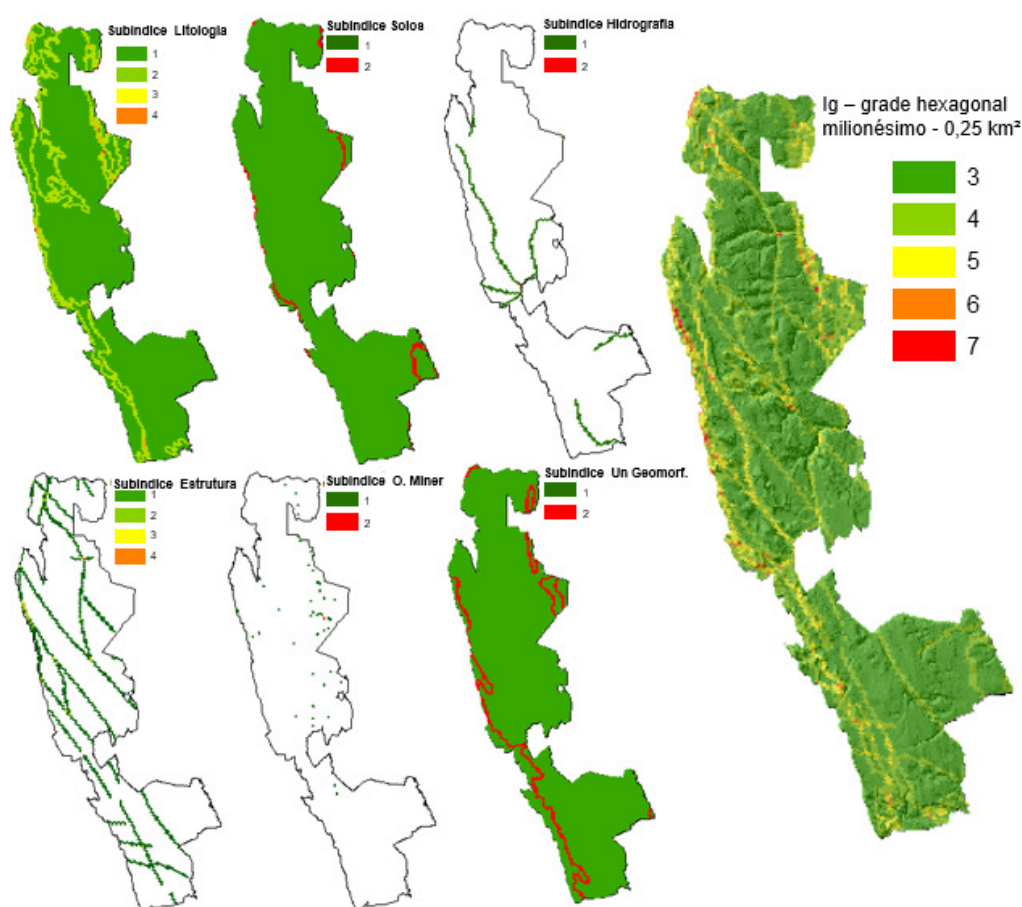
A aplicação do método em questão produziu uma série de produtos como os subíndices de geodiversidade (exemplo ilustrado na figura 19), os índices derivados de grades regulares quadradas de 0,25 km², 1 km², 4 km² e 25 km² (ver os mapas desses índices no apêndice 9, apêndice 11, apêndice 10, apêndice 12) em escala 1: 1.000.000 da região Chapada Diamantina. Também foram gerados mapas dos índices em grades quadradas e hexagonais nos tamanhos 0,25 km², 1 km², 4 km² e 25 km² (ver os mapas desses índices no apêndice 13, apêndice 14, apêndice 15, apêndice 16, apêndice 17, apêndice 18, apêndice 19, apêndice 20).

Figura 19. Exemplo da extração de subíndices a partir de grade regular quadrada 0,25 km² – PNCD.



Observando os subíndices do PNCD na figura 20 em grades hexagonais de 0,25 km², 1 km², 4 km² e 25 km² na escala 1: 1.000.000 nota-se a determinação do índice de geodiversidade (figura 20) pela combinação dos elementos corpos d'água e estrutura geológica. Isso porque parte da hidrografia do PNCD é condicionada por falhas geológicas. Outros elementos abióticos interdependentes que justificam os altos valores dos índices são a litologia, as formas de relevo e os solos. Na referida escala as unidades geomorfológicas tem seus contatos nos limites do PNCD a oeste sentido norte – sul (Anticlinais aplanados e esvaziados, sinclinais suspensos, blocos deslocados por falhas da Chapada Diamantina fazendo limites com a unidade Pediplano cimero da Chapada Diamantina; e na região dos Marimbus (próximo as coordenadas 242.554.059 – 8.600.781.498 metros UTM – 24s). Há altos índices provenientes de 3 unidades: Pedimentos funcionais ou retocados por drenagem incipiente com Região de acumulação, e esta última Unidade fazendo contato com Pedimentos funcionais ou retocados por drenagem incipiente.

Figura 20. Calculo do Ig a partir da soma dos subíndices em grade hexagonal na escala ao milionésimo - PNCD



As variações dos índices para as diferentes áreas de estudo extraídas pelas diferentes grades são mostradas no quadro 5.

Quadro 5. Variações nos valores dos índices de geodiversidade extraídos por grades hexagonais, quadradas nas escalas 1: 100.000 e 1: 1.000.000

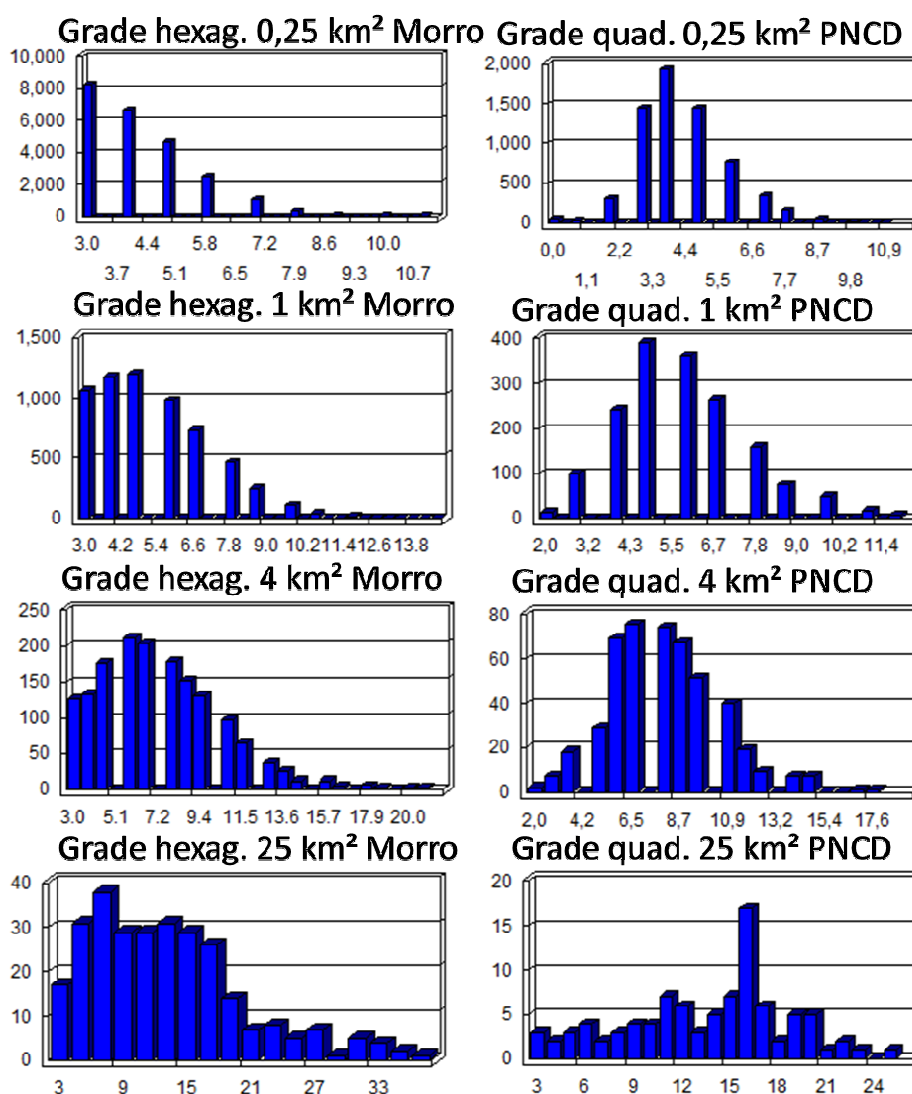
Tipo	Tamanho	PNCD	Morro do Chapéu
Hexagonal ao milionésimo	0,25 km ²	3 - 6	1 - 7
	1 km ²	3 - 8	1 - 9
	2 km ²	3 - 9	1 - 9
	5 km ²	4 - 15	4 - 15
Quadrada ao milionésimo	0,25 km ²	3 - 7	3 - 8
	1 km ²	3 - 9	3 - 10
	2 km ²	3 - 11	3 - 10
	5 km ²	3 - 17	4 - 16
Hexagonal	0,25 km ²	2 - 11	3 - 11
	1 km ²	2 - 13	3 - 15
	2 km ²	2 - 18	3 - 18
	5 km ²	4 - 25	3 - 31
Quadrada	0,25 km ²	1 - 11	3 - 11
	1 km ²	2 - 12	3 - 15
	2 km ²	2 - 18	3 - 18
	5 km ²	3 - 26	3 - 28

A partir do ranking dos índices pode-se afirmar que na escala ao milionésimo os menores valores superam os menores valores nos índices gerados com dados em escala 1: 100.000. Isso demonstra os quanto a escala cartográfica influi no índice de geodiversidade. Entretanto, se comparado os valores máximos e mínimos dos índices em diferentes escalas parece não haver uma proporção em relação ao grau de detalhamento. Logo, mesmo a escala ao milionésimo apresentar 10 vezes menos níveis de detalhes que a 1: 100.000 houve pouca diferença na amplitude destes índices.

Sobre as diferentes grades, parece não existir um padrão a respeito do grau de generalização entre grades hexagonais e quadradas. Por exemplo, ora a grade hexagonal apresenta maiores valores no ranking, ora apresenta menores valores comparadas as grades de mesmo tamanho do tipo quadrado.

Pode-se constatar certa linearidade em relação ao crescimento do tamanho de grade e ao ranking dos intervalos dos índices. Tal constatação é demonstrada na figura 21.

Figura 21. Gráfico de frequência da distribuição de células por intervalos do índice de geodiversidade.



Tanto na coluna onde estão as frequências dos índices gerados em Morro do Chapéu por grades hexagonais em quatro tamanhos, quanto na coluna dos índices calculados por grades quadradas no PNCD tem o mesmo padrão de distribuição.

Isto é, em grades menores as amplitudes dos índices são menores e concentradas nas primeiras classes. Conforme se aumenta o tamanho de grade aumenta a amplitude entre os valores máximos e mínimos dos índices. Os entendimentos destes padrões podem dar subsídios para a escolha no tamanho de grade a depender dos objetivos em quantificar a riqueza da natureza abiótica.

Além desta relação entre amplitude do índice e tamanho de grade e escala cartográfica há também o fator de autossemelhança. Isto é, o quanto todas as células contendo valores dos índices gerados por diferentes tamanhos e tipos de grades se assemelham. Então com todos os mapas dos índices de geodiversidade em mãos, fez-se a comparação utilizando correlação de Kendall (τ) e Spearman (ρ) entre mapas. Os resultados destes cálculos se encontram no quadro 6 e quadro 7 para área do PNCD e quadro 8 para Morro do Chapéu.

Com os cálculos de correlação espacial, teve-se uma noção da variação do índice gerado por diferentes tamanhos e formatos de grade em células pareadas. Então, é possível inferir que conforme aumenta ou diminui tamanho de grade o valor muda de forma gradual até não existir correlação entre os índices (τ ou $\rho = 0$). Por exemplo, valores do índice em uma grade quadrada de 0,25 km² na escala 1:100.000 com uma grade quadrada de 1 km² tem 60% de correlação (Kendall) e 73% (Spearman)., ou seja, os valores têm correlação, embora baixa, considerando acima de 7 para valores com forte correlação. Se comparar o mesmo mapa com a grade quadrada de 0,25 km² com outro de 25 km² os valores são de 24% (Kendall) e 30% (Spearman). Ou seja, há uma fraca correlação espacial. Quando se compara grades de mesma área, mas com dados em diferentes escalas, no caso 1: 100.000 e 1:1.000.000 se conclui fraca ou nenhuma correlação espacial além de não haver padrões como a sequência gradual dos valores conforme as combinações de tamanhos de grade. Portanto, a escolha da escala cartográfica interfere no valor do índice de geodiversidade

Os valores marcados em amarelo indicam forte correlação espacial. Neste caso são comparações feitas entre grades hexagonais e quadradas em diferentes tamanhos. Apesar disso, este teste se mostra incipiente no que tange sobre o desempenho de grades hexagonais.

Quadro 6. Resultado dos cálculos de correlação bivariável de mapas dos índices em diferentes escalas, tamanhos de grades e tipos de grades – PNCD.

KENDALL - τ		500m	1km	2km	5km	Mil500m	Mil1km	Mil2km	Mil5km	Hex0.25km ²	Hex1km ²	Hex4km ²	Hex25km ²	MilHex0.25km ²	MilHex1km ²	MilHex4km ²	MilHex25km ²
	500m	1	0.528	0.311	0.119	0.263	0.215	0.158	0.059	0.711	0.493	0.337	0.12	0.243	0.221	0.168	0.068
	1km	0.528	1	0.44	0.186	0.254	0.261	0.199	0.081	0.474	0.514	0.452	0.178	0.244	0.259	0.2	0.084
	2km	0.311	0.44	1	0.363	0.213	0.26	0.205	0.13	0.293	0.365	0.4887	0.338	0.206	0.259	0.23	0.168
	5km	0.119	0.186	0.363	1	0.07	0.09	0.092	0.05	0.113	0.121	0.304	0.471	0.074	0.101	0.112	0.111
	Mil500m	0.263	0.254	0.213	0.07	1	0.681	0.472	0.299	0.232	0.266	0.22	0.046	0.766	0.653	0.477	0.276
	Mil1km	0.215	0.261	0.26	0.09	0.681	1	0.655	0.405	0.197	0.263	0.267	0.055	0.627	0.731	0.611	0.358
	Mil2km	0.158	0.199	0.205	0.092	0.472	0.655	1	0.233	0.15	0.218	0.28	0.045	0.451	0.579	0.686	0.468
	Mil5km	0.059	0.081	0.13	0.05	0.299	0.405	0.233	1	0.063	0.126	0.166	0.033	0.29	0.38	0.505	0.63
	Hex0.25km ²	0.711	0.474	0.293	0.113	0.232	0.197	0.15	0.063	1	0.47	0.322	0.116	0.222	0.216	0.151	0.072
	Hex1km ²	0.493	0.514	0.365	0.121	0.266	0.263	0.218	0.126	0.47	1	0.411	0.136	0.26	0.317	0.24	0.158
	Hex4km ²	0.337	0.452	0.4887	0.304	0.22	0.267	0.28	0.166	0.322	0.411	1	0.276	0.219	0.27	0.261	0.169
	Hex25km ²	0.12	0.178	0.338	0.471	0.046	0.055	0.045	0.033	0.116	0.136	0.276	1	0.044	0.065	0.05	0.11
	MilHex0.25km ²	0.243	0.244	0.206	0.074	0.766	0.627	0.451	0.29	0.222	0.26	0.219	0.044	1	0.622	0.456	0.268
	MilHex1km ²	0.221	0.259	0.259	0.101	0.653	0.731	0.579	0.38	0.216	0.317	0.27	0.065	0.622	1	0.27	0.361
	MilHex4km ²	0.168	0.2	0.23	0.112	0.477	0.611	0.686	0.505	0.151	0.24	0.261	0.05	0.456	0.27	1	0.474
	MilHex25km ²	0.068	0.084	0.168	0.111	0.276	0.358	0.468	0.63	0.072	0.158	0.169	0.11	0.268	0.361	0.474	1

Observações: A nomenclatura se refere a cada mapa dos índices em diferentes escalas e tipos de grade. Assim: 500m = grade quadrada 0,25 km²; 1km = grade quadrada 1 km²; 2km = grade quadrada 4 km²; 5km = grade quadrada 25 km²; mil500m = grade quadrada ao milionésimo 0,25 km²; mil1km = grade quadrada ao milionésimo 1 km²; mil2km = grade quadrada ao milionésimo 4 km²; mil5km = grade quadrada ao milionésimo 25 km²; hex0,25km² = grade hexagonal 0,25 km²; hex1km² = grade hexagonal 1km²; hex4km² = grade hexagonal 4 km²; hex25km² = grade hexagonal 25 km²; milHex0,25km² = grade hexagonal ao milionésimo 0,25 km²; milHex1km² = grade hexagonal ao milionésimo 1 km²; milHex4km² = grade hexagonal ao milionésimo 4 km²; milHex25km² = grade hexagonal ao milionésimo 25 km².

Quadro 7. Resultado dos cálculos de correlação bivariável de mapas dos índices em diferentes escalas, tamanhos de grades e tipos de grades – PNCD.

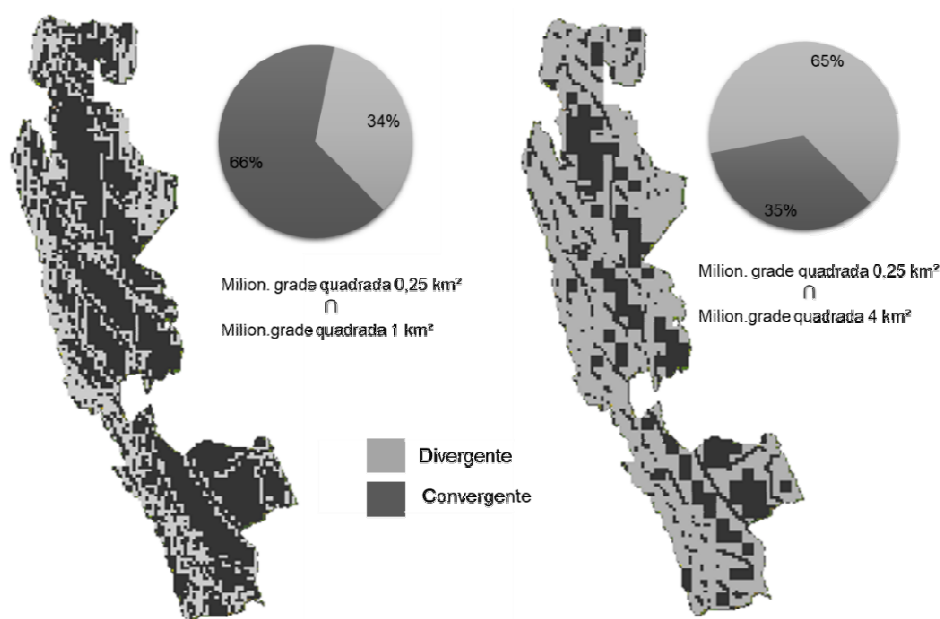
SPEARMAN - ρ		500m	1km	2km	5km	Mil500m	Mil1km	Mil2km	Mil5km	Hex0.25km ²	Hex1km ²	Hex4km ²	Hex25km ²	MilHex0.25km ²	MilHex1km ²	MilHex4km ²	MilHex25km ²
	500m	1	0.605	0.371	0.142	0.297	0.251	0.189	0.071	0.778	0.567	0.396	0.146	0.275	0.257	0.2	0.081
	1km	0.605	1	0.513	0.22	0.286	0.304	0.236	0.098	0.546	0.584	0.522	0.215	0.275	0.3	0.236	0.101
	2km	0.371	0.513	1	0.423	0.241	0.304	0.244	0.156	0.348	0.429	0.561	0.404	0.232	0.302	0.273	0.201
	5km	0.142	0.22	0.423	1	0.078	0.104	0.107	0.059	0.134	0.142	0.356	0.538	0.082	0.116	0.13	0.131
	Mil500m	0.297	0.286	0.241	0.078	1	0.724	0.522	0.336	0.262	0.298	0.249	0.052	0.787	0.695	0.525	0.309
	Mil1km	0.251	0.304	0.304	0.104	0.724	1	0.719	0.464	0.23	0.304	0.312	0.065	0.671	0.779	0.673	0.412
	Mil2km	0.189	0.236	0.244	0.107	0.522	0.719	1	0.612	0.178	0.258	0.331	0.053	0.499	0.643	0.754	0.54
	Mil5km	0.071	0.098	0.156	0.059	0.336	0.464	0.612	1	0.076	0.151	0.2	0.038	0.325	0.436	0.58	0.704
	Hex0.25km ²	0.778	0.546	0.348	0.134	0.262	0.23	0.178	0.076	1	0.542	0.378	0.14	0.25	0.251	0.179	0.086
	Hex1km ²	0.567	0.584	0.429	0.142	0.298	0.304	0.258	0.151	0.542	1	0.474	0.163	0.291	0.365	0.283	0.188
	Hex4km ²	0.396	0.522	0.561	0.356	0.249	0.312	0.331	0.2	0.378	0.474	1	0.33	0.247	0.314	0.309	0.201
	Hex25km ²	0.146	0.215	0.404	0.538	0.052	0.065	0.053	0.038	0.14	0.163	0.33	1	0.05	0.077	0.057	0.133
	MilHex0.25km ²	0.275	0.275	0.232	0.082	0.787	0.671	0.499	0.325	0.25	0.291	0.247	0.05	1	0.663	0.502	0.3
	MilHex1km ²	0.257	0.3	0.302	0.116	0.695	0.779	0.643	0.436	0.251	0.365	0.314	0.077	0.663	1	0.314	0.414
	MilHex4km ²	0.2	0.236	0.273	0.13	0.525	0.673	0.754	0.58	0.179	0.283	0.309	0.057	0.502	0.314	1	0.545
	MilHex25km ²	0.081	0.101	0.201	0.131	0.309	0.412	0.54	0.704	0.086	0.188	0.201	0.133	0.3	0.414	0.545	1

Quadro 8. Resultado dos cálculos de correlação bivariável de mapas dos índices em diferentes escalas, tamanhos de grades e tipos de grades – Morro do Chapéu.

	KENDALL - Tau																
	500m	1km	2km	5km	Mil500m	Mil1km	Mil2km	Mil5km	Hex0.25km ²	Hex1km ²	Hex4km ²	Hex25km ²	MilHex0.25km ²	MilHex1km ²	MilHex4km ²	MilHex25km ²	
500m	1	0.656	0.441	0.246	0.183	0.227	0.213	0.142	0.773	0.626	0.447	0.262	0.197	0.238	0.231	0.141	
1km	0.656	1	0.606	0.347	0.205	0.262	0.27	0.186	0.608	0.684	0.569	0.37	0.21	0.268	0.287	0.188	
2km	0.441	0.606	1	0.51	0.193	0.251	0.304	0.227	0.424	0.555	0.657	0.534	0.191	0.254	0.307	0.237	
5km	0.246	0.347	0.51	1	0.13	0.164	0.214	0.21	0.242	0.337	0.511	0.677	0.126	0.167	0.237	0.261	
Mil500m	0.183	0.205	0.193	0.13	1	0.676	0.468	0.265	0.181	0.21	0.204	0.137	0.707	0.623	0.462	0.271	
Mil1km	0.227	0.262	0.251	0.164	0.676	1	0.627	0.345	0.225	0.258	0.267	0.175	0.597	0.701	0.578	0.341	
Mil2km	0.213	0.27	0.304	0.214	0.468	0.627	1	0.479	0.21	0.262	0.301	0.208	0.437	0.564	0.678	0.479	
Mil5km	0.142	0.186	0.227	0.21	0.265	0.345	0.479	1	0.139	0.173	0.238	0.213	0.252	0.339	0.479	0.597	
Hex0.25km ²	0.773	0.608	0.424	0.242	0.181	0.225	0.21	0.139	1	0.588	0.433	0.259	0.198	0.235	0.226	0.134	
Hex1km ²	0.626	0.684	0.555	0.337	0.21	0.258	0.262	0.173	0.588	1	0.564	0.359	0.216	0.267	0.288	0.184	
Hex4km ²	0.447	0.569	0.657	0.511	0.204	0.267	0.301	0.238	0.433	0.564	1	0.526	0.2	0.27	0.32	0.247	
Hex25km ²	0.262	0.37	0.534	0.677	0.137	0.175	0.208	0.213	0.259	0.359	0.526	1	0.137	0.18	0.237	0.232	
MilHex0.25km ²	0.197	0.21	0.191	0.126	0.707	0.597	0.437	0.252	0.198	0.216	0.2	0.137	1	0.605	0.444	0.259	
MilHex1km ²	0.238	0.268	0.254	0.167	0.623	0.701	0.564	0.339	0.235	0.267	0.27	0.18	0.605	1	0.574	0.347	
MilHex4km ²	0.231	0.287	0.307	0.237	0.462	0.578	0.678	0.479	0.226	0.288	0.32	0.237	0.444	0.574	1	0.492	
MilHex25km ²	0.141	0.188	0.237	0.261	0.271	0.341	0.479	0.597	0.134	0.184	0.247	0.232	0.259	0.347	0.492	1	
	SPEARMAN - ρ																
	500m	1km	2km	5km	Mil500m	Mil1km	Mil2km	Mil5km	Hex0.25km ²	Hex1km ²	Hex4km ²	Hex25km ²	MilHex0.25km ²	MilHex1km ²	MilHex4km ²	MilHex25km ²	
500m	1	0.731	0.513	0.297	0.212	0.267	0.253	0.171	0.836	0.709	0.523	0.314	0.238	0.279	0.277	0.169	
1km	0.731	1	0.674	0.41	0.233	0.303	0.314	0.22	0.682	0.752	0.641	0.433	0.239	0.309	0.336	0.221	
2km	0.513	0.674	1	0.587	0.22	0.291	0.355	0.267	0.493	0.628	0.725	0.61	0.218	0.294	0.362	0.279	
5km	0.297	0.41	0.587	1	0.151	0.194	0.256	0.252	0.292	0.402	0.592	0.755	0.146	0.198	0.286	0.312	
Mil500m	0.212	0.233	0.22	0.151	1	0.72	0.516	0.304	0.209	0.241	0.235	0.159	0.736	0.667	0.513	0.307	
Mil1km	0.267	0.303	0.291	0.194	0.72	1	0.695	0.402	0.264	0.301	0.312	0.307	0.64	0.748	0.647	0.392	
Mil2km	0.253	0.314	0.355	0.256	0.516	0.695	1	0.552	0.248	0.308	0.353	0.245	0.481	0.628	0.742	0.544	
Mil5km	0.171	0.22	0.267	0.252	0.304	0.402	0.552	1	0.168	0.207	0.283	0.255	0.289	0.395	0.555	0.671	
Hex0.25km ²	0.836	0.682	0.493	0.292	0.209	0.264	0.248	0.168	1	0.668	0.507	0.31	0.227	0.276	0.269	0.159	
Hex1km ²	0.709	0.752	0.628	0.402	0.241	0.301	0.308	0.207	0.668	1	0.643	0.425	0.247	0.311	0.341	0.218	
Hex4km ²	0.523	0.641	0.725	0.592	0.235	0.312	0.353	0.283	0.507	0.643	1	0.608	0.23	0.316	0.379	0.292	
Hex25km ²	0.314	0.433	0.61	0.755	0.159	0.307	0.245	0.255	0.31	0.425	0.608	1	0.158	0.212	0.282	0.274	
MilHex0.25km ²	0.238	0.239	0.218	0.146	0.736	0.64	0.481	0.289	0.227	0.247	0.23	0.158	1	0.648	0.493	0.293	
MilHex1km ²	0.279	0.309	0.294	0.198	0.667	0.748	0.628	0.395	0.276	0.311	0.316	0.212	0.648	1	0.643	0.399	
MilHex4km ²	0.277	0.336	0.362	0.286	0.513	0.647	0.742	0.555	0.269	0.341	0.379	0.282	0.493	0.643	1	0.562	
MilHex25km ²	0.169	0.221	0.279	0.312	0.307	0.392	0.544	0.671	0.159	0.218	0.292	0.274	0.293	0.399	0.562	1	

Sobre a comparação entre mesmo tipo de grade em diferentes tamanhos. Os valores dos coeficientes de correlação mostram um grau de continuidade nos cálculos entre tamanhos de grades com áreas de valores sucessivamente próximos. Além dos cálculos de correlação espacial para demonstrar a variabilidade dos índices calculados a partir de diferentes tamanhos de grades, na figura 22 são mostradas as intersecções entre índices gerados por diferentes tamanhos de grades. Neste exemplo foi calculado a diferença entre os valores dos índices gerados por grade quadrada de 0,25 km² com grade quadrada de 1 km² e quadrada de 0,25 km² com grade quadrada de 4 km² (ao milionésimo). O resultado confirma a hipótese dita sobre a correlação positiva que existe entre grades conforme mudam-se os tamanhos. Pelos cálculos do coeficiente $\tau = 0,68$ para as grades 0,25 km² x 1 km² e $\tau = 0,47$ para as grades 0,25 km² x 4 km².

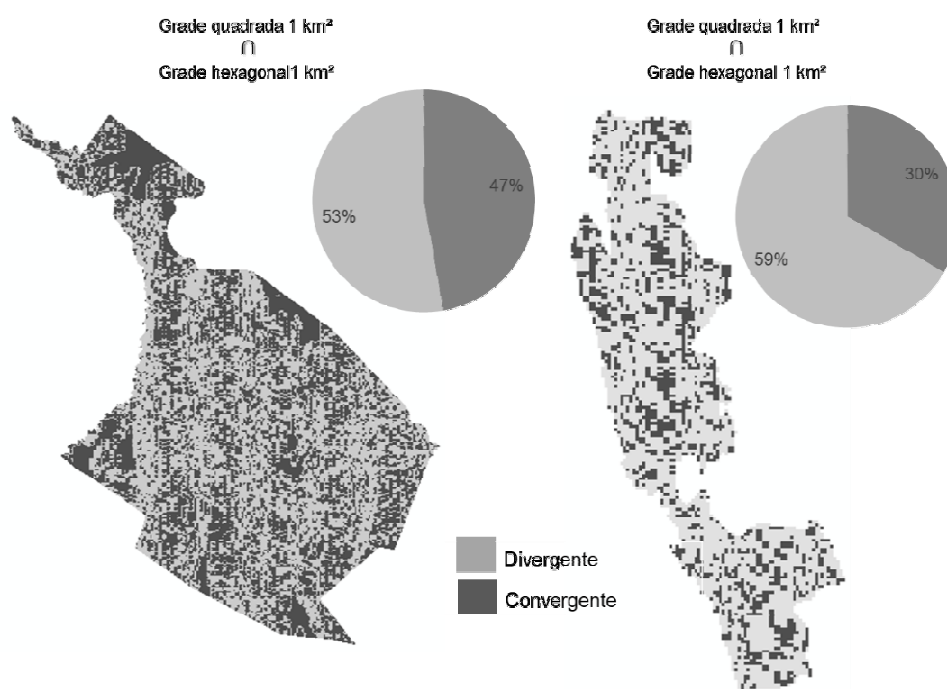
Figura 22. Cálculo da diferença de índices de geodiversidade para testar relações de auto semelhança.



Para testar a autossemelhança entre índices gerados por grades quadradas e hexagonais, fez-se também a diferença entre mapas (ver resultado na figura 23). Em Morro do Chapéu houve semelhança de 47% das células. Já no PNCD 30%. Para os mesmos objetos de análise tiveram coeficientes abaixo de 7, indicando fraca correlação espacial. Portanto, utilizar os tipos de grades quadradas ou hexagonais podem influenciar em resultados diferentes. Com os testes feitos aqui não se tem o suporte necessário para afirmar qual grade é melhor para quantificar a

geodiversidade. O que pode-se dizer é a grade hexagonal proporciona melhor visualização em relação a estética do mapa. \cap

Figura 23. Cálculo da diferença de índices de geodiversidade para testar relações de autossimilaridade entre grades hexagonais e quadradas,



Outros procedimentos cartográficos que podem ajudar na escolha da grade é entender a relação entre feições representadas por pontos, linhas e polígonos com a grade onde se soma valores de feições, que resultam em uma cartografia de síntese. Assim, o entendimento do fator forma, ou índice de complexidade de forma (S), que procura descrever a geometria geral dos polígonos nos mapas temático calculando a relação entre perímetro e área de cada polígono (HOLE, 1978), pode auxiliar neste dilema.

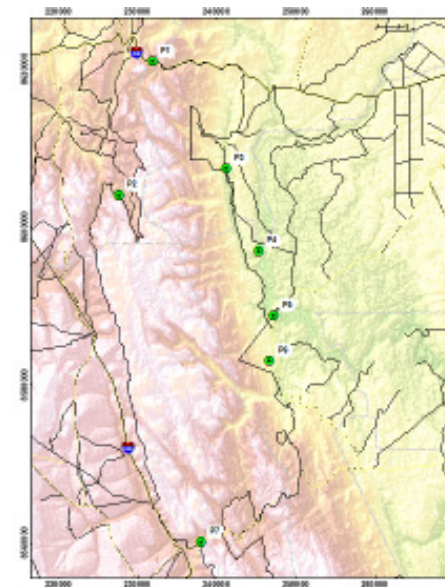
5.3 Validação dos Mapas em Campo

Foi concretizado trabalho de campo com o intuito de validar as propostas dos autores em questão. A avaliação em campo não objetivou julgar os mapeamentos oficiais, tendo eles como um modelo verdadeiro. Além disso, como principal premissa para esta tarefa, focou-se na análise da representatividade da geodiversidade e sua espacialização a partir da aplicação dos métodos.

Quadro 9. Ponto de visitação 1 – PNCD.



PNCD : P1
Índice de geodiversidade = 5

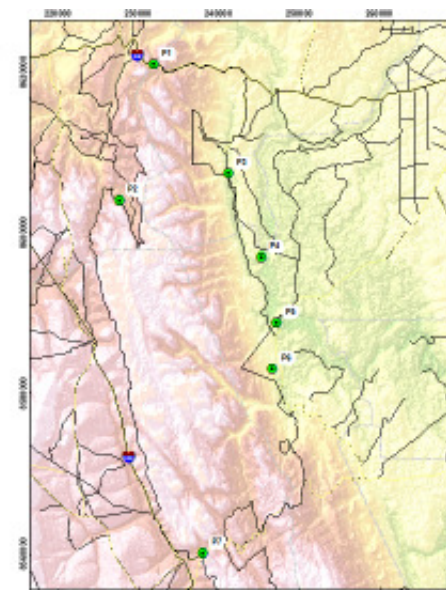


Elementos abióticos	Eg	Descrição
Ocorrência mineral	0	
Hidrografia	1	Primeira ordem
Estrutura geológica	0	
Solos	1	Cambissolo
Litologia	1	Predominância de argilitos e siltitos. Rochas formadas em ambientes de delta (pró-delta e zona transicional para a frente deltáica)
Unidades geomorfológicas	2	Superfícies amorreçadas de fundo de alvéolo, talhadas por erosão diferencial / Escarpas frontais e respectivos depósitos de tálus
Observações: Vista direção sul se encontra a localidade Águas Claras, onde os alvéolos formados permite enxergar até um testemunho isolado do relevo residual conhecido como Morrão.		

Quadro 10. Ponto de visitação 2 – PNCD.



PNCD : P2
 ndice de geodiversidade = 6

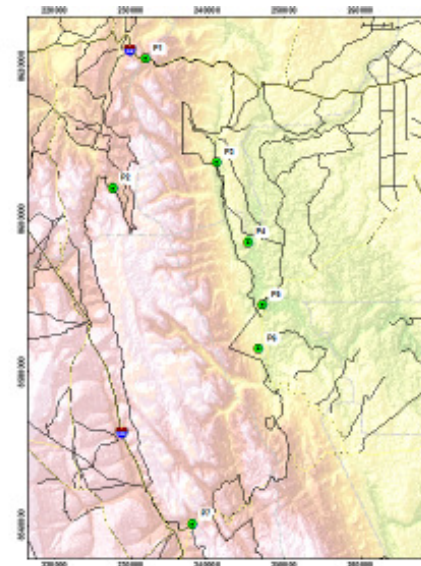


Elementos abióticos	Eg	Descri�o
Ocorrência mineral	0	
Hidrografia	1	Primeira ordem
Estrutura geológica	0	
Solos	2	Cambissolo / solos litólicos
Litologia	1	Predomínio de arenitos finos a silticos com pelitos mais subordinados. Rochas originadas num ambiente de delta (frente e planicie deltáica)
Unidades geomorfológicas	2	Escarpas frontais e respectivos depósitos de talus/Superfície estrutural de relevo irregular e ruiforme
Observa�es: Vista dire�o sudoeste das escarpas frontais.		

Quadro 11. Ponto de visitação 3 – PNCD.



PNCD : P3
 ndice de geodiversidade = 5

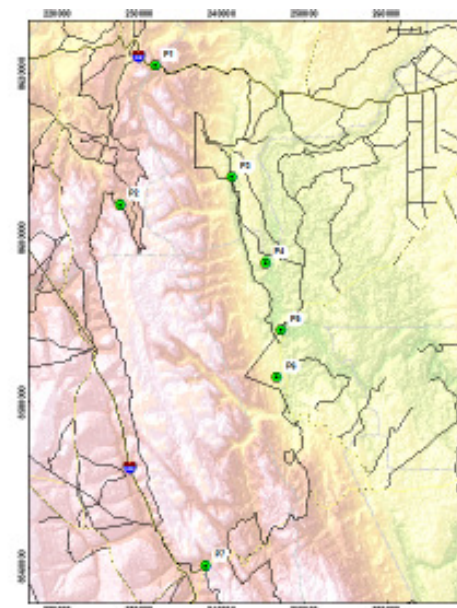


Elementos abióticos	Eg	Descri�o
Ocorrência mineral	0	
Hidrografia	1	Terceira ordem
Estrutura geológica	0	
Solos	1	Cambissolo
Litologia	1	Predominância de arenitos róseos a cinza róseos, finos, depositados numa planicie de maré
Unidades geomorfológicas	2	Planicies fluviais aluviais/Superfície estrutural de relevo irregular e ruiniforme
Observa�es: vista sentido leste para os Marimbus.		

Quadro 12. Ponto de visitação 4 – PNCD.



PNCD : P4
 ndice de geodiversidade = 7

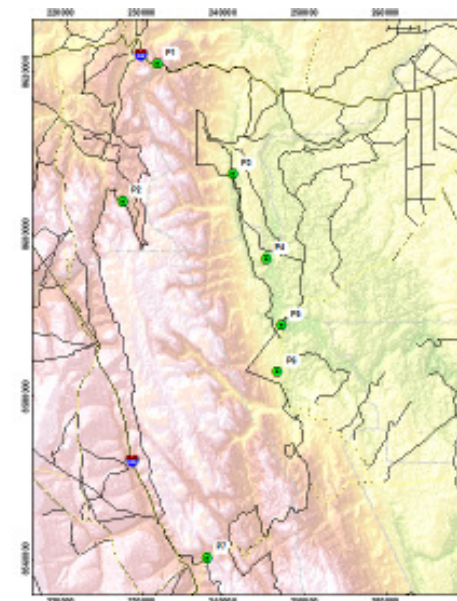


Elementos abióticos	Eg	Descri�o
Ocorrência mineral	0	
Hidrografia	1	Primeira ordem
Estrutura geológica	0	
Solos	2	Latossolo/ Solo aluvial
Litologia	2	Diamictitos, argilitos, siltitos, arenitos finos e pelitos com seixos pingados, relacionados a geleiras (glacia�o e deglacia�o)/ Cascalhos, areias e argilas dos aluviões recentes
Unidades geomorfológicas	2	Interflúvios tabulares ou semi-tabulares/ Planícies fluviais aluviais
Observa�es : Estrada antiga do garimpo, vista de fora do parque sentido oeste. Foto do Ribeirão de Baixo. Hierarquia hidrográfica de 1� ordem questionável no mapa 1:100.000.		

Quadro 13. Ponto de visitação 5 – PNCD.



PNCD : P5
  ndice de geodiversidade = 7

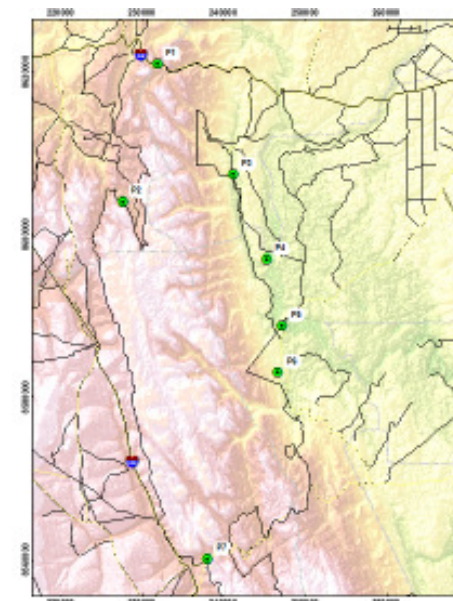


Elementos abióticos	Eg	Descri�o
Ocorrência mineral	0	
Hidrografia	1	Quarta ordem
Estrutura geológica	0	
Solos	2	Latosolo/ Colúvio
Litologia	2	Diamictitos, argilitos, siltitos, arenitos finos e pelitos com seixos pingados, relacionados a geleiras (glacia�o e deglacia�o)/ Cascalhos, areias e argilas dos aluviões recentes
Unidades geomorfológicas	2	Interflúvios tabulares ou semi-tabulares/ Planícies fluviais aluviais
Observa�es: Ponte sobre o rio Paraguaçu. Vista sentido oeste para o PNCD.		

Quadro 14. Ponto de visitação 6 – PNCD.



PNCD : P6
  ndice de geodiversidade = 5

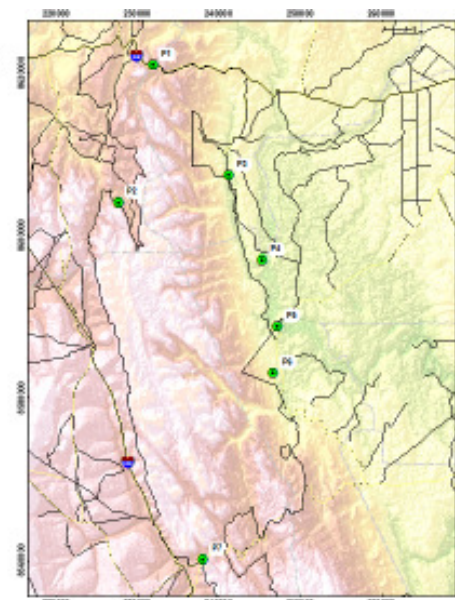


Elementos abióticos	Eg	Descri�o
Ocorrência mineral	0	
Hidrografia	1	Primeira ordem
Estrutura geológica	0	
Solos	1	Solos Litólicos e afloramentos
Litologia	2	Conglomerados, microconglomerados e arenitos róseos a cinza róseos, originados de leques aluviais e rios entrelaçados proximais/ Predominio de arenitos cinza, mal-selecionados, subordinadamente ocorrem microconglomerados além de raros pelitos. Formados sistema de rios entrelaçados ao qual se associam campos de dunas e interduna
Unidades geomorfológicas	1	Superfície estrutural de relevo irregular e ruiniforme
Observa�es: Perímetro urbano do município de Andaraí. Ponto com vista de fora do PNCD (ao fundo na foto) sentido sudoeste para o �ndice 5.		

Quadro 15. Ponto de visitação 7 – PNCD.



PNCD : P7
 ndice de geodiversidade = 10



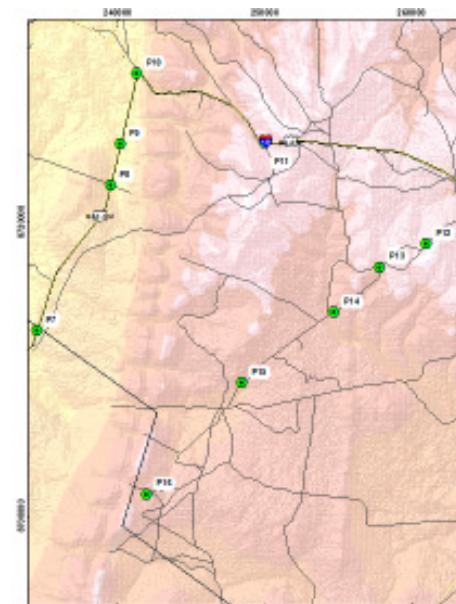
Elementos abióticos	Eg	Descri�o
Ocorrência mineral	0	
Hidrografia	1	Quarta ordem
Estrutura geológica	1	
Solos	3	Solo aluvial/ Podzol/ solos Litólicos.
Litologia	3	Diamictitos, argilitos, siltitos, arenitos finos e pelitos com seixos pingados, relacionados a geleiras (glacia�o e deglacia�o)/ Cascalhos, areias e argilas dos aluviões recentes/ Argilas e areias derivadas do Grupo Paraguaçu e da Forma�o Tombador
Unidades geomorfológicas	2	Patamares rochosos com quase total ausência de recobrimento detrítico superficial/ Planícies fluviais aluviais/ Superfície estrutural de relevo irregular e ruiforme
Observa�es: Mucugê, vista sentido noroeste. �rea com alta riqueza de elementos abióticos, principalmente tipos de solos, litologia e unidades de relevo.		

C

Quadro 16. Ponto de visitação 7 – Morro do Chapéu.



Morro do Chapéu : P7
 ndice de geodiversidade = 3

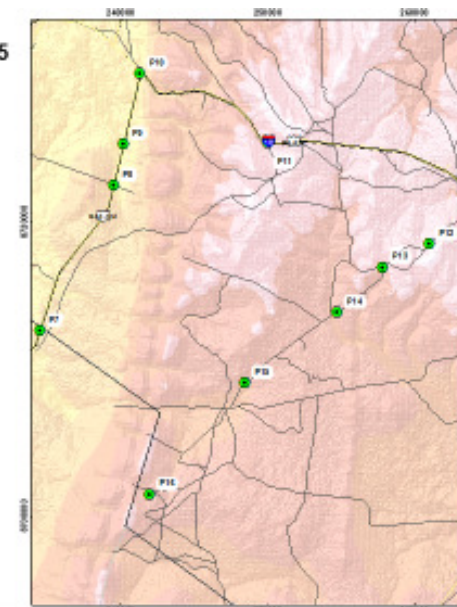


Elementos abióticos	Eg	Descri�o
Ocorrência mineral	0	
Hidrografia	0	
Estrutura geológica	0	
Solos	1	Areia Quartzosa
Litologia	1	Calcário cinza claro
Unidades geomorfológicas	1	Chapada de Ouricuri
Observa�es: Monotonia altimétrica, pouca varia�o de elementos abióticos.		

Quadro 17. Ponto de visitação 8 – Morro do Chapéu.



Morro do Chapéu : P8
 ndice de geodiversidade = 5

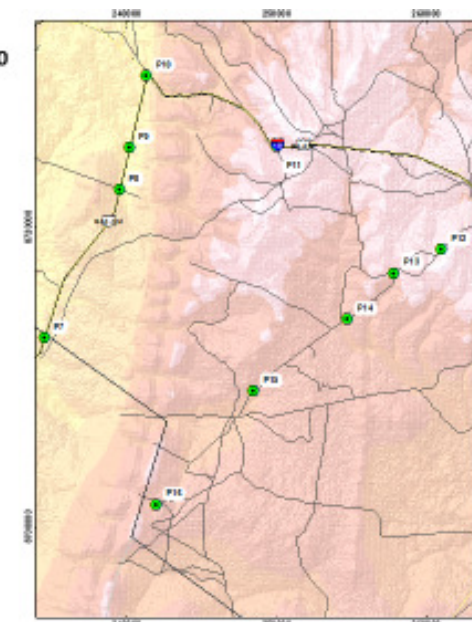


Elementos abióticos	Eg	Descri�o
Ocorrência mineral	0	
Hidrografia	1	Segunda ordem
Estrutura geológica	0	
Solos	2	Areia Quartzosa/ Podzólico
Litologia	2	Calcário cinza claro/
Unidades geomorfológicas	1	Chapada de Ouricuri
Observa�es: Plano no fundo dos vales encaixados e ondulados e forte ondulado nas encostas		

Quadro 18. Ponto de visitação 9 – Morro do Chapéu.

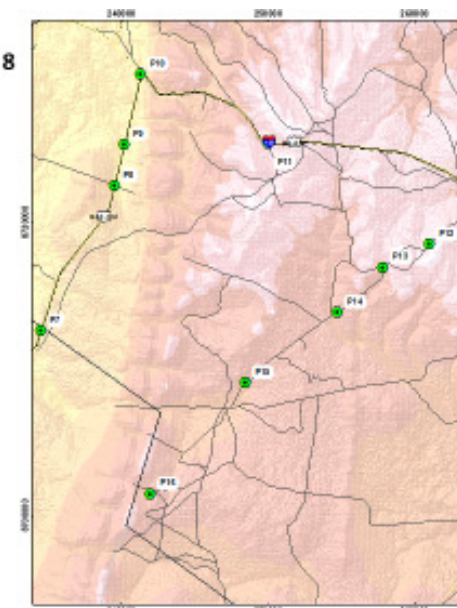


Morro do Chapéu : P9
 ndice de geodiversidade = 10



Elementos abióticos	Eg	Descri�o
Ocorrência mineral	0	
Hidrografia	3	Primeira, terceira e quinta ordem
Estrutura geológica	0	
Solos	3	Cambissolo /Areia Quartzosa /Solos Litólicos
Litologia	2	Calcário cinza claro/ Conglomerado-arenito-argilito
Unidades geomorfológicas	2	Tabuleiro de flores/ Encosta ocidental
Observa�es: Foi possível observar as bifurca�es dos rios. . Presença de dolinas (foto), não aparecem no mapa geomorfológico em escala 1:100.000.		

Quadro 19. Ponto de visitação 10 – Morro do Chapéu.

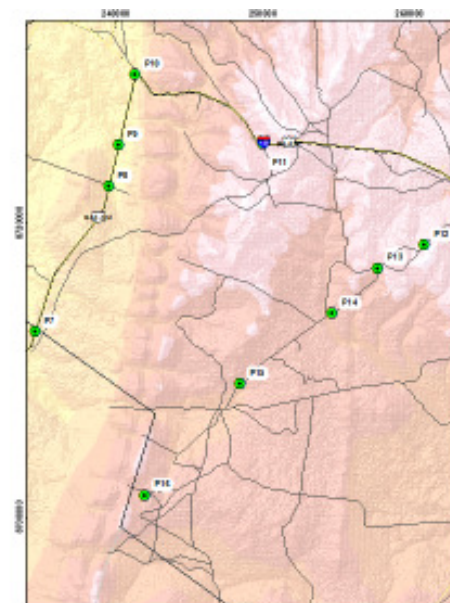
Morro do Chapéu : P10
 ndice de geodiversidade = 8

Elementos abióticos	Eg	Descri�o
Ocorrência mineral	0	
Hidrografia	1	Segunda ordem
Estrutura geológica	1	
Solos	2	Solos Litólicos/ Cambissolo
Litologia	3	Conglomerado-arenito-argilito/Conglomerado-arenito conglomerático/ Calcário cinza claro
Unidades geomorfológicas	1	Encosta ocidental
Observa�es: há 5 quil�metros do ponto passou-se perpendicular � Encosta ocidental.		

Quadro 20. Ponto de visitação 11 – Morro do Chapéu.



Morro do Chapéu : P11
 ndice de geodiversidade = 7

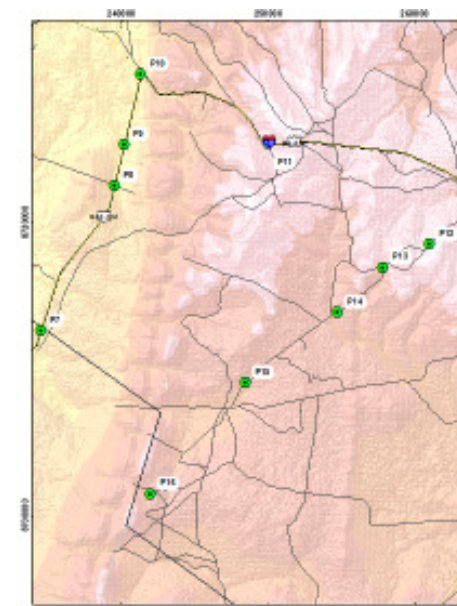


Elementos abióticos	Eg	Descri�o
Ocorrência mineral	0	
Hidrografia	1	Primeira ordem
Estrutura geológica	1	
Solos	1	Solos Litólicos
Litologia	2	Argilito-arenito/Calcário silicificado
Unidades geomorfológicas	2	V�o dos córregos/ Superfície serrana
Observa�es: Afloramento de Rocha/ Cascalheiras		

Quadro 21. Ponto de visitação 12 – Morro do Chapéu.



Morro do Chapéu : P12
Índice de geodiversidade = 7

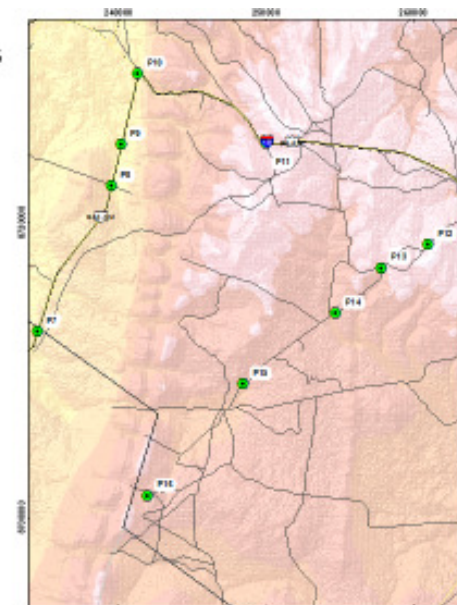


Elementos abióticos	Eg	Descrição
Ocorrência mineral	0	
Hidrografia	0	
Estrutura geológica	0	
Solos	2	Solos Litólicos/ Latossolo Vermelho-Amarelo
Litologia	3	Arenito vermelho/ Argilito-siltito-arenito/ Calcário silicificado
Unidades geomorfológicas	2	Vão dos Córregos/ Planalto do Morro do Chapéu
Observações: vista ao Morro do Chapéu, morro que nomela o município.		

Quadro 22. Ponto de visitação 13 – Morro do Chapéu.



Morro do Chapéu : P13
 ndice de geodiversidade = 6

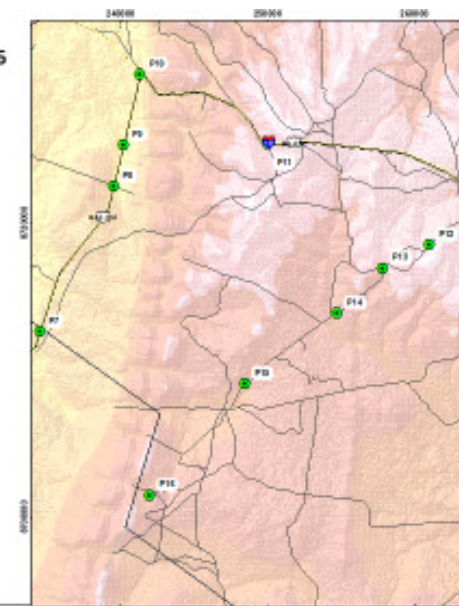


Elementos abióticos	Eg	Descri�o
Ocorrência mineral	0	
Hidrografia	1	Segunda ordem
Estrutura geológica	0	
Solos	2	Podzólico Vermelho_Amarelo �lico/ Latossolo Vermelho-Amarelo.
Litologia	1	Argilito-arenito
Unidades geomorfológicas	2	V�o dos córregos,/Planalto do Morro do Chapéu
Observa�es: Pontos � norte, noroeste e oeste com valores altos do �ndice devido � presença de falhas.		

Quadro 23. Ponto de visitação 14 – Morro do Chapéu.



Morro do Chapéu : P14
 ndice de geodiversidade = 6

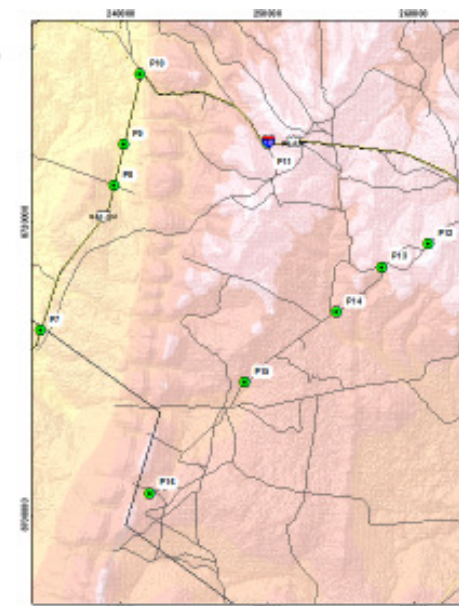


Elementos abióticos	Eg	Descri�o
Ocorrência mineral	0	
Hidrografia	1	Quarta ordem
Estrutura geológica	0	
Solos	2	Podzólico/ Latossolo
Litologia	2	Altera�es residuais areno-argilas/ Argilito-arenito
Unidades geomorfológicas	1	V�o de córregos
Observa�es: Presença de campos de Murundus. Rio sentido norte-sul entalhado em vale em U.		

Quadro 24. Ponto de visitação 15 – Morro do Chapéu.



Morro do Chapéu : P15
 ndice de geodiversidade = 9

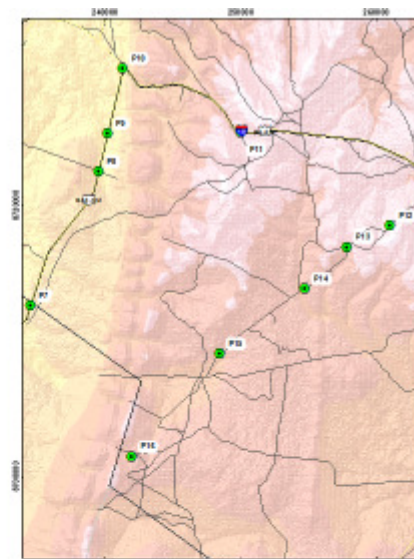


Elementos abióticos	Eg	Descri�o
Ocorrência mineral	0	
Hidrografia	2	Primeira e segunda ordens
Estrutura geológica	1	
Solos	2	Podzólico/ Latossolo
Litologia	2	Siltito/ Argilito-arenito
Unidades geomorfológicas	2	Planalto de Lagoinha/ Encosta ocidental
Observa�es: Vista sentido oeste para os campos de "cataventos" produtores de energia eólica ao final sentido sul da Encosta ocidental.		

Quadro 25. Ponto de visitação 16 – Morro do Chapéu.



Morro do Chapéu : P16
 ndice de geodiversidade = 5



Elementos abióticos	Eg	Descri�o
Ocorrência mineral	0	
Hidrografia	0	
Estrutura geológica	0	
Solos	2	Latossolo/ Podzólico
Litologia	1	Argilito-arenito
Unidades geomorfológicas	2	Encosta ocidental/ Planalto de Lagoinha
Observa�es:		

Foi constatado em campo a dificuldade de se perceber a riqueza de elementos abióticos utilizando os mapas baseados em Serrano & Ruiz-Flaño, (2007). Já para os mapas com os índices extraídos a partir de grades, os valores dos índices gerados foram compatíveis com a realidade em campo. Entretanto, notou-se que quanto menor for a grade (exemplo 0,25 km²) maiores chances dos valores serem menores devido a abrangência, principalmente quando os elementos abióticos têm suas feições representadas por pontos e linhas. Além disso, existe a agravante posição geográfica de grade, que a depender de sua localização pode incluir ou excluir elementos da geodiversidade. Isso ocorre porque a posição da grade é gerada por *default* no *software* a partir do polígono da área de estudo.

A partir destas análises pode-se afirmar que, o uso do cálculo para área mínima mapeável (AMM) não possibilitou melhor percepção da riqueza de elementos, principalmente quando as observações alcançavam longas distâncias. Apesar disso, não se descarta o uso de AMM já que tem a função de indicar um valor mínimo de referência como critério para escolha da grade ideal.

Já em grades maiores como as grades de 25 km², a percepção in loco da riqueza de elementos abióticos se perde, por conta da excessiva abrangência. Portanto, dentre os mapas com diferentes grades levados a campo, o que teve melhor desempenho para se perceber a geodiversidade foi o de grade 1 km².

5.4 Proposta de avaliação: hotspots de geodiversidade.

Para se tentar uma saída no dilema sobre a escolha de grades, foi proposto neste trabalho o cálculo de média entre grades resultando em um único produto. Para simplificar o modelo e minimizar os problemas já discutidos sobre a superestimação dos índices, causados por representações cartográficas de pontos e linhas. Propõe-se aqui apenas utilizar os elementos abióticos estruturantes discutidos por (FORTE, 2014) para se gerar os subíndices e os índices a partir de grades 0,25 km², 1 km², 1,25 km² e 4 km². Na figura 24 e figura 25 são mostrados os resultados dos índices nos diferentes tamanhos e tipos de grade para área do PNCD e na figura 26 e figura 27 para o município de Morro do Chapéu.

Figura 24. Índice de geodiversidade com as variáveis estruturantes extraídas por grades hexagonais – PNCD.

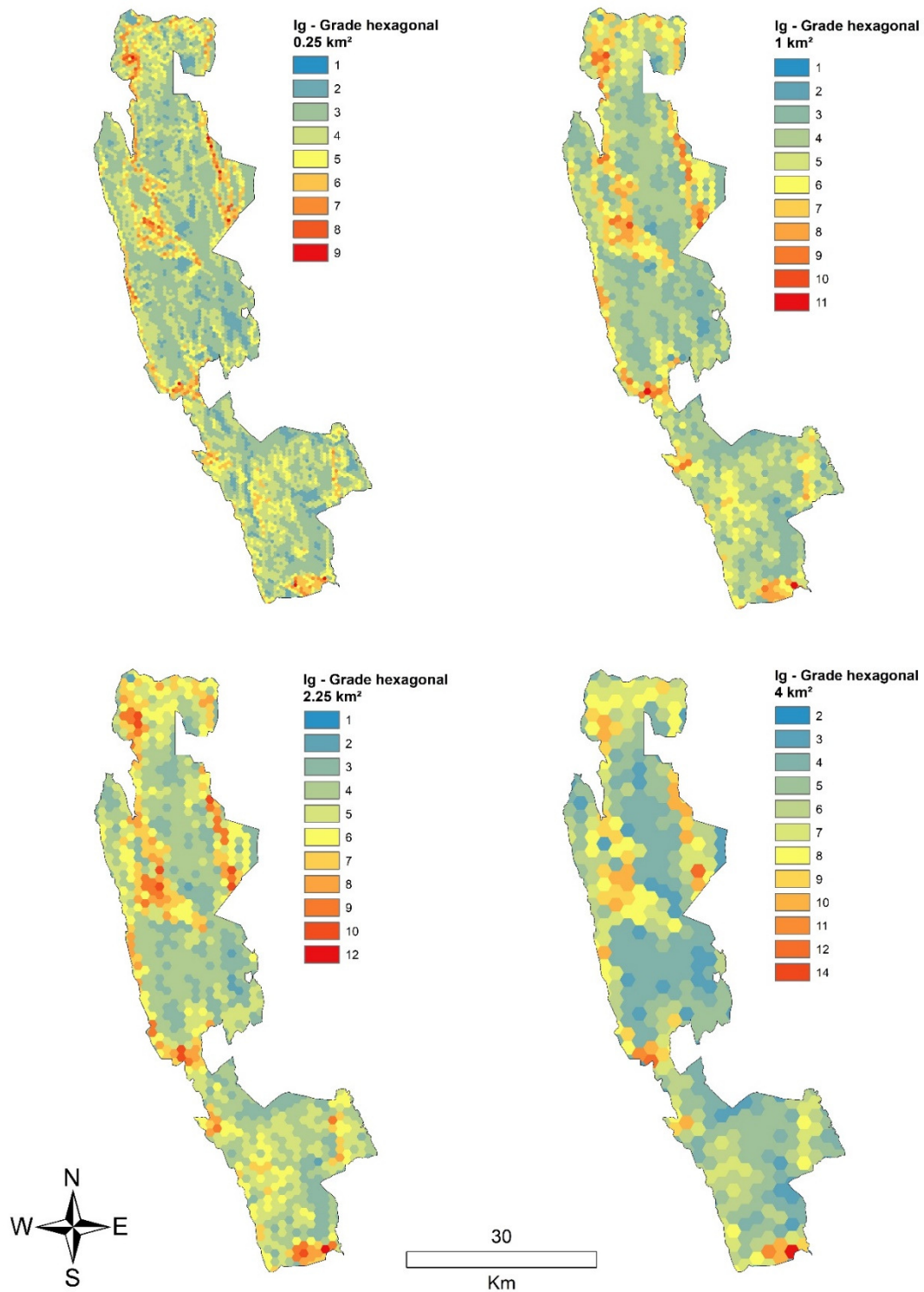


Figura 25. Índice de geodiversidade com as variáveis estruturantes extraídas por grades quadradas - PNCD

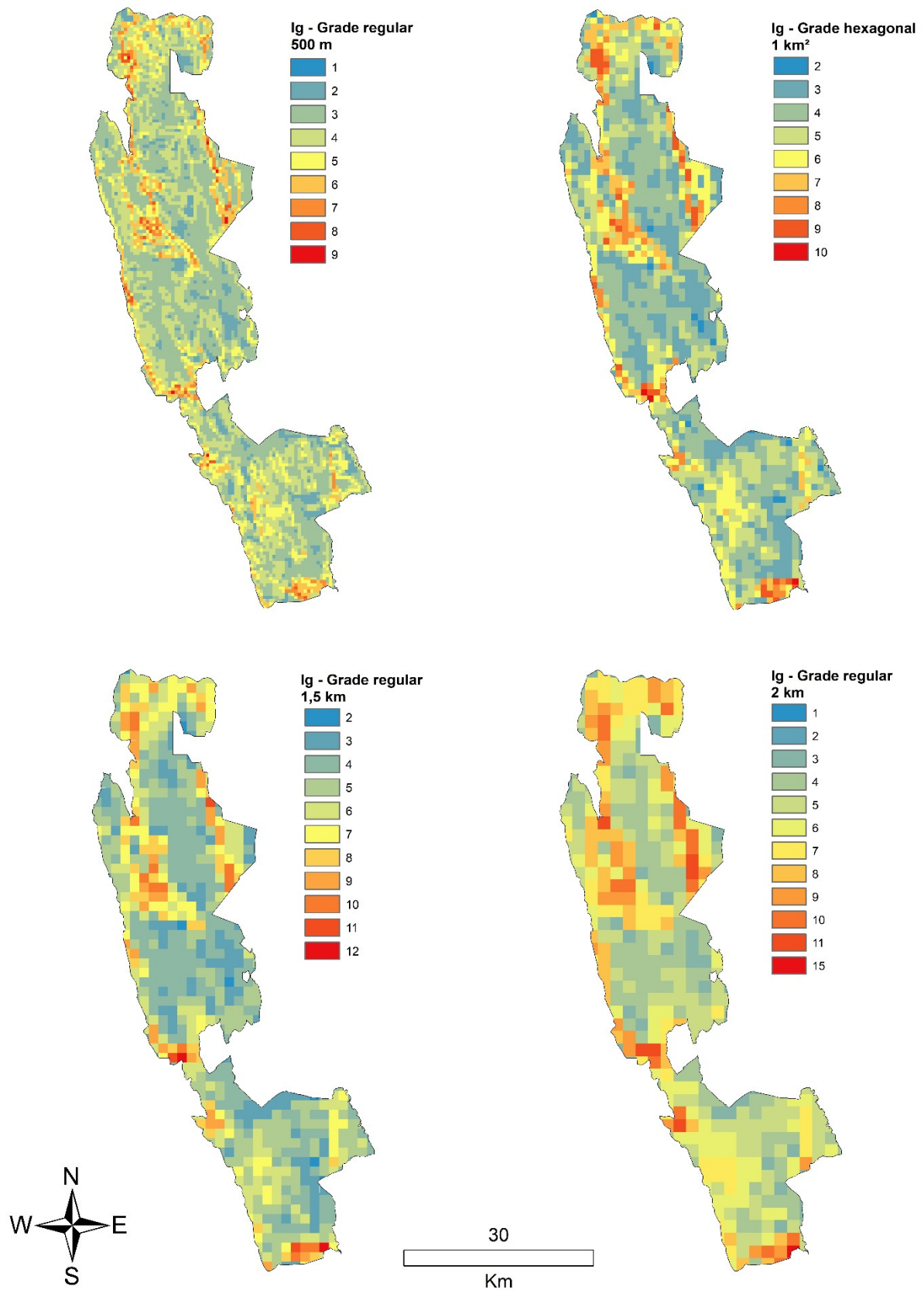


Figura 26. Índice de geodiversidade com as variáveis estruturantes extraídas por grades hexagonais – Morro do Chapéu.

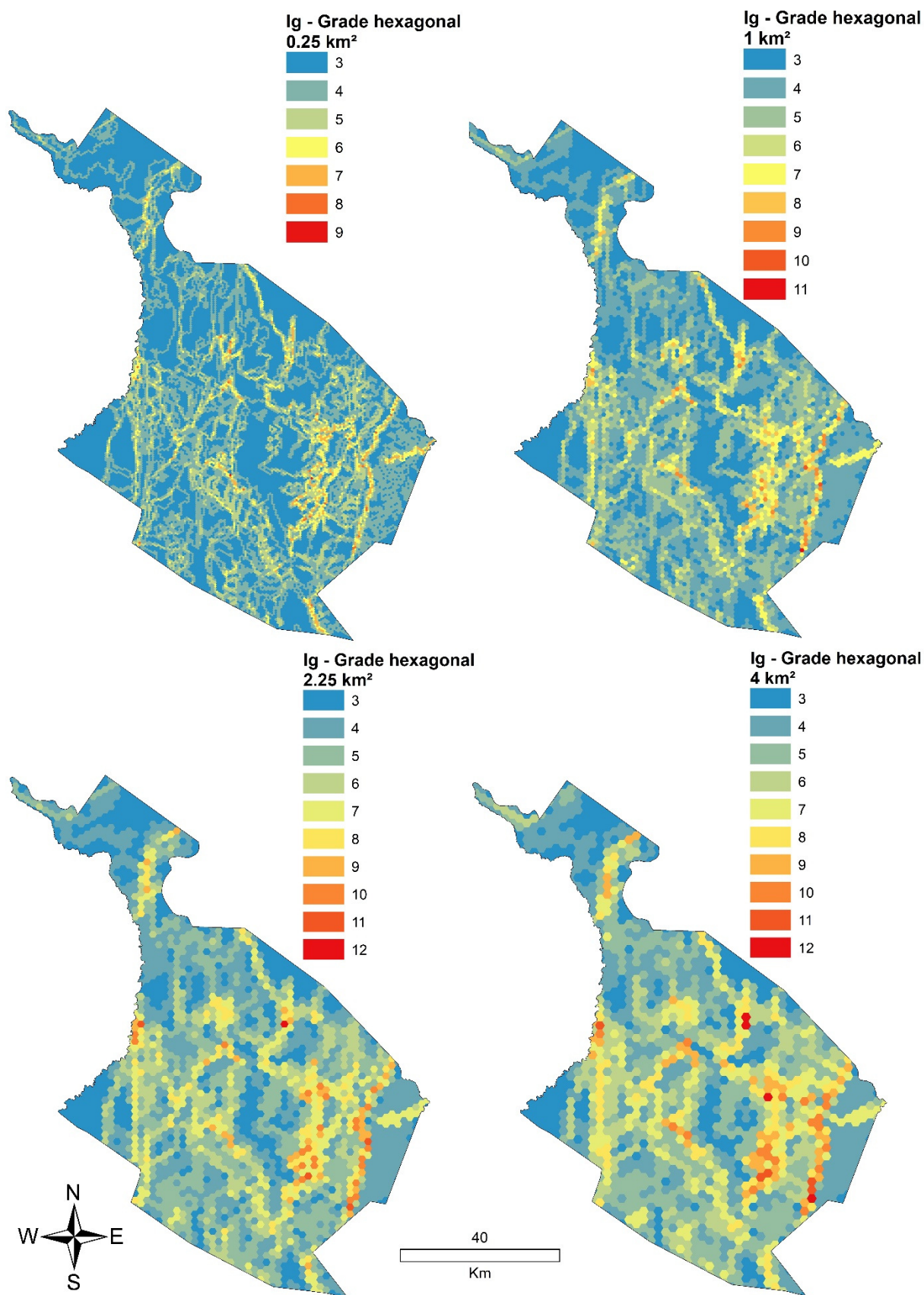
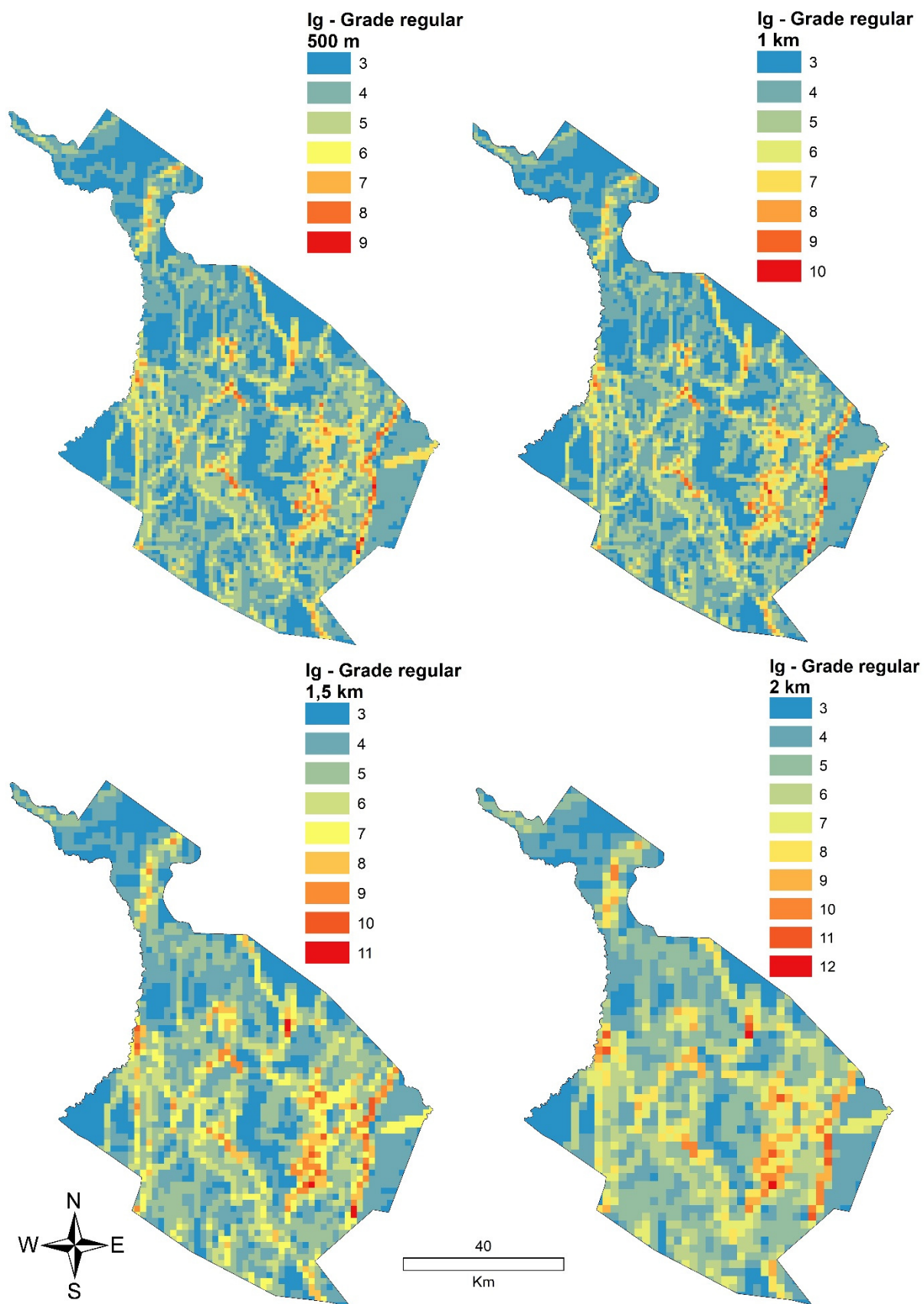


Figura 27. Índice de geodiversidade com as variáveis estruturantes extraídas por grades quadradas – Morro do Chapéu.



Após convertidos os dados vetoriais para matriciais com células medindo 30x30, utilizou-se álgebra de mapas, onde o resultado do cálculo de média aritmética pode ser visto na figura 28 do PNCD e para Morro do Chapéu na figura 29

Figura 28. Média aritmética dos valores dos índices calculados por diferentes grades.

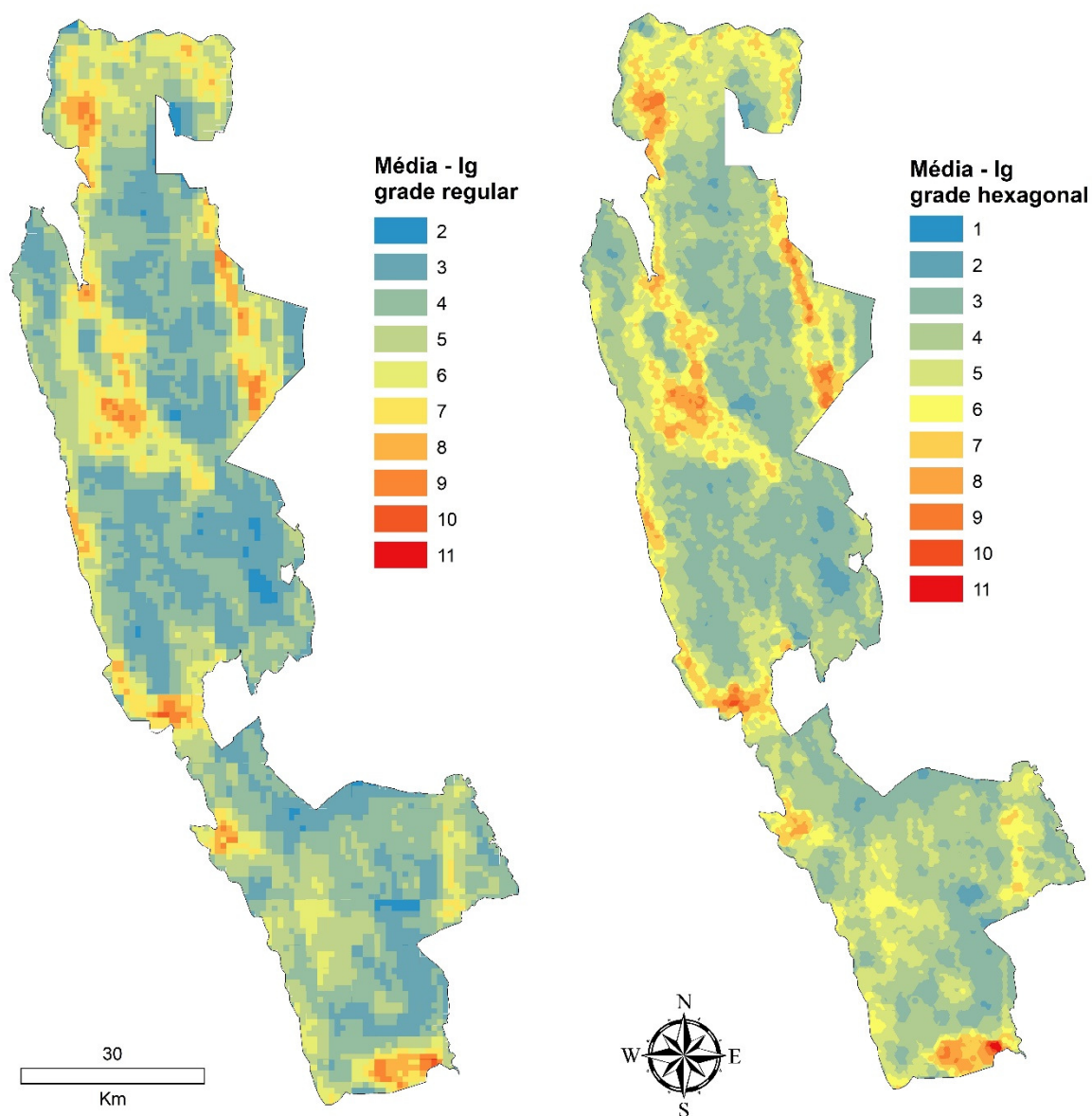
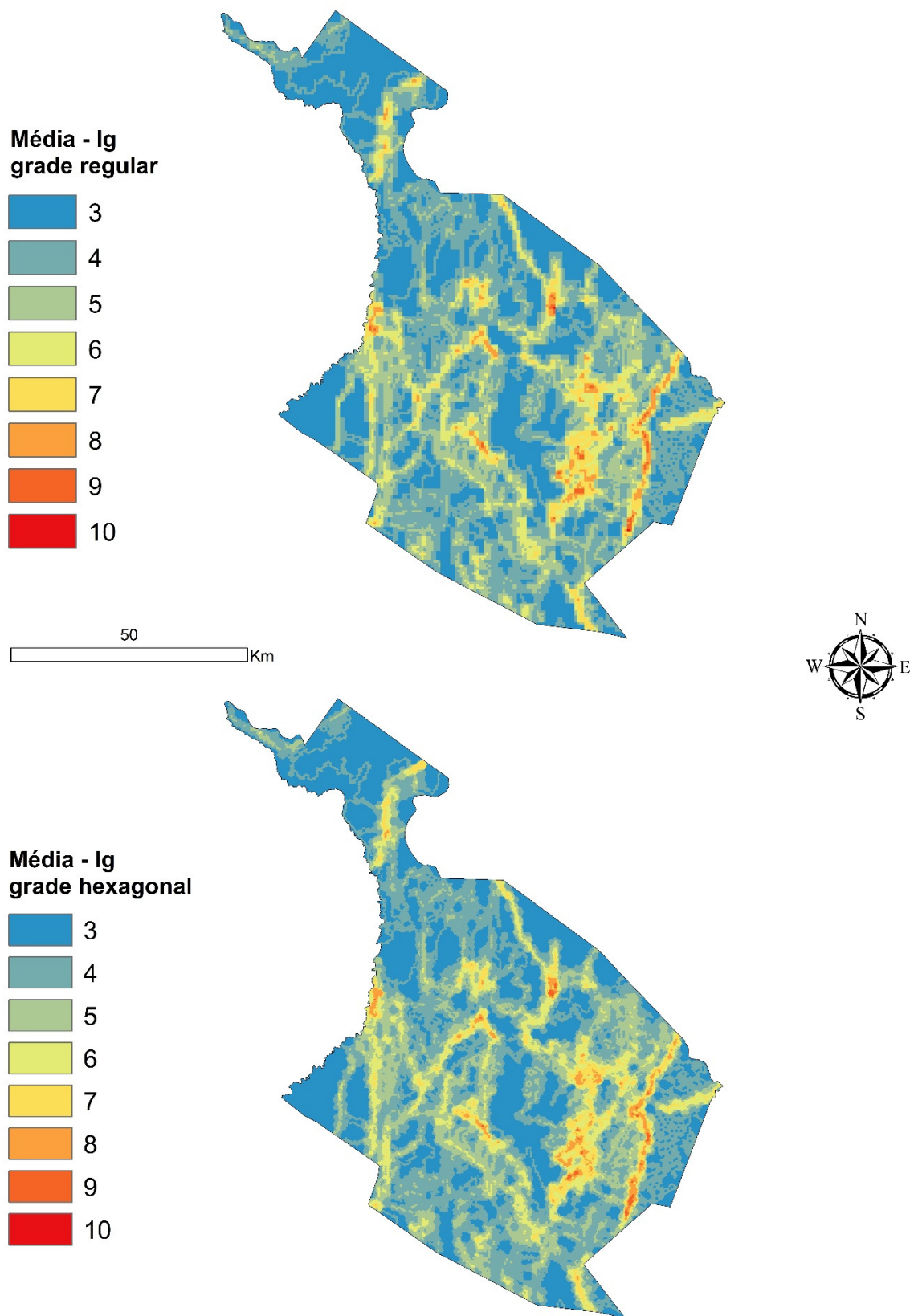


Figura 29. Média aritmética dos valores dos índices calculados por diferentes grades.



Para verificar coesão no modelo criado a partir da média entre índices calculou-se o coeficiente Gamma (quadro 26) e coeficiente de incerteza (quadro 27). Quando utilizada a grade 25 km² a média teve pouca representatividade no universo amostral. Já quando utilizadas as grades 0,25 km², 1 km², 2,25 km² e 4 km² houve resultado positivo (acima de 80%) e assim o modelo foi ajustado. Com isso, pode se dizer que a opção por se calcular a média dos índices é uma opção menos subjetiva que escolher por palpite o tamanho da grade, no entanto requer ajustes.

Quadro 26. Validação do índice médio por teste Gamma.

lg	lg médio – hexagonal	lg médio – quadrado
0,25 km ²	0,844	0,827
1 km ²	0,927	0,912
2,25 km ²	0,928	0,93
4 km ²	0,885	0,896

Quadro 27. Validação do índice médio por teste de incerteza.

lg	lg médio – hexagonal	lg médio – quadrado
0,25 km ²	0,801	0,796
1 km ²	0,889	0,882
2,25 km ²	0,889	0,89
4 km ²	0,854	0,865

Após calculado o novo índice de geodiversidade, foi feita modelagem para definição de *hotspots* e *coldspots* nas duas áreas piloto. Para esta tarefa utilizaram-se análise de *clusters* Moran local e Getis – Ord (Gi). Os resultados são mostrados na figura 30, onde tem – se O PNCD com Getis – Ord (Gi) calculado para as grades hexagonal e quadrada. E também é mostrado o mapa de *hotspots* e *coldspots* calculados a partir de Moran local e Getis – Ord (Gi) para a grade hexagonal (figura 32), e para a grade quadrada (figura 33).

Figura 30. Mapa de *hotspots* e *coldspots* de geodiversidade em diferentes grades – PNCD, a partir do cálculo Getis – Ord.

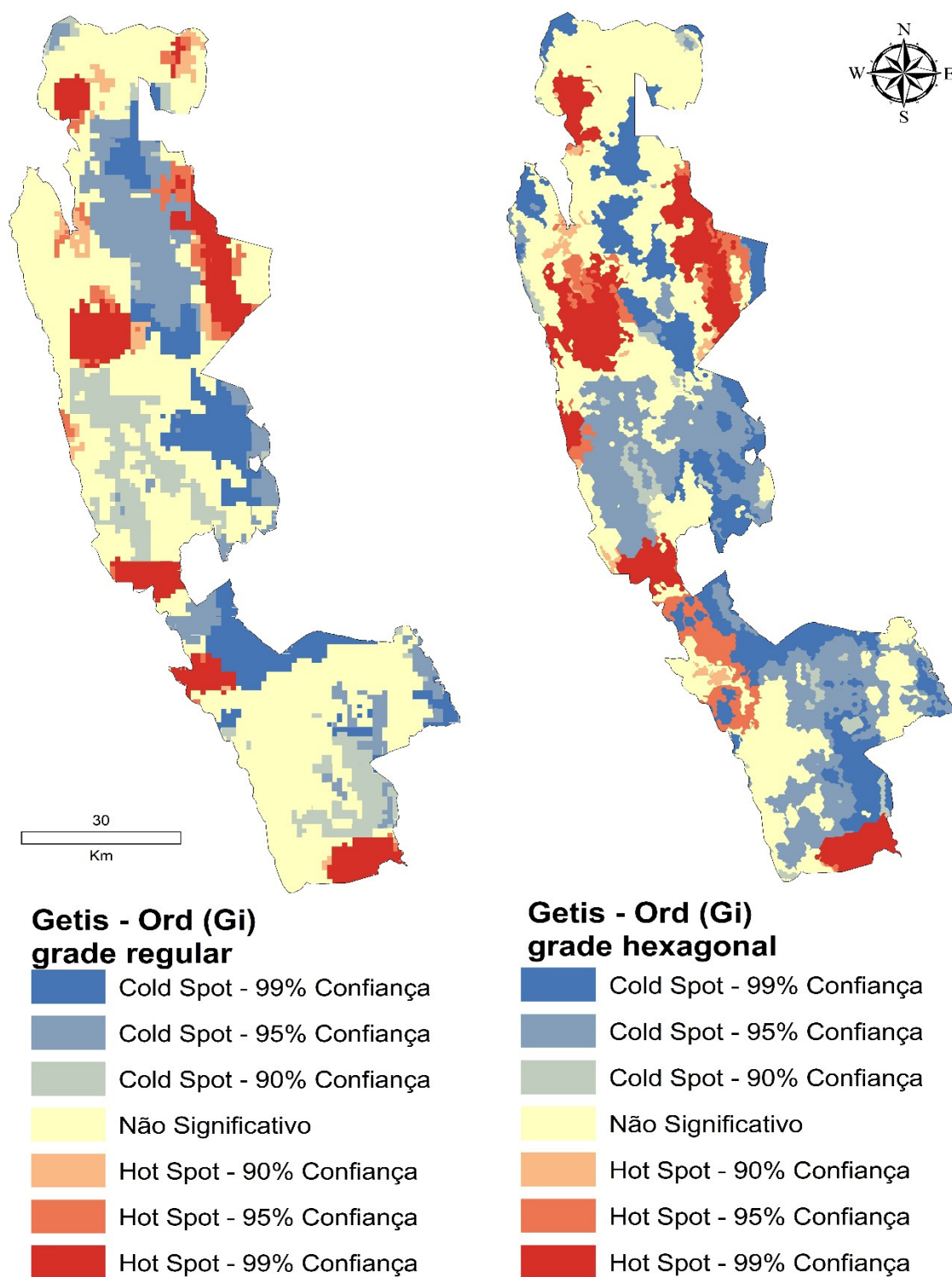


Figura 31. Mapa de *hotspots* e *coldspots* de geodiversidade em diferentes grades – PNCD a partir do cálculo de Moran local.

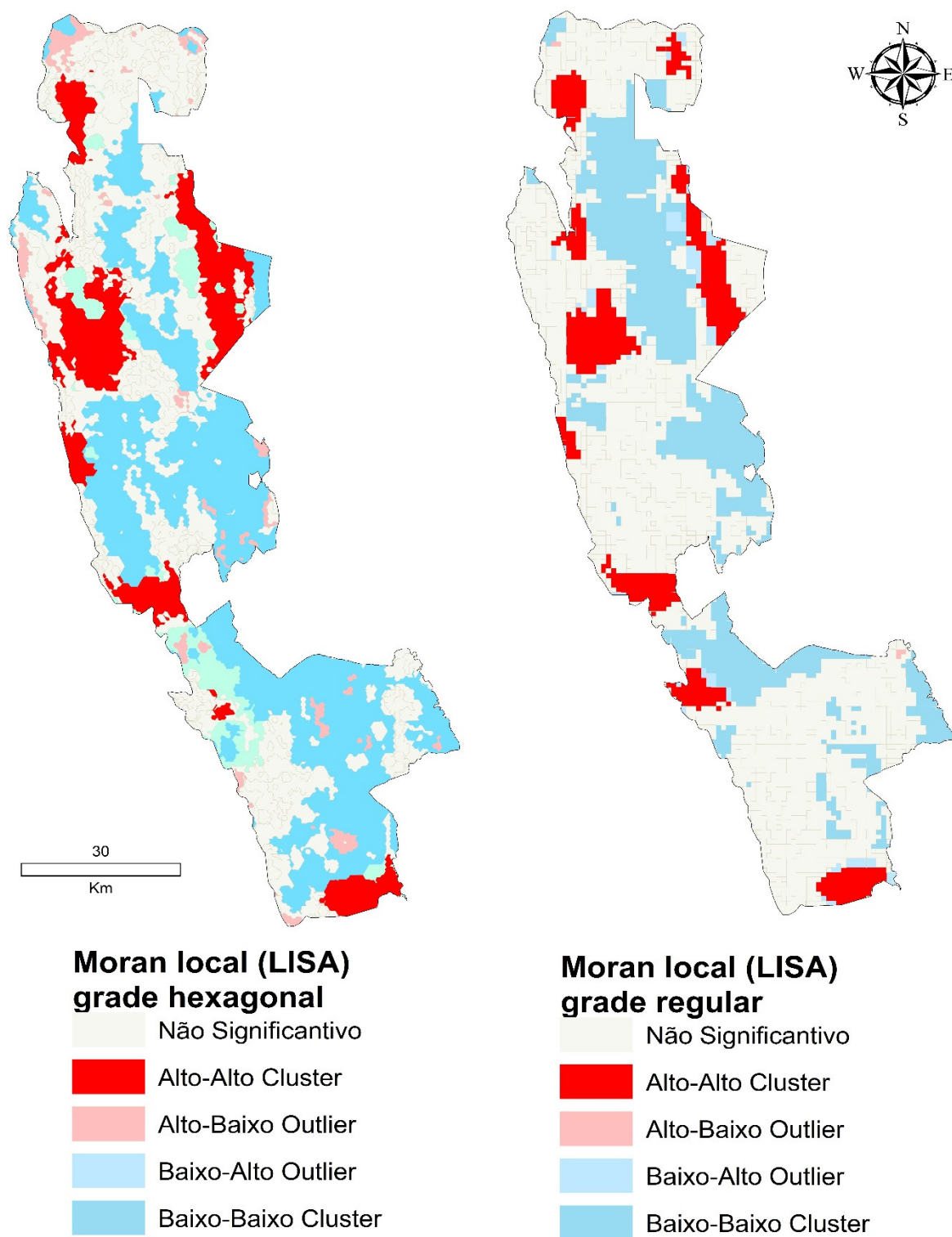


Figura 32. Mapa de *hotspots* e *coldspots* de geodiversidade em grade hexagonal – Morro do Chapéu a partir do cálculo de Moran local e Getis – Ord (Gi).

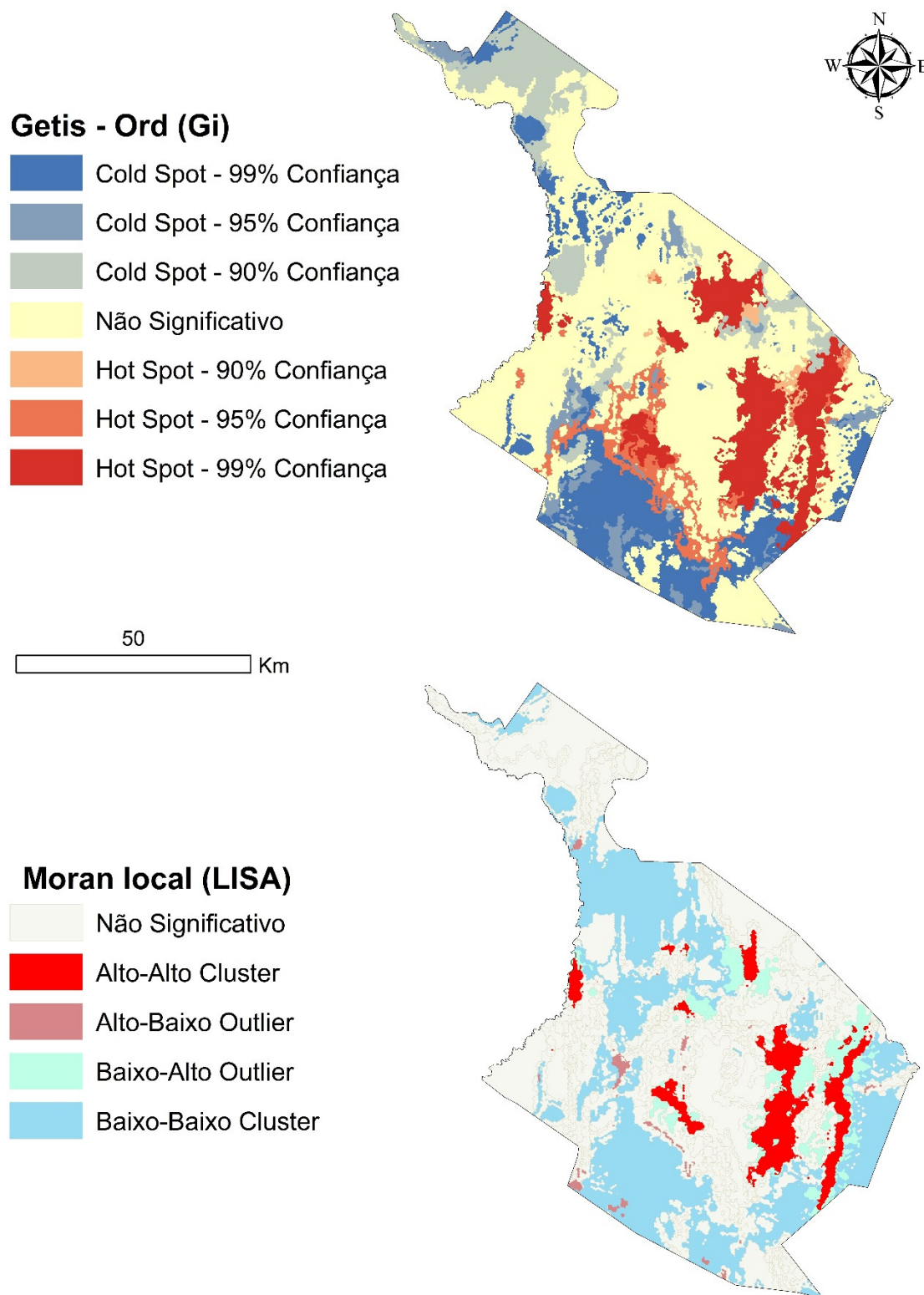


Figura 33. Mapa de *hotspots* e *coldspots* de geodiversidade em grade hexagonal – Morro, a partir do cálculo de Moran local e Getis – Ord (Gi).

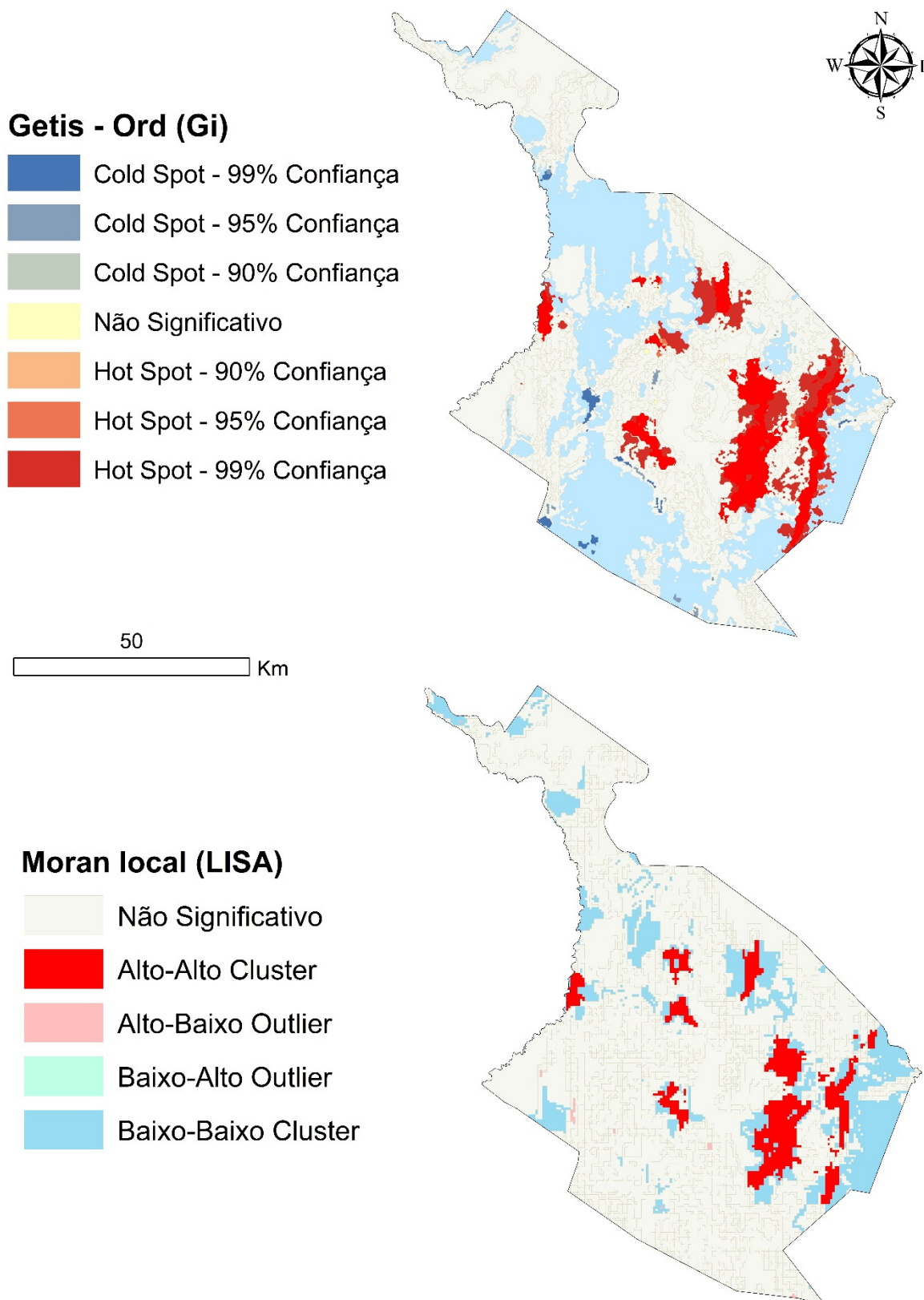
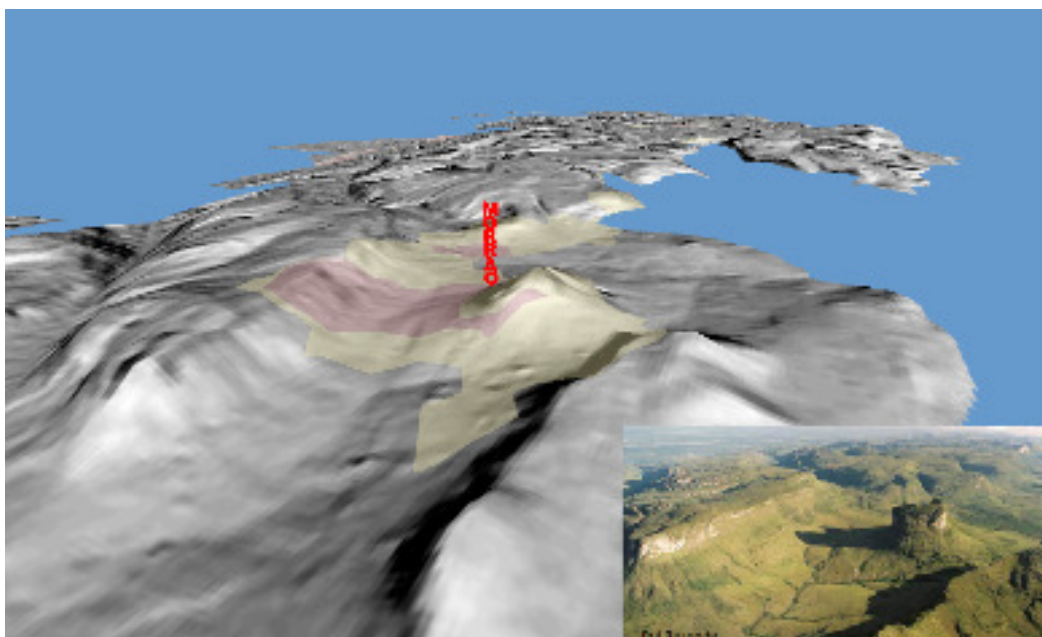
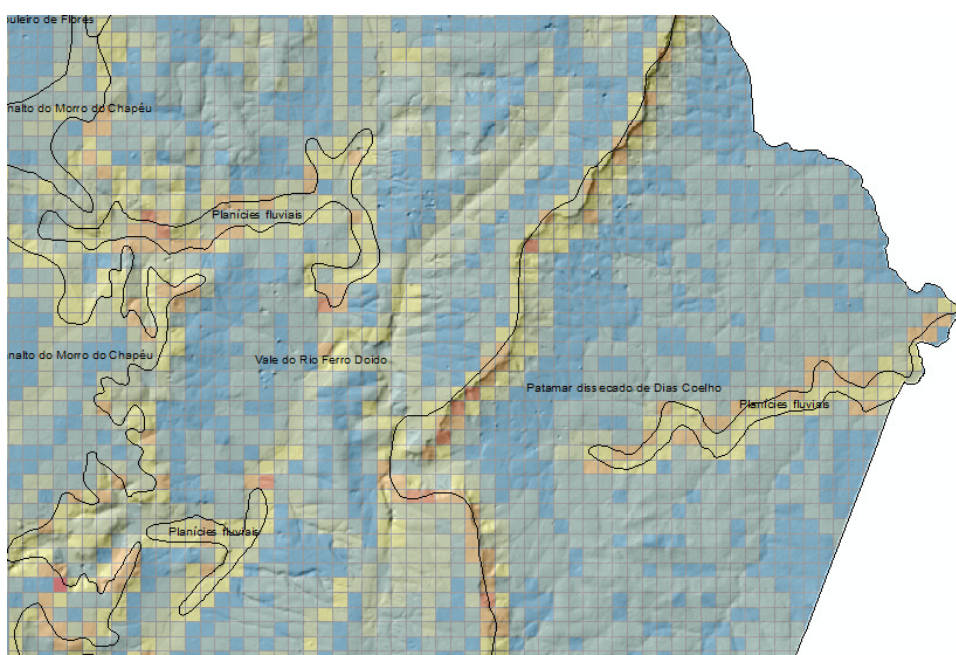


Figura 34. Vista oblíqua em 3D no sentido Norte-Sul da região de Águas Claras, setor norte do PNCD.



No modelo em 3 dimensões mostrado na figura 34, observa-se a região de Águas Claras e ao final do vale um testemunho conhecido como Morrão inserido parcialmente em uma área de *hotspots*. Em Morro do Chapéu (figura 35) as áreas de *hotspots* coincidiram com áreas de maiores contatos como o contato com o Planalto Dissecado Dias Coelho com o Vale do Rio Ferro Doido.

Figura 35. Exemplo de *hotspots* de geodiversidade em Morro do Chapéu.



6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante a realização da dissertação, assumiu-se o desafio de aplicar os métodos de Serrano & Ruiz – Flaño (2007) e de Pereira et al., (2013) no Parque Nacional da Chapada Diamantina e Morro do Chapéu utilizando dados em escalas diferentes. Como meta de pesquisa foi avaliado o desempenho das propostas de quantificação da geodiversidade utilizando estatística espacial e análise qualitativa. Além disso, algumas lacunas ou equívocos metodológicos foram apontadas, acrescidas de sugestões e recomendações, com intuito de se melhorar as propostas.

O cuidado que se teve em analisar metodologias de quantificação da geodiversidade traz aspectos importantes para comunidade científica, pois, além de se tratar de métodos ainda em fase de testes, haviam carências nas discussões metodológicas, análise crítica adequada e análise de sensibilidade. Outro aspecto positivo deste trabalho veio por meio da escolha da área de pesquisa, a região Chapada Diamantina, que é umas das regiões mais importantes e emblemáticas da Bahia. E por fim, este estudo pode ser aproveitado fora dos limites da academia – o que é importante no contexto atual por proporcionar um retorno da pesquisa científica para os gestores de territórios que devem ser protegidos por sua fragilidade ou importância patrimonial.

Em vista dos argumentos apresentados foram pontuadas as principais conclusões deste trabalho e as recomendações decorrentes:

- Para áreas com fortes variações de declividade, a inclusão do coeficiente de rugosidade contribui para determinação dos valores do índice de geodiversidade (Gd). Em áreas planas com declividade inferiores a 5° o coeficiente de rugosidade não interfere no valor final. Outras pesquisas que utilizam métodos indiretos para avaliar a geodiversidade devem ser desenvolvidas, assim como testar outras formas de se extrair a rugosidade da paisagem.
- Foi constatado paradoxo na formula do índice de geodiversidade de Serrano & Ruiz-Flaño em relação ao uso de \ln como denominador. Conclui-se que, áreas menores que o número de Euler geram índices hipervalorizados, e a depender dos limiares na escala logarítmica, territórios com variação de tamanho entre Unidades podem ter o índice de geodiversidade superestimados ou subestimado. Portanto, essa limitação do método estudado traz a luz a importância de se fazer auditoria dos dados antes de incorporá-los a modelagem.

- Não há padronização ou recomendações em relação ao tamanho de grade com a escala cartográfica. No entanto, deve-se usar o cálculo de área mínima mapeável (AMM) como parâmetro em relação ao tamanho mínimo da grade. Portanto, é necessário avançar em estudos que objetivem criar parâmetros cartográficos que envolvam as escalas dos mapas base com os tamanhos máximos de grade.
- A representação da geodiversidade por pontos e por linhas pode superestimar o índice (I_g), principalmente se os atributos forem de mesma natureza e serem contados de forma distinta. Recomenda-se o uso dos elementos representados por pontos de forma sobreposta ao mapa de geodiversidade. Deve-se avançar em estudos que objetivem incluir de forma ponderada esses atributos representados por pontos e linhas.
- As comparações entre grade regular quadrada e hexagonal para extração dos valores de geodiversidade não foram conclusivos. São necessários novos estudos, aprofundar na base teórica e metodológica sobre modelagem espacial com grades hexagonais, para decidir qual das grades confere melhores resultados.
- Os índices gerados a partir de bases cartográficas ao milionésimo carecem de estudos. Deve-se buscar quais elementos e os níveis da geodiversidade devem se incluir no modelo para escalas pequenas.
- Os mapas de intensidade de geodiversidade que podem também ser chamados de mapas de *hotspots* e *coldspots* podem servir tanto ao usuário sem conhecimentos em geociências (público em geral), quanto a profissionais da área, para visualização da complexidade dos componentes abióticos da paisagem de forma mais clara. Apesar destes mapas da riqueza de geodiversidade ser indicados como ferramentas úteis para planejamento territorial, patrimonial e preservação do meio ambiente, pesquisas futuras devem aprofundar sobre a capacidade prática destes instrumentos de análise. Além disso, os termos e a semântica empregada na quantificação da geodiversidade devem continuar padronizando.
- Ainda há um enorme campo de pesquisa sobre a temática “quantificação da geodiversidade”, principalmente a respeito das adaptações feitas a partir das ciências biológicas. Além da “riqueza” e “abundância”, outros conceitos como “dominância”, “uniformidade” e “raridade” devem ser aprimorados e incorporados para avaliação da geodiversidade.

REFERÊNCIAS

AUSTRALIAN HERITAGE COMMISSION et al., Australian Natural Heritage Charter for conservation of places of natural heritage significance. **Australian Heritage Commission in association with Australian Committee for IUCN. Sydney, 2002.**

ARAÚJO, A. M.; PEREIRA, D. Í. A New Methodological Contribution for the Geodiversity Assessment: Applicability to Ceará State (Brazil). **Geoheritage**, p. 1-15, 2016.

ARRUDA, K. E. C. **Geodiversidade do município de Araripina-PE, Nordeste do Brasil.** Dissertação de mestrado, UFPE, Recife, 178p. 2013

ARGYRIOU, A. V.; SARRIS, A.; TEEUW, R. M. Using geoinformatics and geomorphometrics to quantify the geodiversity of Crete, Greece. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 51, p. 47-59, 2016.

BAHIA. **Decreto 10359 de 23 de maio de 2007.** Aprova o Regimento da Secretaria do Planejamento.

BENITO-CALVO, A. et al. Assessing regional geodiversity: the Iberian Peninsula. **Earth surface processes and landforms**, v. 34, n. 10, p. 1433-1445, 2009.

BERRY, J. K. Topic 13: Creating Variable-Width Buffers. **Beyond Mapping III: Procedures and Applications in GIS Modeling. Published by Berry & Associates. Spatial Information Systems**, Inc, online book. Available at: www.innovativegis.com/basis/MapAnalysis, 2007.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**, n. 13, p. 1-27, 1971.

BOLÓS, M. C. Problemática Actual de los Estudios de Paisaje Integrado. **Revista de Geografia**, Barcelona, 1981. v.15, 1-2, p.45-68

BRASIL, P. N. U. D. Desenvolvimento humano e IDH. <http://www.pnud.org.br/idh/>. Acesso em, v. 17, p. nov, 2017.

BRASIL. **Decreto nº 91.655, de 17 de setembro de 1985.** Cria o Parque Nacional Chapada Diamantina. Brasília, DF, 18 set. 1985. Disponível em: <www2.camara.gov.br/leg/fed/decret/1980-1985/>. Acesso em 15 Out. 2011.

BRILHA, J. Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review. **Geoheritage**, 2015. DOI 10.1007/s12371-014-0139-3

_____. **Patrimônio Geológico e Geoconservação: a Conservação da Natureza na sua Vertente Geológica.** 1. ed. Braga: Palimage Editores, 2005, 190p.

BRITO, F. E. M. **Os Ecos Contraditórios do Turismo na Chapada Diamantina**. Salvador: Edufba, 2005.

BRUSCHI, V. M. & CENDRERO, A. Geosite Evaluation; Can We Measure Intangible Values? II Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences. 18(1) – Volume Speciale, p. 293-306. 2005.

BURNETT, M. R; AUGUST, P. V; BROWN, J. H; KILLINGBECK, K. T. 1998. The influence of geomorphological heterogeneity on biodiversity. I. A patch-scale perspective. **Conserv Biol** 12(2):363–370.

CARCAVILLA, L.; DURÁN, J. J.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. Geodiversidad: concepto y relación con el patrimonio geológico. **Geo-Temas**, v. 10, n. 2008, p. 1299-1303, 2008.

CARVALHO, H.D.S de. **Modelagem espacial do potencial turístico de antigas trilhas garimpeiras na vila de Iगतu, Chapada Diamantina-BA**. 2006.

CHAVES, M. L. de Sá C.; BRANDÃO, P. R. G. Diamante variedade carbonado na Serra do Espinhaço (MG/BA) e sua enigmática gênese. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 57, n. 1, p. 33-38, 2004.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

CPRM. **Projeto Chapada Diamantina: Parque Nacional da Chapada Diamantina – BA: Informações Básicas para Gestão Territorial: Diagnóstico do Meio Físico e da Vegetação**. Salvador: CPRM: IBAMA, 104 p.,il.;9 mapas. 1994.

_____. 2006. Mapa Geodiversidade Brasil: Escala 1:2.500.000. Ministério das Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Serviço Geológico do Brasil. Brasília/DF- Brasil. 68p. CD-ROM.

COUSINS, S. H. Species diversity measurement: choosing the right index. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 6, n. 6, p. 190-192, 1991.

CORATZA, P. & GIUSTI, C. Methodological proposal for the assessment of the Scientific Quality of Geomorphosites. II Quaternario, **Italian Journal of Quaternary Sciences**. 18(1) – Volume Speciale, 307–313 p. 2005.

CROFTS, R. Promoting geodiversity: learning lessons from biodiversity. **Proceedings of the Geologists' Association**, v. 125, n. 3, p. 263-266, 2014.

CROUX, C; DEHON, C. Influence functions of the Spearman and Kendall correlation measures. **Statistical methods & applications**, v. 19, n. 4, p. 497-515, 2010.

CUSHMAN, S. A.; MCGARIGAL, K.; NEEL, M. C. Parsimony in landscape metrics: strength, universality, and consistency. **Ecological indicators**, v. 8, n. 5, p. 691-703, 2008.

DUFF, K. Natural Areas: an holistic approach to conservation based on geology. **Geological and landscape conservation**, p. 121-126, 1994.

DANTAS M.E., ARMESTO R.C.G., SILVA C.R., SHINZATO E. 2015. Geodiversidade e análise da paisagem: uma abordagem teórico-metodológica. **Terræ Didactica**, 11(1):04-13.

EBERHARD, R. (Ed.). **Pattern & Process: Towards a Regional Approach for National Estate Assessment of Geodiversity: Report of a Workshop Held at the Australian Heritage Commission on 26 July 1996**. Environment Australia, 1997.

ENGERING, S & BARRON, H F. Doncaster Geodiversity Assessment. **British Geological Survey Commissioned Report, CR/07/025N**. 139pp. 2007.

FORBES, T. et al. **Guidelines for evaluating the adequacy of soil resource inventories**. 1982.

FORTE, J. P. et al. Kernel Density Applied to the Quantitative Assessment of Geodiversity. **Geoheritage**, p. 1-13, 2018.

FORTE, J. P. **Avaliação quantitativa da geodiversidade: desenvolvimento de instrumentos metodológicos com aplicação ao ordenamento do território**. Tese de Doutorado – Escola de Ciências, Universidade do Minho. 2014

FRANKEL, K. L.; DOLAN, J. F. Characterizing arid region alluvial fan surface roughness with airborne laser swath mapping digital topographic data. **Journal of Geophysical Research: Earth Surface**, v. 112, n. F2, 2007.

GARCÍA-CORTÉS A. & URQUÍ L. C. -2009- Documento metodológico para la elaboración del inventario Español de lugares de interés geológico (IELIG). Version 11, 12-03-2009. **Instituto Geológico y Minero de España**.

GETIS, A.; ORD, J. K. The analysis of spatial association by use of distance statistics. **Geographical analysis**, v. 24, n. 3, p. 189-206, 1992.

GRAY, M. Geodiversity: developing the paradigm. **Proceedings of the Geologists' Association**, v. 119, p. 287-298, 2008.

_____. Geodiversity and Geoconservation: what, why, and how? **Geodiversity & Geoconservation**, p. 4-12, 2005. Disponível em: <<http://www.georgewright.org/223gray.pdf>>. Acesso em: 10 out 2016.

_____. **Geodiversity — Valuing and Conserving Abiotic Nature**. New York: **John Wiley and Sons**, 2004.

GUERRA, A. J. T; MARÇAL, M. **Geomorfologia Ambiental**. São Paulo: Bertrand Brasil, 2006.

HOLE, F.D. An approach to landscape analysis with emphasis on soils. **Geoderma**, 21:1-23, 1978.

HJORT, J; LUOTO, M. Can geodiversity be predicted from space? **Geomorphology**, v. 153, p. 74-80, 2012.

HJORT, J; LUOTO, M. Geodiversity of high-latitude landscapes in northern Finland. **Geomorphology**, v. 115, n. 1-2, p. 109-116, 2010.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – **O conhecimento técnico-científico voltado para instrumentos de planejamento, de gestão ambiental, gerenciamento de bacias hidrográficas e zoneamento ambiental**. Brasília, 1994.

IBAÑEZ, J. J.; BOCKHEIM, J. G. (Ed.). **Pedodiversity**. CRC Press, 2013.

IBAÑEZ, J. J. et al. Pedodiversity: concepts and measures. **Catena**, v. 24, n. 3, p. 215-232, 1995.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico de pedologia**. 2.ed. Rio de Janeiro, IBGE, 2007. 320p.

JAČKOVÁ, K. ; ROMPORTL, D 2008 The relationship between geodiversity and habitat richness in Sumava National Park and Krivoklatsko Pla (Czech Republic): a quantitative analysis approach. **J Landsc Ecol** 1(1):23–38.

JENKS, G.F. The Data Model Concept in statistical mapping. **Int. Yearbook Cartogr.** 7, 186190. 1967.

JOHANSSON, C.E. ANDERSEN, S & M. ALAPASSI. Geodiversity in the Nordic Countries. In: **ProGeo News**. 2000 1-3p.

JORGE, M. do C. O.; GUERRA, A. J. T. Geodiversidade, Geoturismo e Geoconservação: Conceitos, Teorias e Métodos. **Espaço Aberto**, v. 6, n. 1, p. 151-174, 2016.

JUNCÁ, F. A.; FUNCH, L.; ROCHA, W. M. (Org.). **Biodiversidade e Conservação da Chapada Diamantina**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

KNIGHT, J. Evaluating geological heritage: correspondence on Ruban, DA 'Quantification of geodiversity and its loss' (PGA, 2010, 121 (3): 326-333). **Proceedings of the Geologists' Association**, v. 122, n. 3, p. 508-510, 2011.

KOZLOWSKI, S. 2004. The concept and scope of Geodiversity. **Przeglad Geologiczny**, 52:833-837.

LANG, S; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. Tradução Hermann Kux. São Paulo. Oficina de Textos, 2009.

LIMA, F. F. de. **Proposta Metodológica para a Inventariação do Patrimônio Geológico Brasileiro**. Tese de Mestrado. Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2008, 90p.

MAGURRAN, A. E. Ecological diversity and its measurements. **Croom Helm**, London, 179p. 1988.

MALINOWSKA, E.; SZUMACHER, I. Application of landscape metrics in the evaluation of geodiversity. **Miscellanea Geographica-Regional Studies on Development**, v. 17, n. 4, p. 28-33, 2013.

MANOSSO, Fernando César; DE NÓBREGA, Maria Teresa. Calculation of geodiversity from landscape units of the Cadeado Range region in Paraná, Brazil. **Geoheritage**, v. 8, n. 3, p. 189-199, 2016.

MANOSSO, F. C. & PELLITERO, R. O. 2012. Geodiversidade: Considerações Sobre Quantificação e Avaliação da Distribuição Espacial. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, 35-1:90-100.

MANOSSO, F. C. 2012. . Tese de Doutorado, Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Estadual de Maringá, 183 p.

MANTESSO-NETO, V. **Geodiversidade, geoconservação, geoturismo, patrimônio geológico, geoparque: novos conceitos nas geociências do século XXI**.(2008).Disponívelem:http://www.sugeologia.org/documentos/ACTAS%20VI%20CONGRESO%20URUGUAYO/trabajos/123_Mantesso-Neto_Virginio.pdf. Acesso em Nov. 2017.

MARTINS, E.; BARBOZA, E.; GRUBER, N. **Modelagem da Geodiversidade Costeira: A inclusão de processos ambientais como estratégia para a gestão costeira integrada**,III Simpósio Brasileiro de Patrimônio Geológico, "Anais..., Lençóis/BA",432 - 435, 2015, CACD/PPGM/UEFS

MARTINEZ, E. D., MONDÉJAR, F. G., PERELLÓ, J. M. M. e BOVÉ, C. de S. La conservación de La naturaleza debe incluir La geodiversidad y El patrimonio geológico como parte del patrimonio natural. **Tribuna de Opinón, Boletín de La sección del Estado Español de EUROPARC**, n.25, Mayo, 2008, 8p.

MELELLI, L. Geodiversity: a new quantitative index for natural protected areas enhancement. **GeoJournal of Tourism and Geosites**, v. 1, n. 13, p. 27-37, 2014.

MENESES, L. F; NASCIMENTO, M. Sistemas de Informação Geográfica Aplicados à Elaboração de Frameworks de Geodiversidade. **Revista Estudos Geoambientais**, v. 1, n. 1, 2014. Disponível em: <http://periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/geo>. Acesso em 14 de out de 2016.

MISI, A. & SILVA, M. da G. da. Chapada Diamantina Oriental – Bahia. Geologia e Depósitos. Minerais. Salvador/BA- Brasil; Secretaria da Indústria, Comércio e

Mineração / Superintendência de Geologia e Recursos Minerais- **Série Roteiros Geológicos**. 194 p. 1996.

MITCHELL, A. **The ESRI Guide to GIS Analysis**, Volume 2. ESRI Press, 2005.

MORAN, P. A. P. Notes on continuous stochastic phenomena. **Biometrika**, v. 37, n. 1/2, p. 17-23, 1950.

NAJWER, A. et al. Geodiversity and biodiversity of the postglacial landscape (Dębnica River catchment, Poland). **Quaestiones Geographicae**, v. 35, n. 1, p. 5-28, 2016.

NASCIMENTO, S. T. **Geodiversidade e geomorfologia antropogênica na região das minas de ouro no anticlinal de Mariana, MG**. 2016. 88f. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.

NASCIMENTO, M. A. L. do; RUCHKYS, U. A.; MANTESSO-NETO, V. **Geodiversidade, Geoconservação e Geoturismo -Trinômio importante para a proteção do patrimônio geológico**. SBGeo: São Paulo, 2008, 84p.

NIETO, L. M. Geodiversidad: propuesta de una definición integradora. **Boletín Geológico y Minero**, v. 112, n. 2, p. 3-12, 2001.

NICHOLS, W. F.; KILLINGBECK, K. T.; AUGUST, P. V. The influence of geomorphological heterogeneity on biodiversity II. A landscape perspective. **Conservation Biology**, v. 12, n. 2, p. 371-379, 1998.

NOLASCO, M. C. **Registros Geológicos Gerados Pelo Garimpo, Lavras Diamantinas – Bahia**. Tese (Doutorado em Geociências) – Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2002.

OLLIER, C. Problems of geotourism and geodiversity. **Quaestiones Geographicae**, v. 31, n. 3, p. 57-61, 2012.

ORD, J. K.; GETIS, A. Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and an application. **Geographical analysis**, v. 27, n. 4, p. 286-306, 1995.

PANIZZA, M. Geomorphosites: concepts, methods and examples of geomorphological survey. **Chinese science bulletin**, v. 46, n. 1, p. 4-5, 2001.

PEDREIRA, A. J. Serra do Sincorá, Chapada Diamantina, BA. Beleza paisagística e paleopláceres de diamantes. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. L. C. (Edit.). **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Brasília: DNPM/CPRM-SIGEP, 2002. Disponível em: <<http://sigep.cprm.gov.br/sitios.htm#Vol1>>. Acesso em: nov. 2016.

PELLITERO, R. GONZÁLEZ- AMUCHASTEGUI, MJ. RUIZ-FLAÑO, P. SERRANO, E. Geodiversity and geomorphosite assessment applied to a natural protected area: the Ebro and Rudron Gorges Natural Park (Spain). **Geoheritage** 3(3):163–174. 2011.

PEREIRA, E. O.; RUCHKYS, Ú.; PELLITERO, R. Modelagem da geodiversidade na Área de Proteção Ambiental Sul da região metropolitana de Belo Horizonte – MG. **Geonomos**, 21 (2): 97- 101. 2013.

PEREIRA, E. O. Aplicação dos Índices de Geodiversidade e Clusterização com o uso do K-Means. **Cadernos do LESTE**, 2017.

PEREIRA, E. O; RUCHKYS, Ú. Quantificação e Análise da Geodiversidade Aplicada ao Geoturismo na Área de Proteção Ambiental Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 37, p. 207-226, 2016.

PEREIRA, D; PEREIRA, P.; BRILHA, J.; SANTOS, L. 2013 – Geodiversity Assessment of Paraná State (Brazil): An Innovative Approach. **Environmental Management** 52: 541-552.

PEREIRA, R. G. F. A. **Geoconservação e desenvolvimento sustentável na Chapada Diamantina (Bahia-Brasil)**. Tese de Doutorado. Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2010, 295p.

PEREIRA, R. G. F. A; BRILHA, J. B. A inventariação do patrimônio geológico na Chapada Diamantina (Bahia/Brasil). In: **46º Congresso Brasileiro de Geologia**. SBG, 2012.

PEREIRA, P. J. da S. **Patrimônio Geomorfológico: conceptualização, avaliação e divulgação. Aplicação ao Parque Natural de Montesinho**. Tese de Doutorado em Ciências. Universidade do Minho. Braga-PT. 370 p. 2006.

PIELOU, E. C. **Ecological diversity**. New York, Wiley Interscience. 165 p. 1975.

PRALONG, J.P. A method for assessing tourist potential and use of geomorphological sites. **Géomorphologie: relief, processus, environment**, 2005, n.-3, p. 189-196.2005.

PROCHOROFF, R. **O patrimônio geológico de Ilhabela - SP: estratégias de geoconervação**. 2014. Dissertação (Mestrado em Mineralogia Experimental e Aplicada) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. doi:10.11606/D.44.2014.tde-02102014-091215. Acesso em: 2017-03-10.

REYNARD, Emmanuel; G., KOZLIK, L.; SCAPOZZA, C. A method for assessing “scientific” and “additional values” of geomorphosites. **Geographica Helvetica**, v. 62, n. 3, p. 148-158, 2007.

RICKLEFS, R. E. **Ecology**. 3ª ed. Freeman, United States of America, p.896. 1990.

RIVAS, V.; RIX, K.; FRANÉS, E.; CENDERO, A. & BRUNSDEN, D. Geomorphological indicators for environmental impact assessment: consumable and non-consumable geomorphological resources. **Geomorphology** 18(1997), p. 169-182. 1997

ROCHA, A. J. D.; COSTA, I. V. G. (Org.) **Projeto Mapas Municipais Município de Morro do Chapéu-Ba**. Ministério de Minas e Energia CPRM - Companhia de Pesquisa de recursos Minerais Prefeitura de Morro do Chapéu-Ba. 1995.

ROJAS, J. 2005. Los desafíos del estudio de la geodiversidad. **Revista Geográfica Venezolana** 46, 1: 143-152.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do departamento de Geografia**, v. 6, p. 17-29, 2011.

RUBAN, D. A. How diverse should be geodiversity? Reply to Knight "Evaluating geological heritage"(Proc. Geol. Assoc.(2011)). **Proceedings of the Geologists' Association**, v. 122, n. 3, p. 511-513, 2011.

RUBAN, D. A. Quantification of geodiversity and its loss. **Proceedings of the Geologists' Association**, v. 121, n. 3, p. 326-333, 2010.

RUCHKYS, Ú. de A.; MANSUR, K. L.; BENTO, L. C. M. A. Historical and Statistical Analysis of the Brazilian Academic Production, on Master's and PhD Level, on the Following Subjects: Geodiversity, Geological Heritage, Geotourism, Geoconservation and Geoparks. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 40, n. 1, 2017.

RUSS, B. R. **Avaliação do potencial do uso educacional da Gleba Manga do Céu**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia, 2012, 136p.

SANTOS, D. S. et al. Geodiversity Mapping and Relationship with Vegetation: A Regional-Scale Application in SE Brazil. **Geoheritage**, p. 1-17, 2018.

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

SANTUCCI, V. L. Historical perspectives on biodiversity and geodiversity. In: The George Wright Forum. George Wright Society, 2005. p. 29-34.

SERRANO, E.; GONZÁLEZ-TRUEBA, J. J. Assessment of geomorphosites in natural protected areas: the Picos de Europa National Park (Spain). **Géomorphologie: relief, processus, environnement**, v. 11, n. 3, p. 197-208, 2005.

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

SERRANO E.C.; RUIZ-FLAÑO P. Geodiversidad: concepto, evaluación y aplicación territorial: el caso de Tiermes Caracena (Soria). **Boletín de la asociación de geógrafos españoles**, n. 45, p. 79-98, 2007.

SHANNON, C.; WEAVER, W. The Mathematical Theory of Information. **Urbana: University of Illinois Press**, 1949.

SHARPLES, C. Concepts and principles of geoconservation. Published electronically on the **Tasmanian Parks & Wildlife Service** website, 2002. Disponível em: <http://dpiuwe.tas.gov.au/Documents/geoconservation.pdf>. Acesso out. 2016.

SIGEP. 2010. **Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos - SIGEP**. Disponível em: <http://www.unb.br/ig/sigep/sitios.htm>. Acesso em 11 de out de 2016.

SILVA, A de B. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas: Editora da Unicamp, 2003.

SILVA, A. C. **Modelagem da Geodiversidade e Identidade como suporte para roteiros geoturísticos: estudo de caso no Geoparque Morro Do Chapéu, Bahia**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia, 2016, 134p.

SILVA, J. P. et al., Mapping and analysis of geodiversity indices in the Xingu river basin, Amazonia, Brazil. **Geoheritage**, v. 7, n. 4, p. 337-350, 2015.

SILVA, J. P. et al., Geodiversity assessment of the Xingu drainage basin. **Journal of Maps**, v. 9, n. 2, p. 254-262, 2013.

SILVA, C. R. **Geodiversidade do Brasil: Conhecer o passado para entender o presente e prever o futuro**. Rio de Janeiro. CPRM, 2008.

SIMPSON, E. H. Measurement of diversity. **nature**, v. 163, n. 4148, p. 688, 1949.

SOULARD, C. E. et al. The role of fire on soil mounds and surface roughness in the Mojave Desert. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 38, n. 2, p. 111-121, 2013.

SOUZA, W.S.T. – **O mapeamento de unidades estratigráficas de caráter inter-regional a Chapada Diamantina, Bahia: fundamento para a integração dos estudos de estratigrafia geológica e do modelado da superfície**. Tese (Doutorado em Geologia Regional) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Unesp, Rio Claro-SP, 1998.

STANLEY, M. Geodiversity. **Earth Heritage**, v. 14, 2000, p. 15-18. Disponível em: <http://www.earthheritage.org.uk/ehpdf/EH14-2000.PDF>. Acesso em 30 de novembro de 2016.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 38, n. 6, p. 913-920, 1957.

SOARES, F. M. **Unidades de Relevo como proposta de classificação das paisagens da bacia do rio Curu** – Estado do Ceará. Tese de Doutorado, Departamento de Geografia. USP/FFLCH, 2001. 184p

SOTCHAVA, V. B. **O estudo de geossistemas**. São Paulo: IGEOG/USP, 1977. 49p. Métodos em questão, 16.

TREVISANI, Sebastiano; ROCCA, Michele. Robust surface roughness indices and morphological interpretation. In: **EGU General Assembly Conference Abstracts**. 2016. p. 11475.

TROLL, C. **A paisagem geográfica e sua investigação**. In Revista Espaço e Cultura. Número 2 (jun.1996). Rio de Janeiro: UERJ, NEPEC, 1996. ISSN 1413-3342. P. 1-7.

TROPMAIR, H.; GALINA, M. H. GEOSISTEMAS (Geosystems). Mercator, Fortaleza, v. 5, n. 10, pp 79 a 90, nov. 2008.

UNESCO. Operational guideline for National Geoparks seeking UNESCO's assistance. 2004. Disponível em: <http://www.unesco.org/science/earthsciences/geoparks.htm>.

XAVIER-DA-SILVA, J. Geodiversity: Some simple geoprocessing indicators to support environmental biodiversity studies. **Directions Magazine**, 2004. p. 1-4. Disponível em: http://www.directionsmag.com/printer.php?article_id=473. Consultado em: 10-04-2016.

XAVIER-DA-SILVA, J.; PERSSON, V.; LORINI, M.; BERGAMO, R.; RIBEIRO, M.; COSTA, A.; IERVOLINO & ABDO, O. – Índices de geodiversidade: aplicações de SGI em estudos de biodiversidade. In: GARAY, I., Dias, b. (Org.) **Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais**. Ed. Vozes. 2001.

ZOUROS, N. C. Geomorphosite assessment and management in protected areas of Greece. Case study of the Lesvos island- coastal geomorphosites. **Geographica Helvetica - Swiss Journal of Geography**. Heft-3, p. 169-180. 2007.

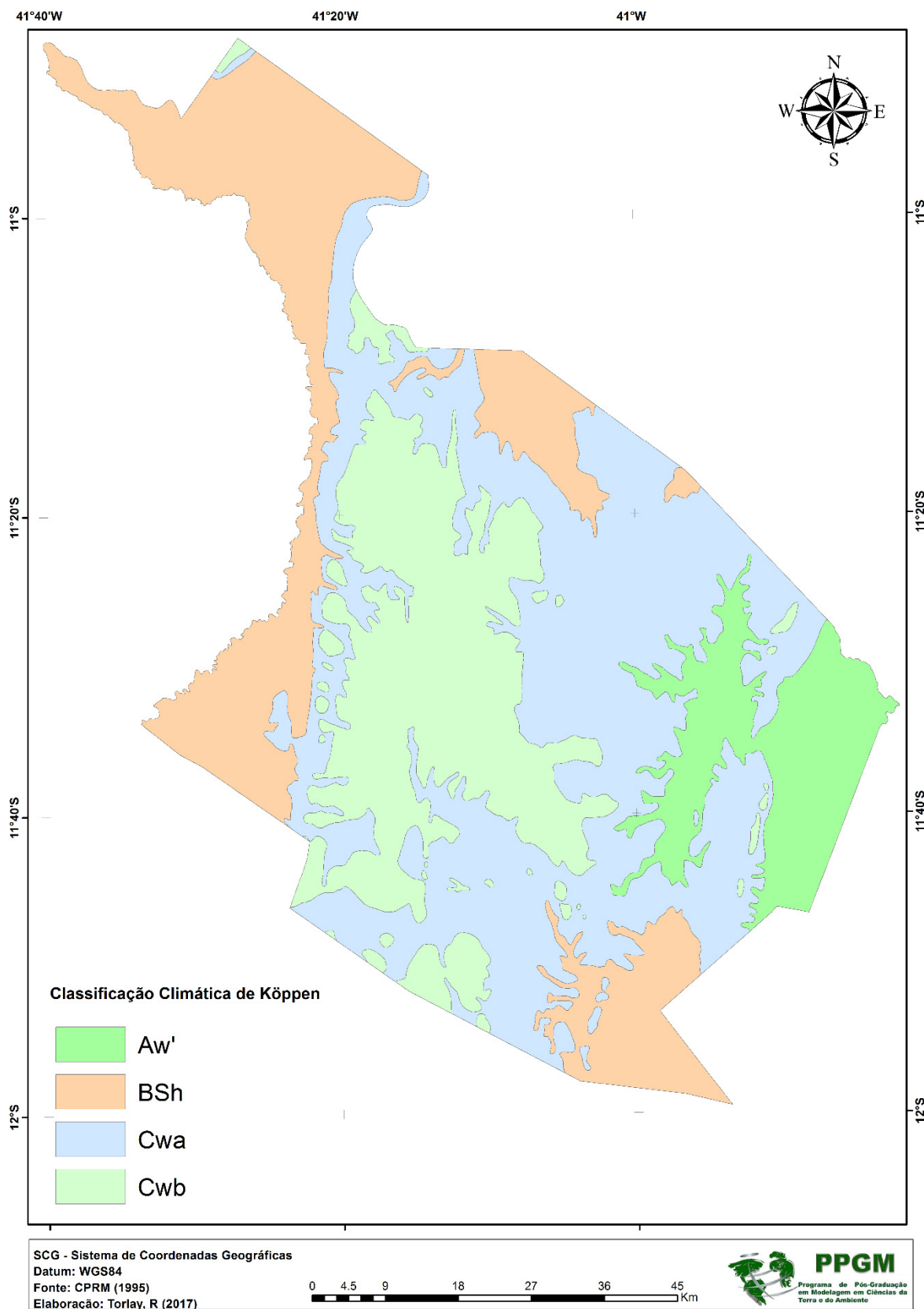
ZWOLINSKI, Z.; NAJWER, A.; GIARDINO, M. Methods for assessing geodiversity. In: REYNARD, E.; BRILHA, J. Ed(s). **Geoheritage**. 2018. p. 27-52.

ZWOLINSKI, Z. The routine of landform geodiversity map design for the Polish Carpathian Mts. **Landf Anal** 11:77–85. 2009

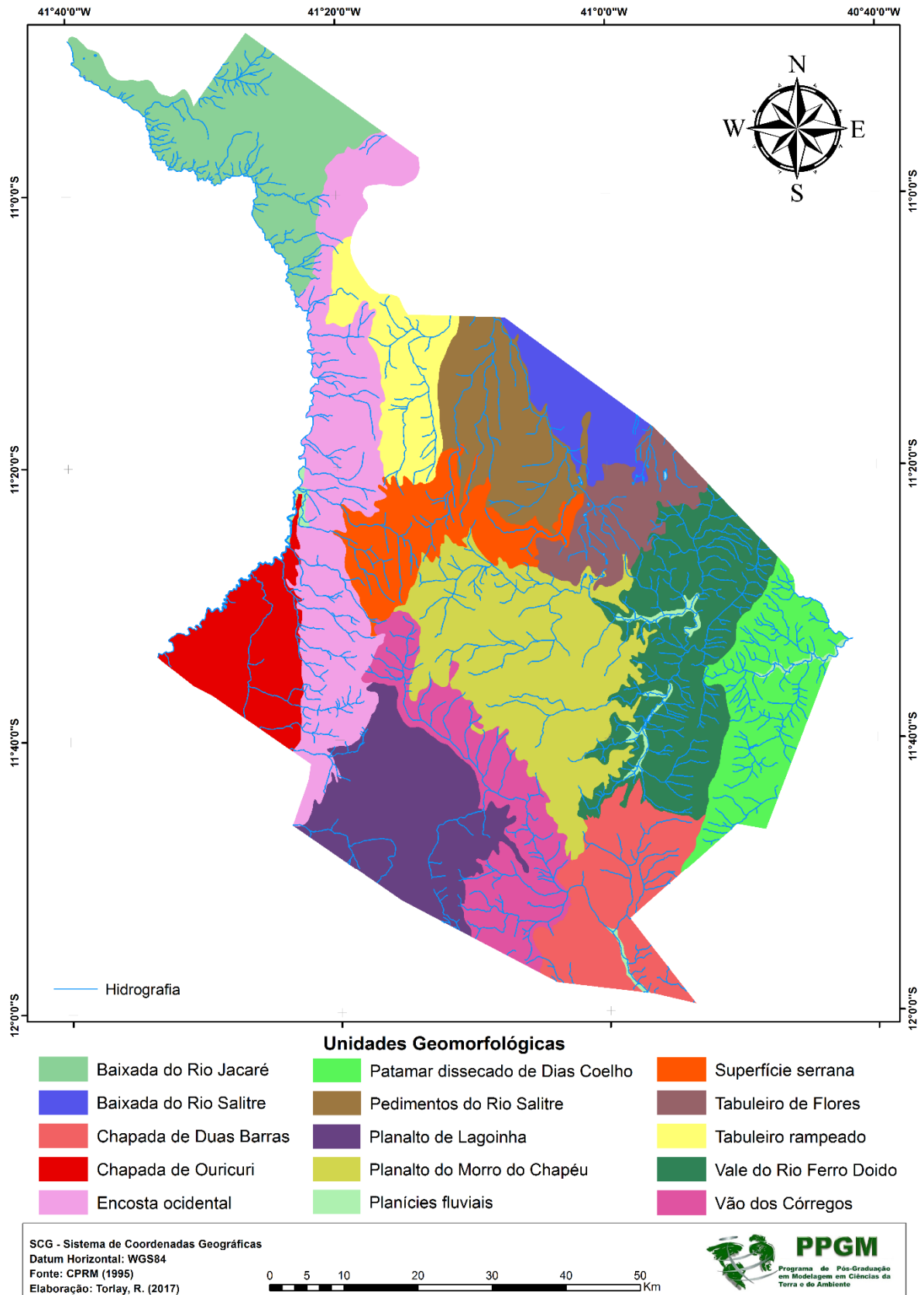
YABUKI, Tetsuo; MATSUMURA, Yumi; NAKATANI, Yoko. Evaluation of pedodiversity and land use diversity in terms of the Shannon entropy. **arXiv preprint arXiv:0905.2821**, 2009.

APÊNDICES

Apêndice 1. Mapa dos tipos climáticos do município de Morro do Chapéu.



Apêndice 2. Mapa hidrográfico e das unidades geomorfológicas do município de Morro do Chapéu.

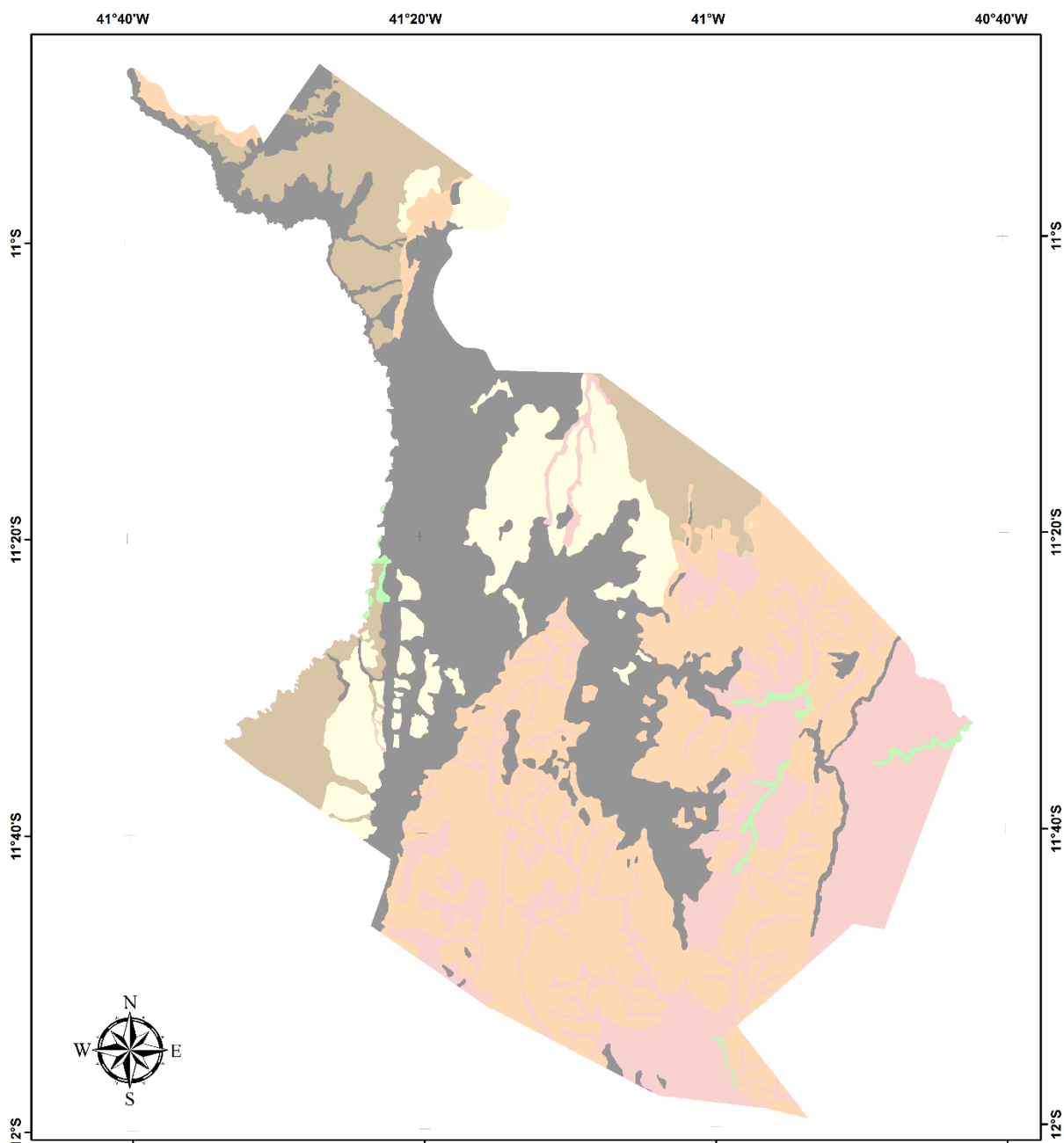


Apêndice 3. Os intrigantes Murundus da Chapada Diamantina, encontrados em terrenos de rochas carbonáticas e lamitos.



Fotos: Paulo de Tarso Amorim de Castro (2017)

Apêndice 4. Mapa Pedológico do município de Morro do Chapéu.



CLASSES DE SOLOS: ordem, subordem, grandes grupos, subgrupo e famílias (EMBRAPA, 1997)

- Areia Quartzosa álico A moderado + Areia Quartzosa Latossólica álica A moderado + Solos Litólicos álicos A fraco textura arenosa e arenosa cascalhenta substrato arenito fase pedregosa.
- Cambissolo eutrófico Tb profundo e pouco profundo A fraco e moderado textura média e argilosa.
- Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico A fraco textura média leve.
- Podzólico Vermelho_Amarelo álico Tb A moderado textura média/argilosa e média cascalhenta + Latossolo Vermelho-Amarelo álico A moderado e proeminente textura média e argilosa.
- Solos Litólicos álicos A fraco e moderado textura arenosa substrato arenito fase pedregosa + Afloramento de Rocha.
- Solos aluviais distróficos Tb A moderado textura média e argilosa + Solos Aluviais distroficossalino-sódicos em profundidade A moderado textura média e argilosa.

SCG - Sistema de Coordenadas Geográficas

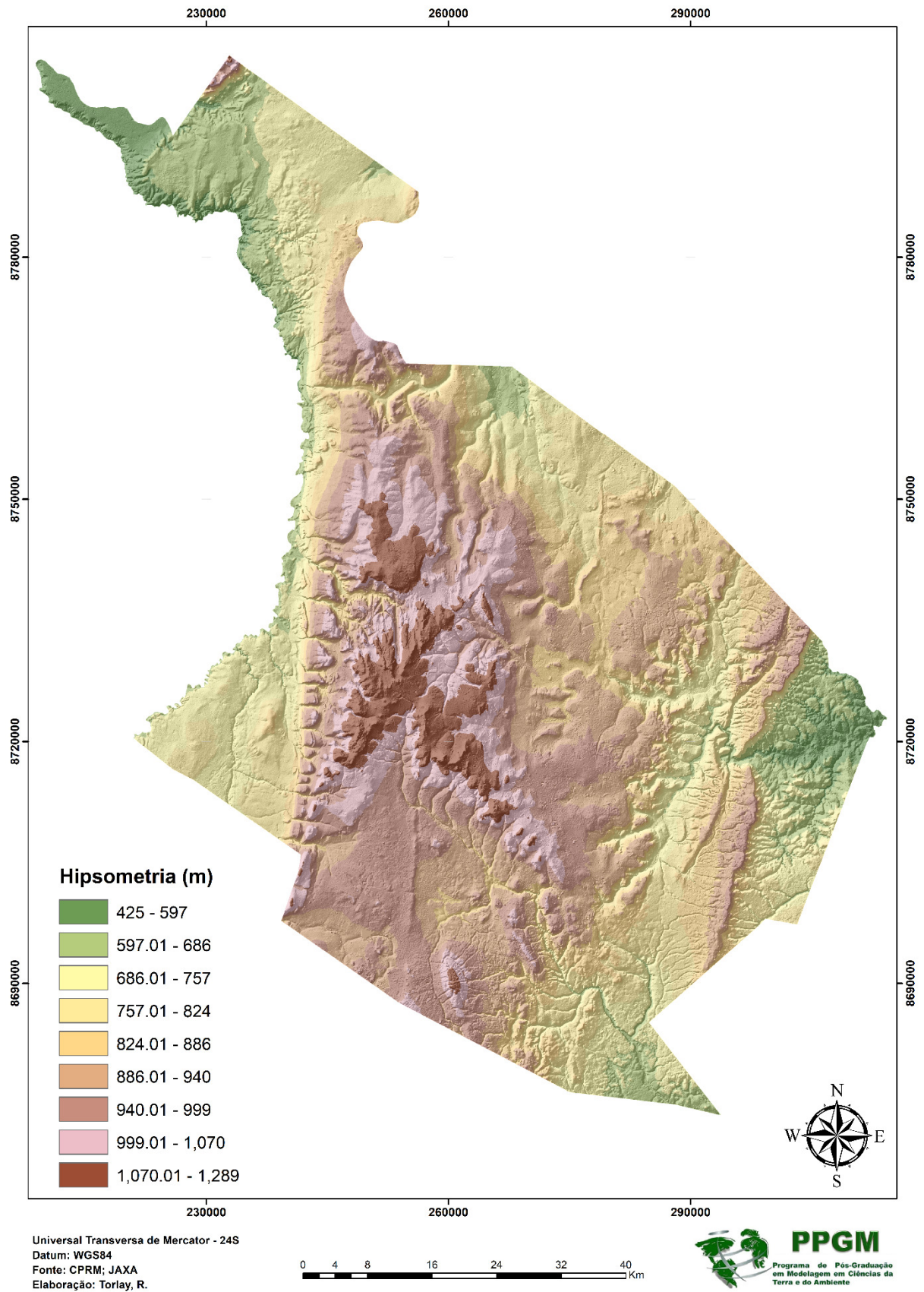
Datum: WGS84

Fonte: CPRM (1995)

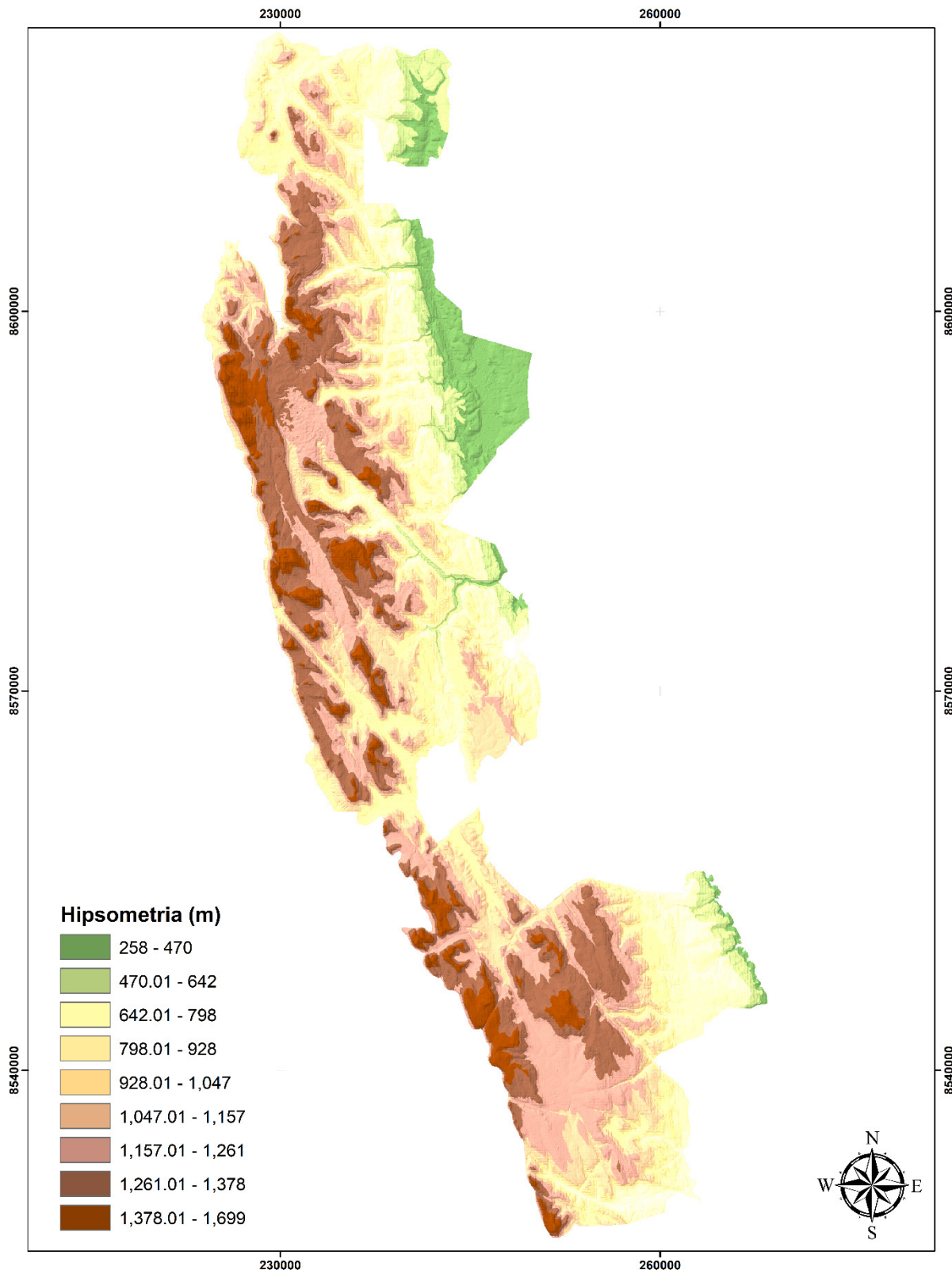
Elaboração: Torlay, R (2017)



Apêndice 5. Mapa Hipsométrico do município de Morro do Chapéu.

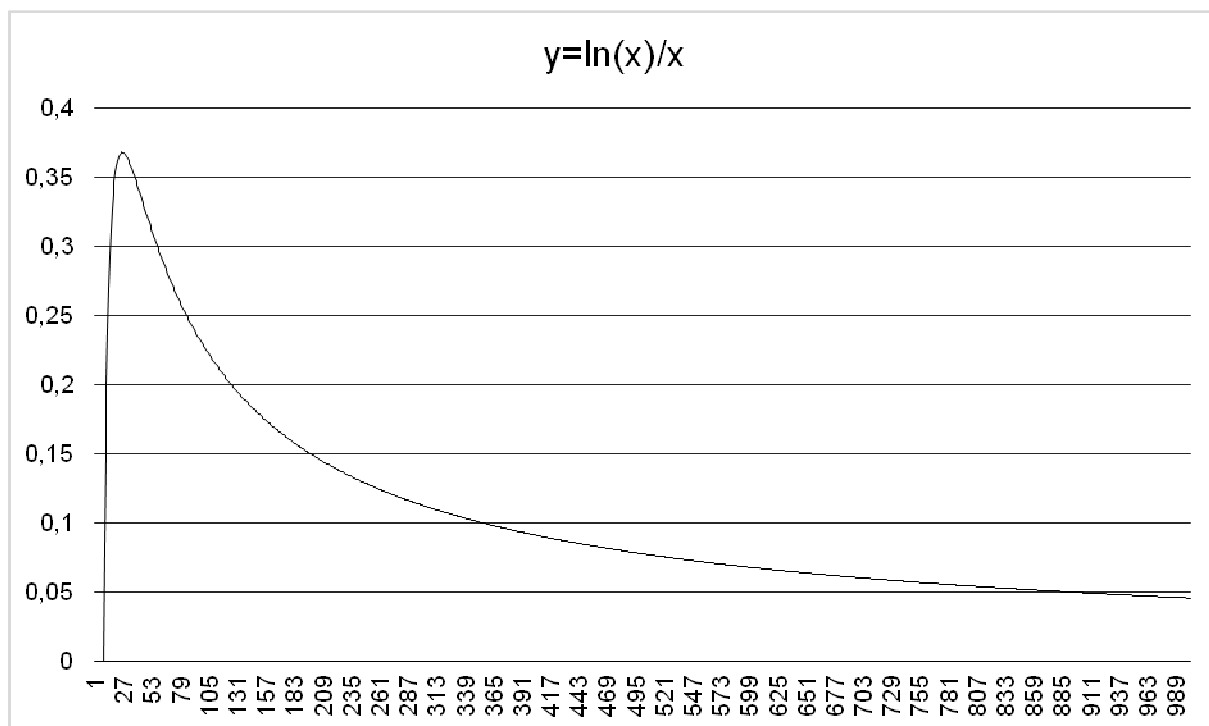


Apêndice 6. Mapa Hipsométrico do PNCD.

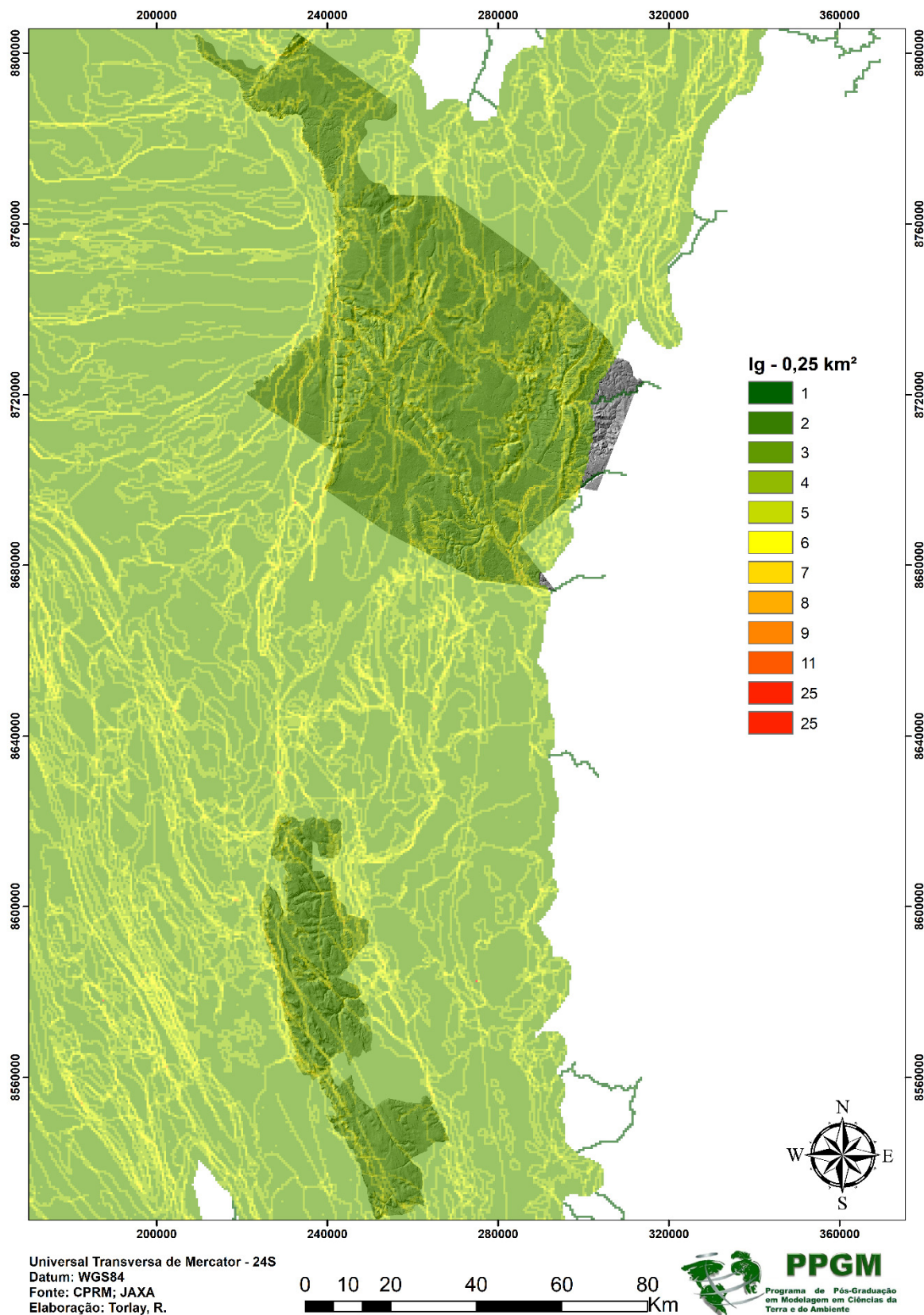


Apêndice 7. Demonstração da variação que Gd pode assumir em relação lnS, utilizando valores da unidade 3 (SERRANO & RUIZ – FLAÑO, p. 94, 2007)

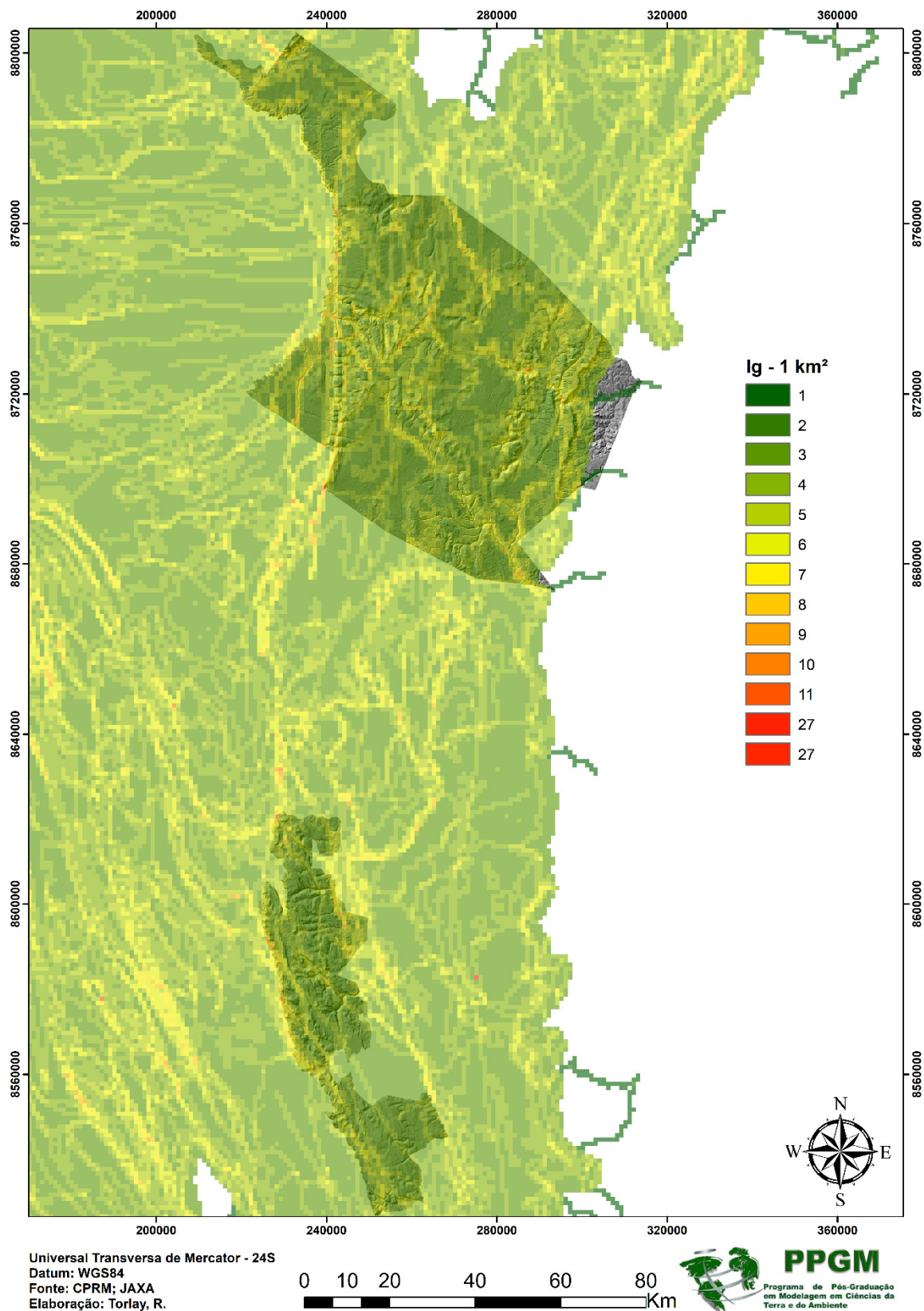
S(km ²)	ln	ln/S	Eg	R	Gd
1	0	0	18	2.7	48.6
1.1	0.09531018	0.086645618	18	2.7	509.914052
1.2	0.18232156	0.151934631	18	2.7	266.562006
1.3	0.26236426	0.201818665	18	2.7	185.238642
1.4	0.33647224	0.240337312	18	2.7	144.439852
1.5	0.40546511	0.270310072	18	2.7	119.862348
1.6	0.47000363	0.293752268	18	2.7	103.403457
1.7	0.53062825	0.312134265	18	2.7	91.5895449
1.8	0.58778666	0.326548147	18	2.7	82.6830599
1.9	0.64185389	0.337817835	18	2.7	75.7181674
2	0.69314718	0.34657359	18	2.7	70.114979
2.1	0.74193734	0.353303497	18	2.7	65.5041835
2.2	0.78845736	0.358389709	18	2.7	61.639351
2.3	0.83290912	0.362134401	18	2.7	58.3497031
2.4	0.87546874	0.364778641	18	2.7	55.5131188
2.5	0.91629073	0.366516293	18	2.7	53.0399341
2.6	0.95551145	0.367504402	18	2.7	50.8628131
2.7	0.99325177	0.367871027	18	2.7	48.930192
2.8	1.02961942	0.36772122	18	2.7	47.201907
2.9	1.06471074	0.367141633	18	2.7	45.6462007
3	1.09861229	0.366204096	18	2.7	44.2376264
4	1.38629436	0.34657359	18	2.7	35.0574895
5	1.60943791	0.321887582	18	2.7	30.1968778
6	1.79175947	0.298626578	18	2.7	27.1241765
7	1.94591015	0.277987164	18	2.7	24.9754594
8	2.07944154	0.259930193	18	2.7	23.3716597
9	2.19722458	0.244136064	18	2.7	22.1188132
10	2.30258509	0.230258509	18	2.7	21.1067118
11	2.39789527	0.217990479	18	2.7	20.2677742
12	2.48490665	0.207075554	18	2.7	19.5580788
13	2.56494936	0.197303797	18	2.7	18.9477425
14	2.63905733	0.188504095	18	2.7	18.4156666
15	2.7080502	0.18053668	18	2.7	17.9464915
16	2.77258872	0.173286795	18	2.7	17.5287447
17	2.83321334	0.166659608	18	2.7	17.1536676
18	2.89037176	0.160576209	18	2.7	16.8144461
19	2.94443898	0.154970473	18	2.7	16.505691
20	2.99573227	0.149786614	18	2.7	16.2230786
21	3.04452244	0.144977259	18	2.7	15.9630947

Apêndice 8. Função logarítmica: $y=\ln(x)/x$ 

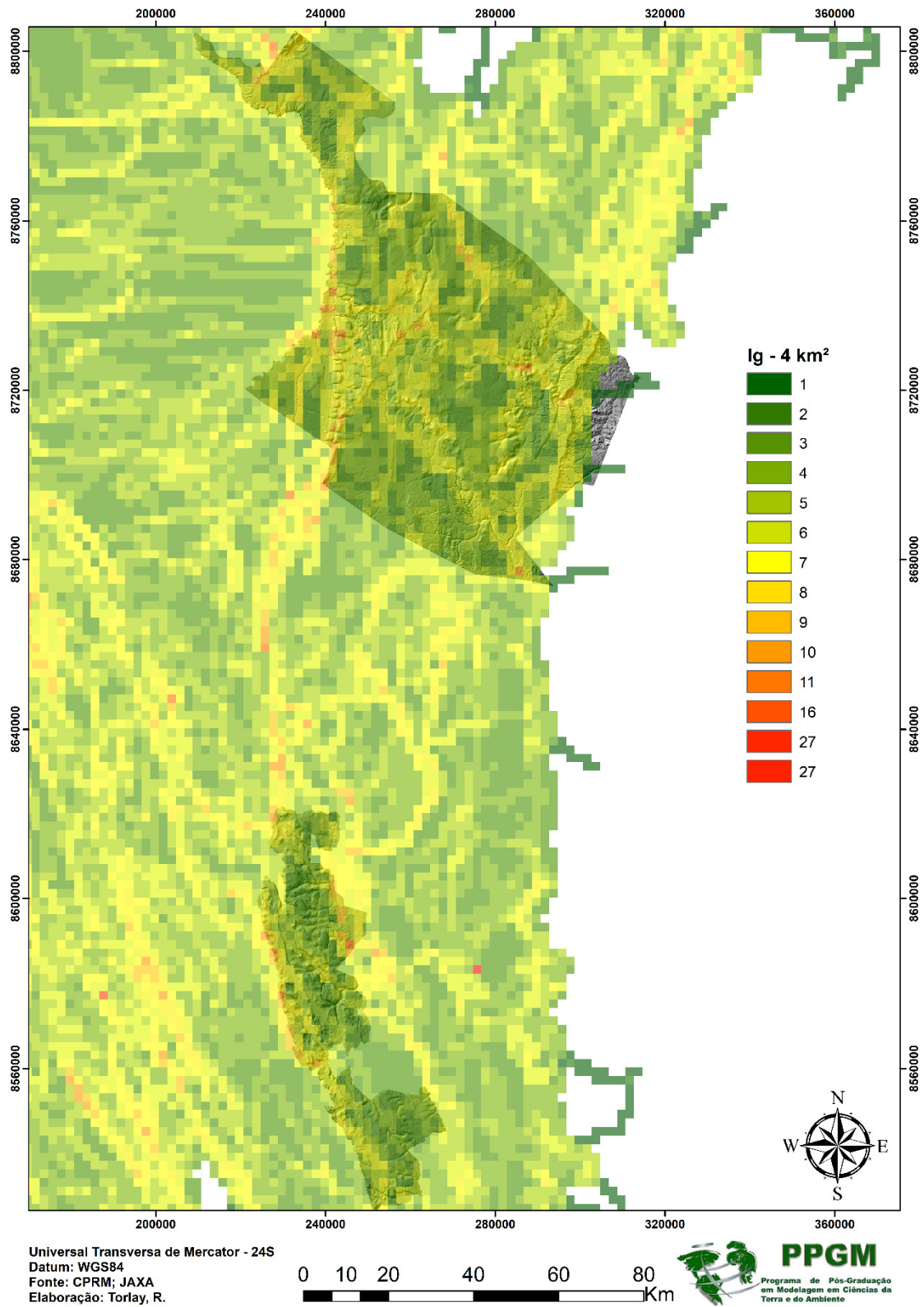
Apêndice 9. Índice de geodiversidade em escala ao milionésimo em grade quadrada de 0,25 km² - Chapada Diamantina.



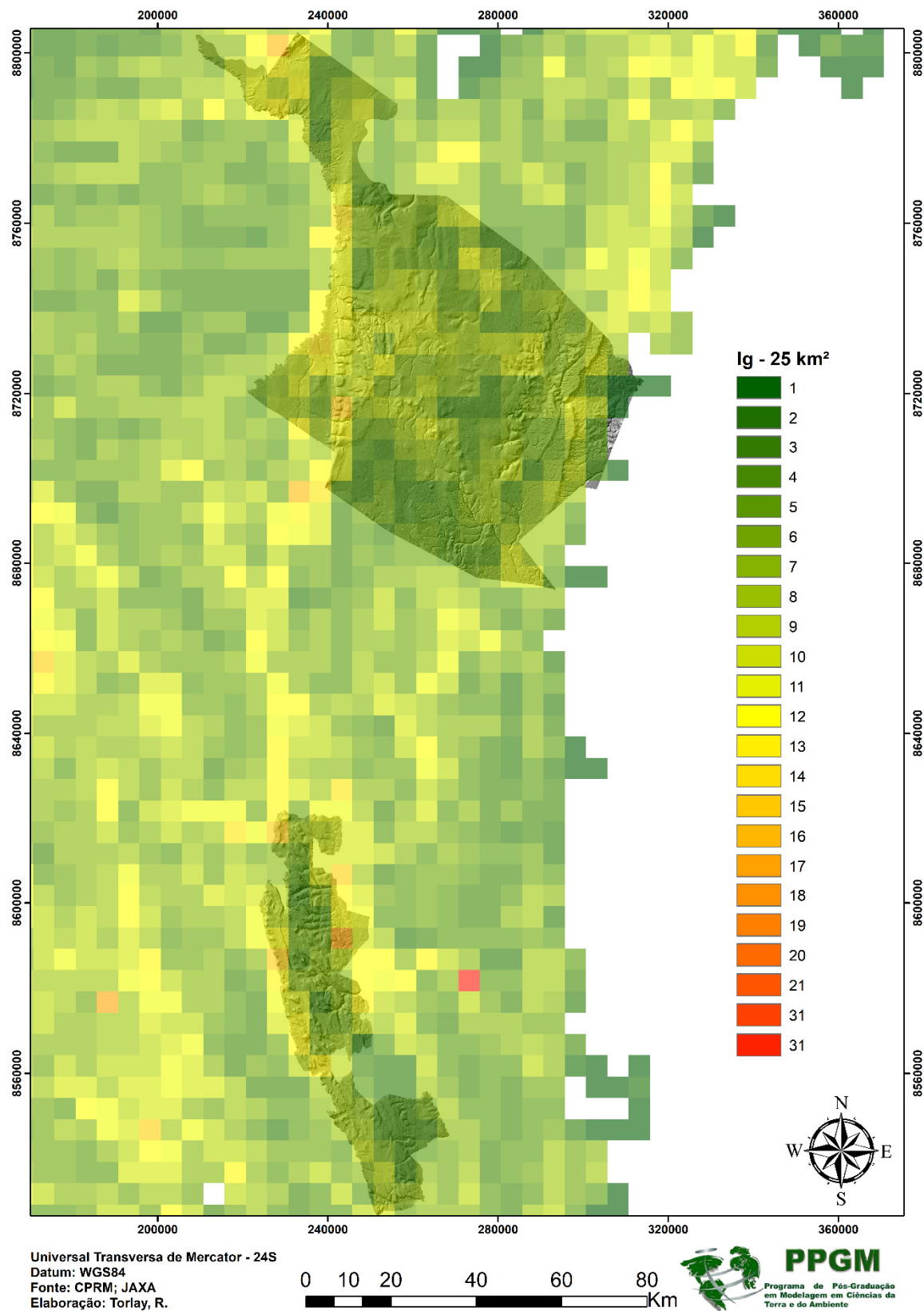
Apêndice 10. . Índice de geodiversidade em escala ao milionésimo em grade quadrada de 1 km² - Chapada Diamantina.



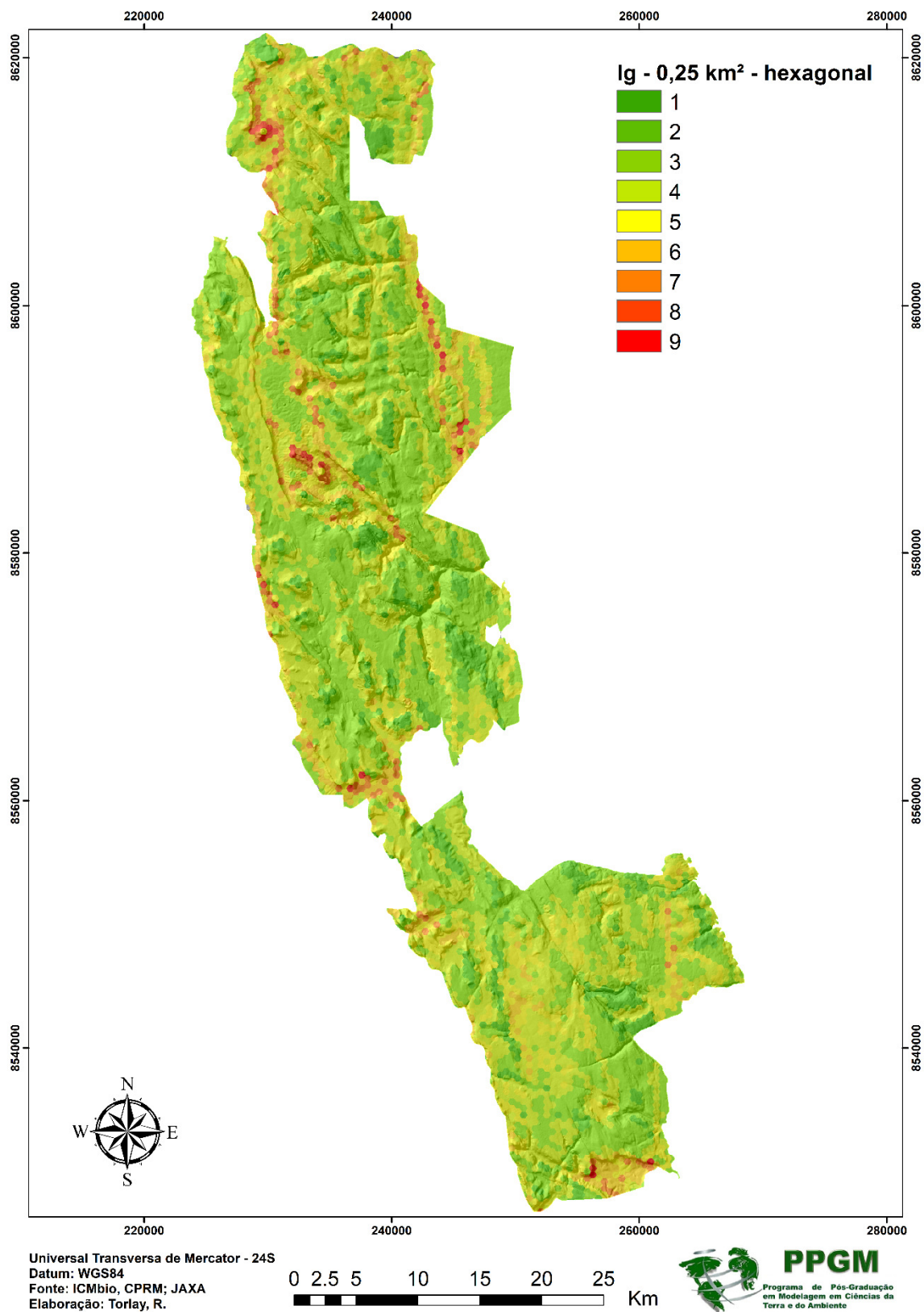
Apêndice 11. Índice de geodiversidade em escala ao milionésimo em grade quadrada de 4 km² - Chapada Diamantina.



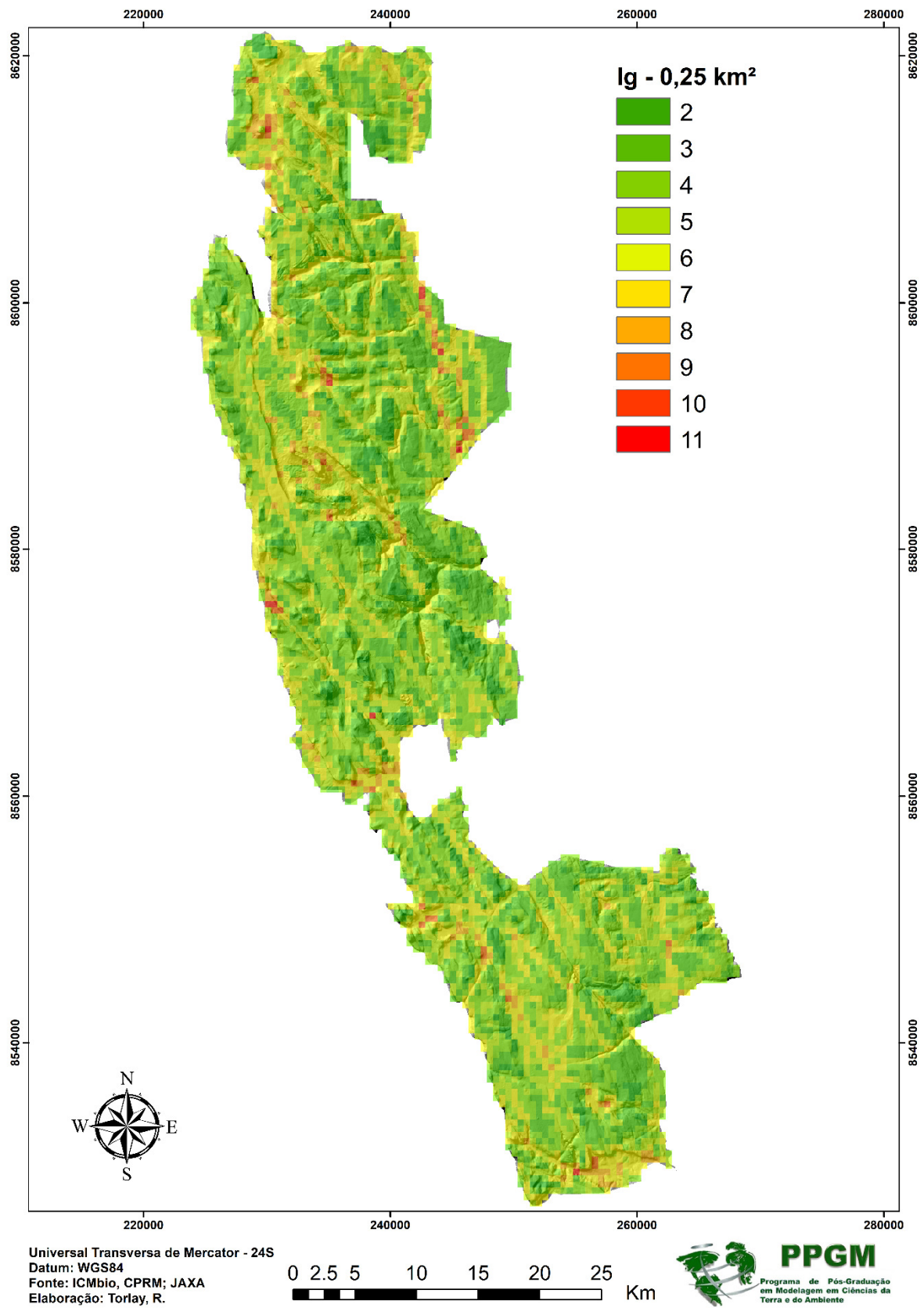
Apêndice 12. . Índice de geodiversidade na escala ao milionésimo em grade quadrada de 25 km² - Chapada Diamantina.

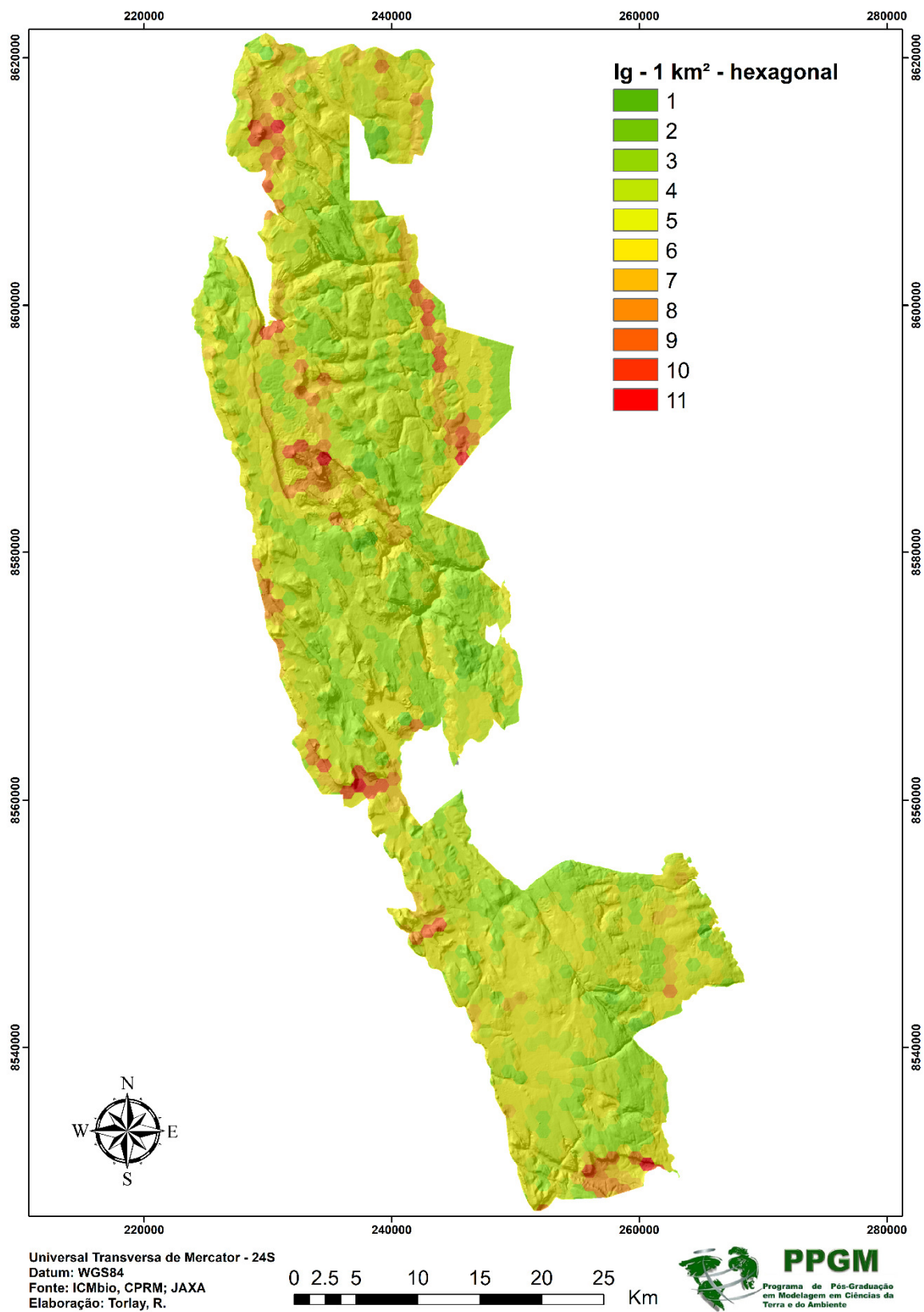


Apêndice 13. Índice de geodiversidade em grade hexagonal de 0,25 km² - PNCD.

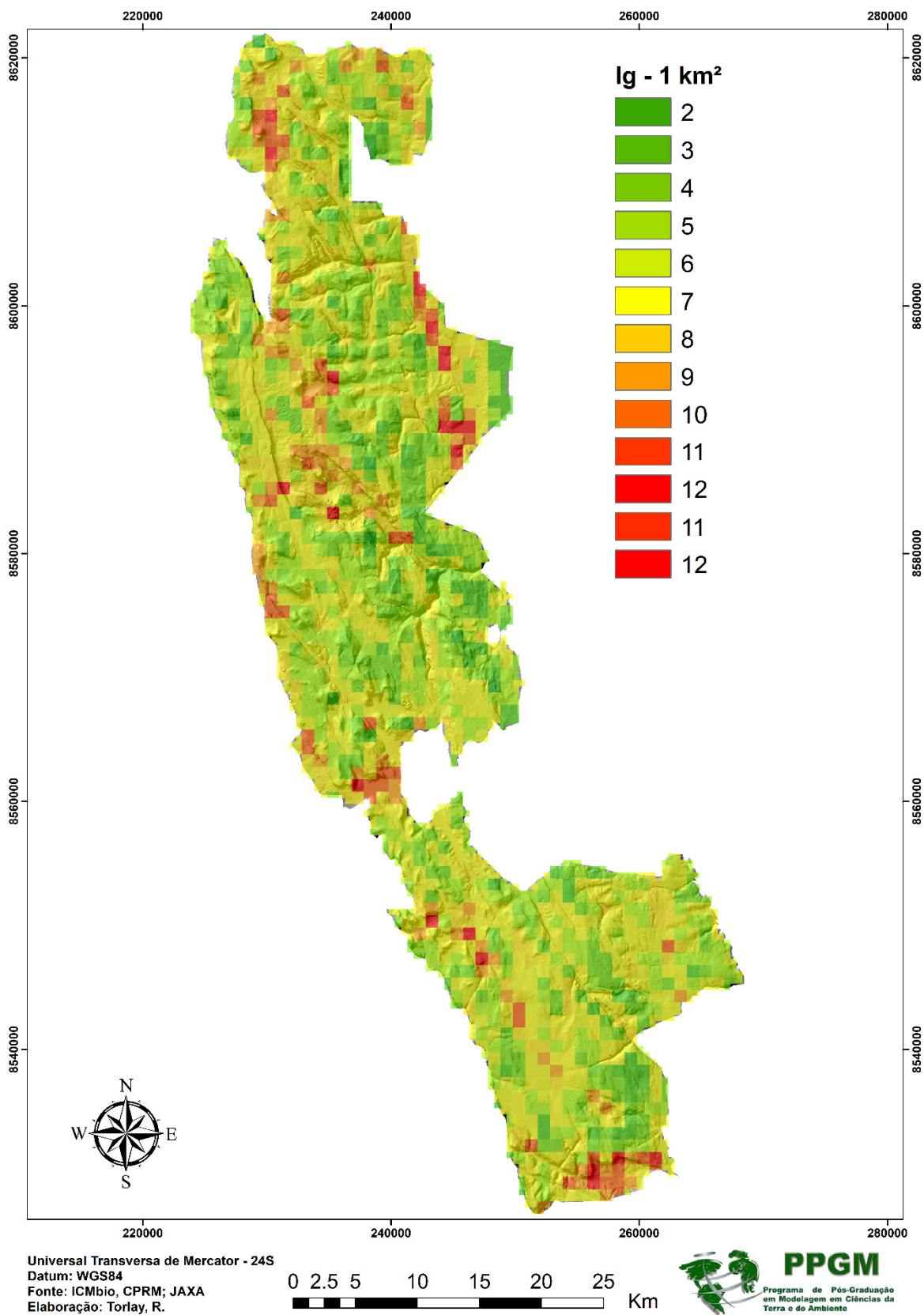


Apêndice 14. Índice de geodiversidade em grade quadrada de 0,25 km² - PNCD.

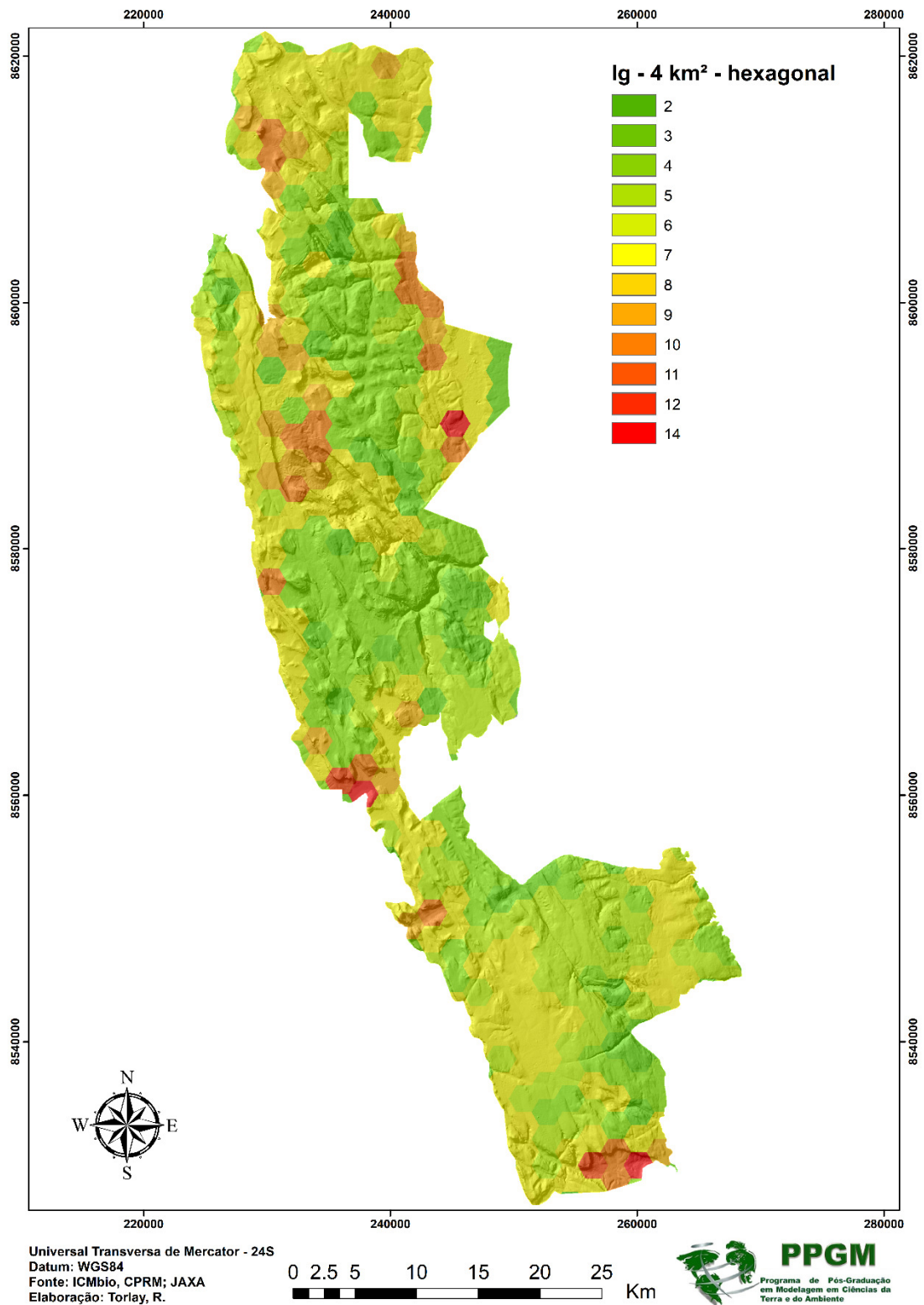


Apêndice 15. Índice de geodiversidade em grade hexagonal de 1 km² - PNCD.

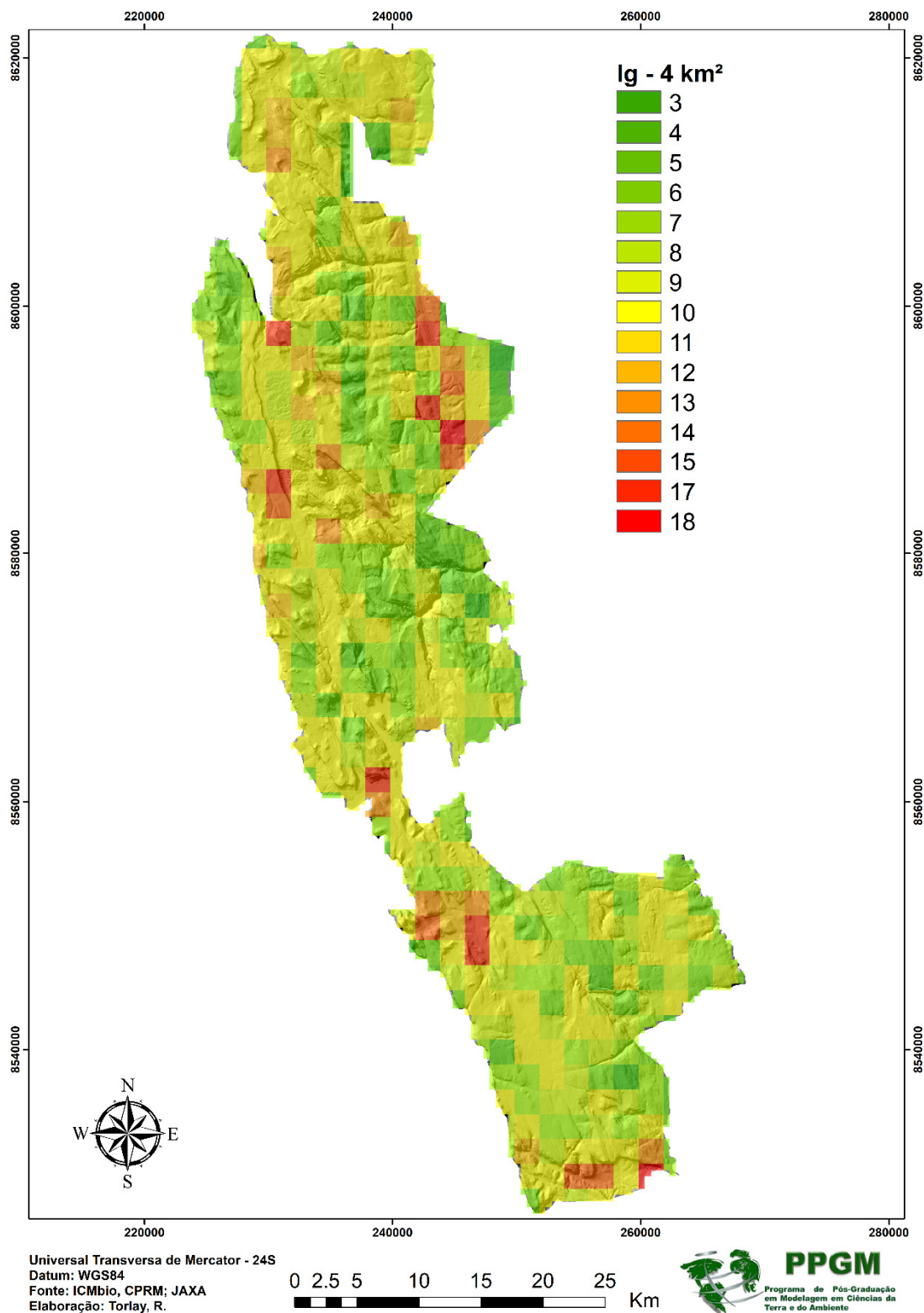
Apêndice 16. Índice de geodiversidade em grade quadrada de 1 km² - PNCD.



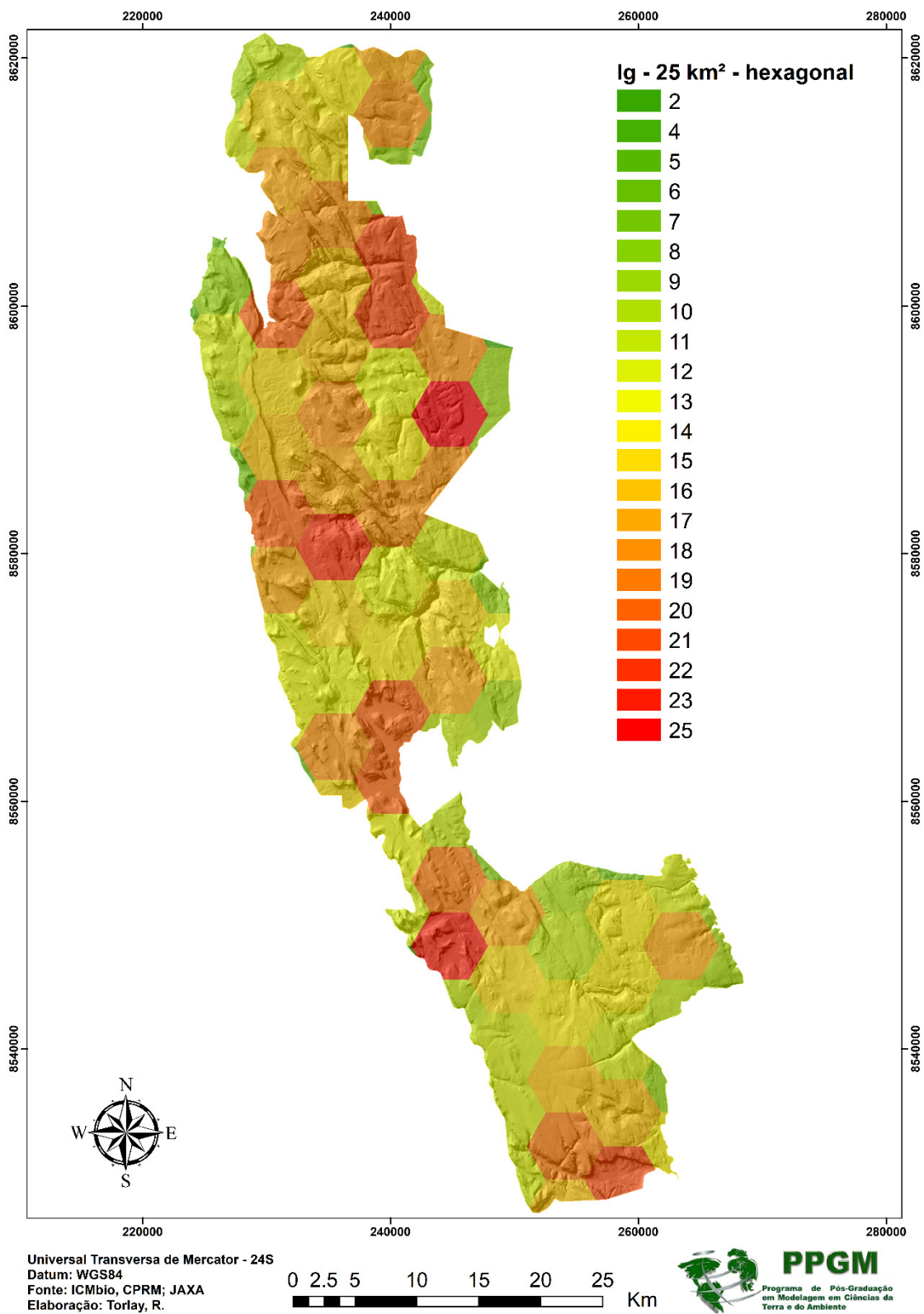
Apêndice 17. Índice de geodiversidade em grade hexagonal de 4 km² - PNCD.



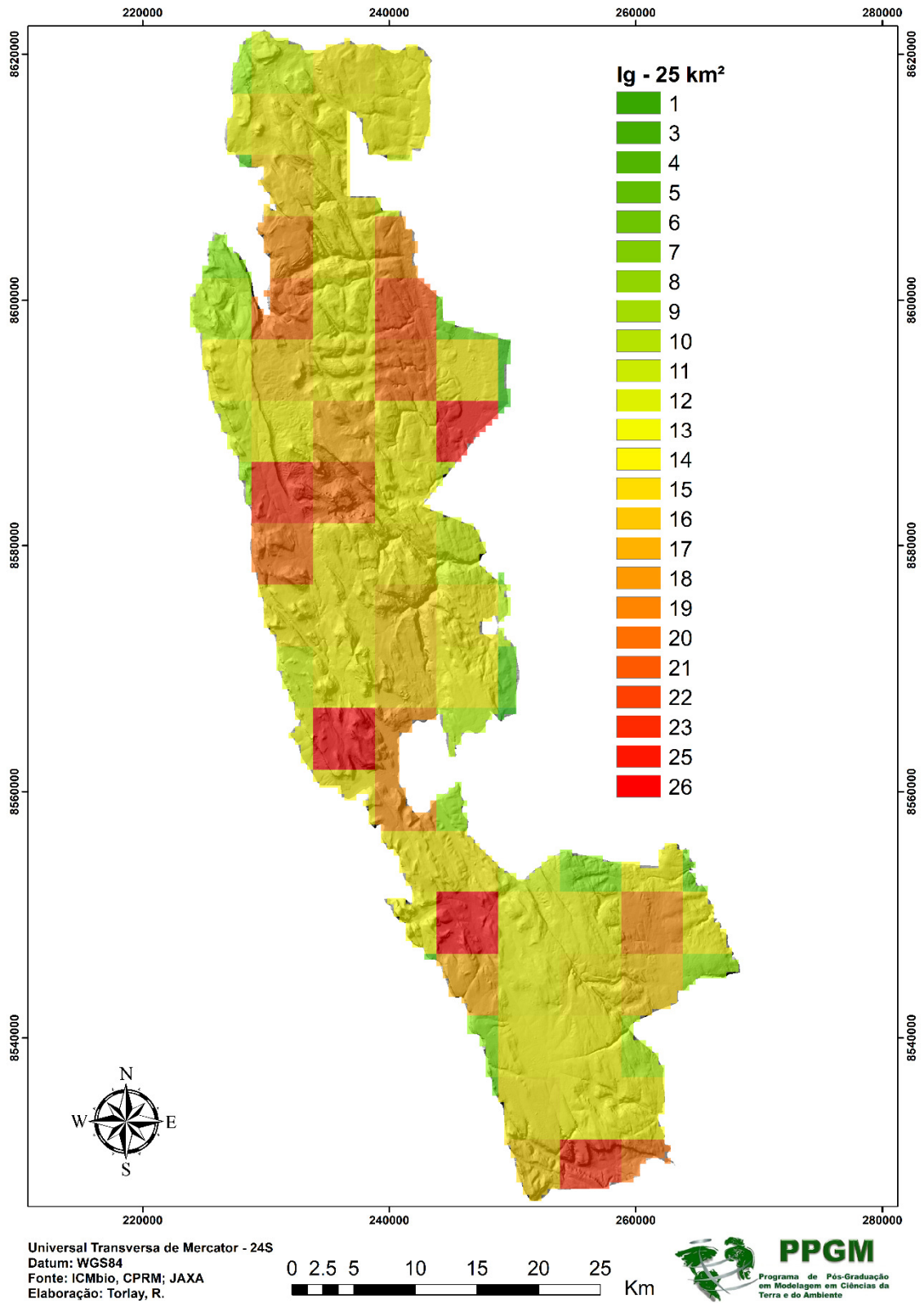
Apêndice 18. Índice de geodiversidade em grade quadrada de 4 km² - PNCD.



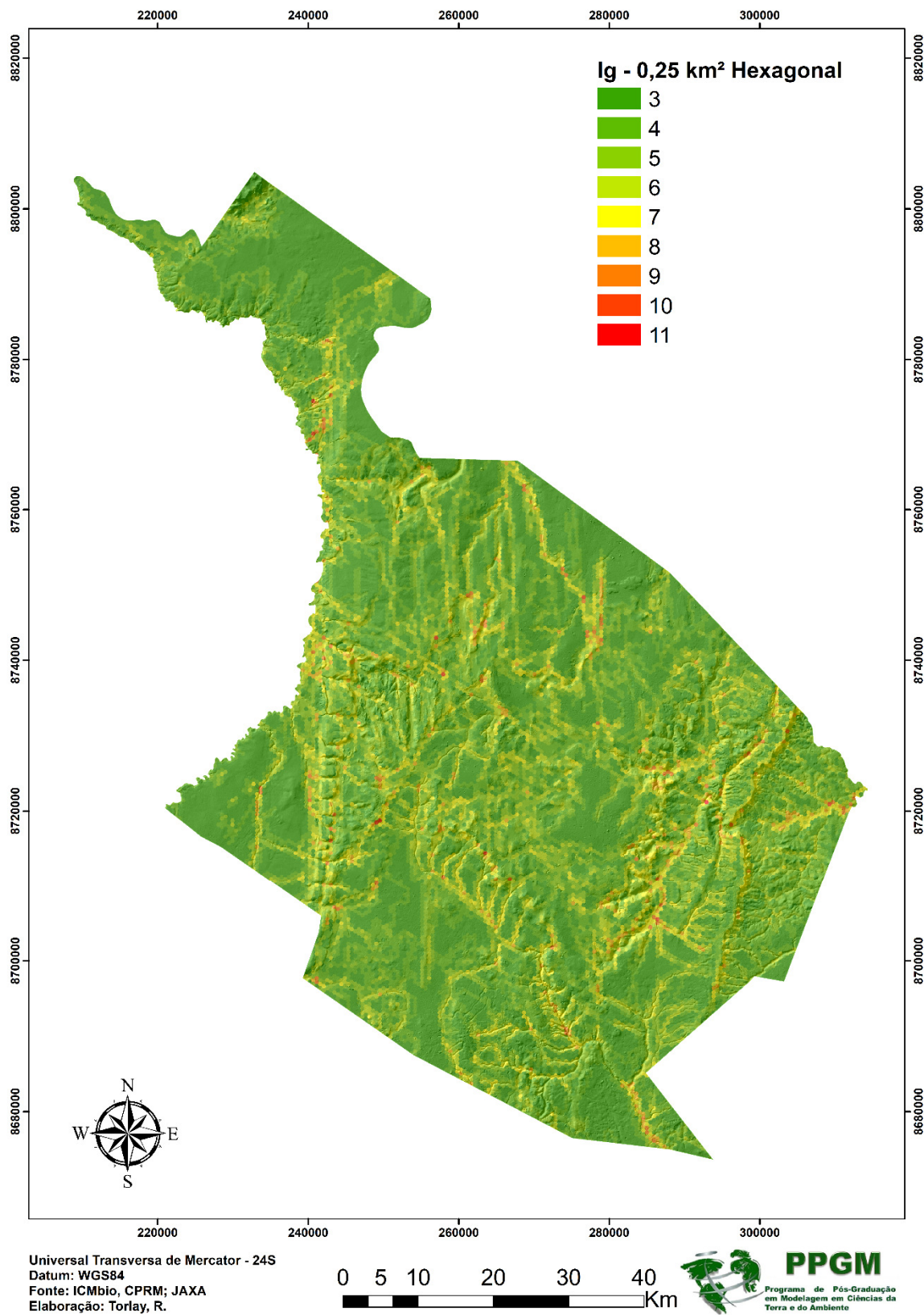
Apêndice 19. Índice de geodiversidade em grade hexagonal de 25 km² - PNCD.



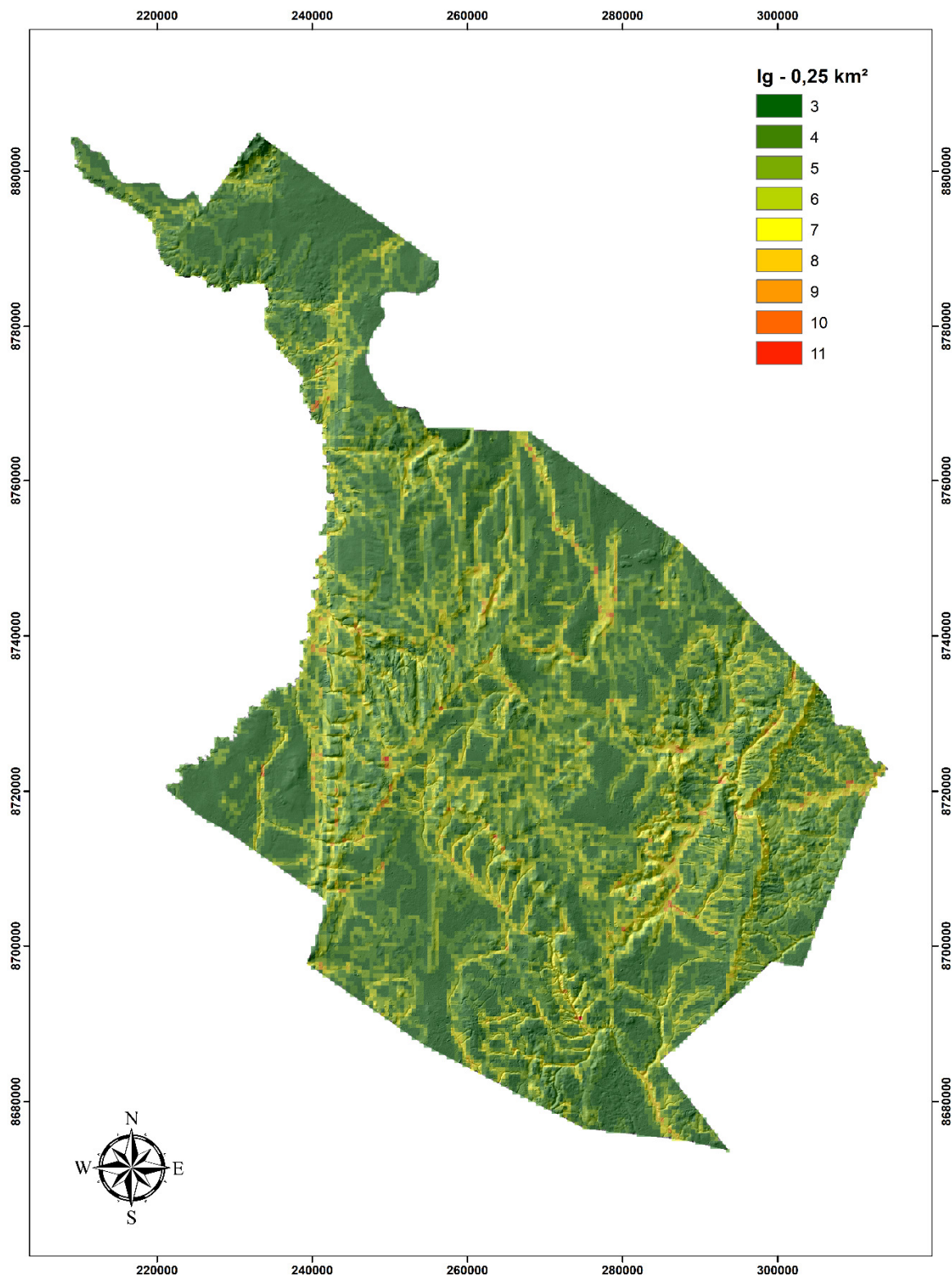
Apêndice 20. Índice de geodiversidade em grade quadrada de 25 km² - PNCD.



Apêndice 21. Índice de geodiversidade em grade hexagonal de 0,25 km² - Morro do Chapéu.



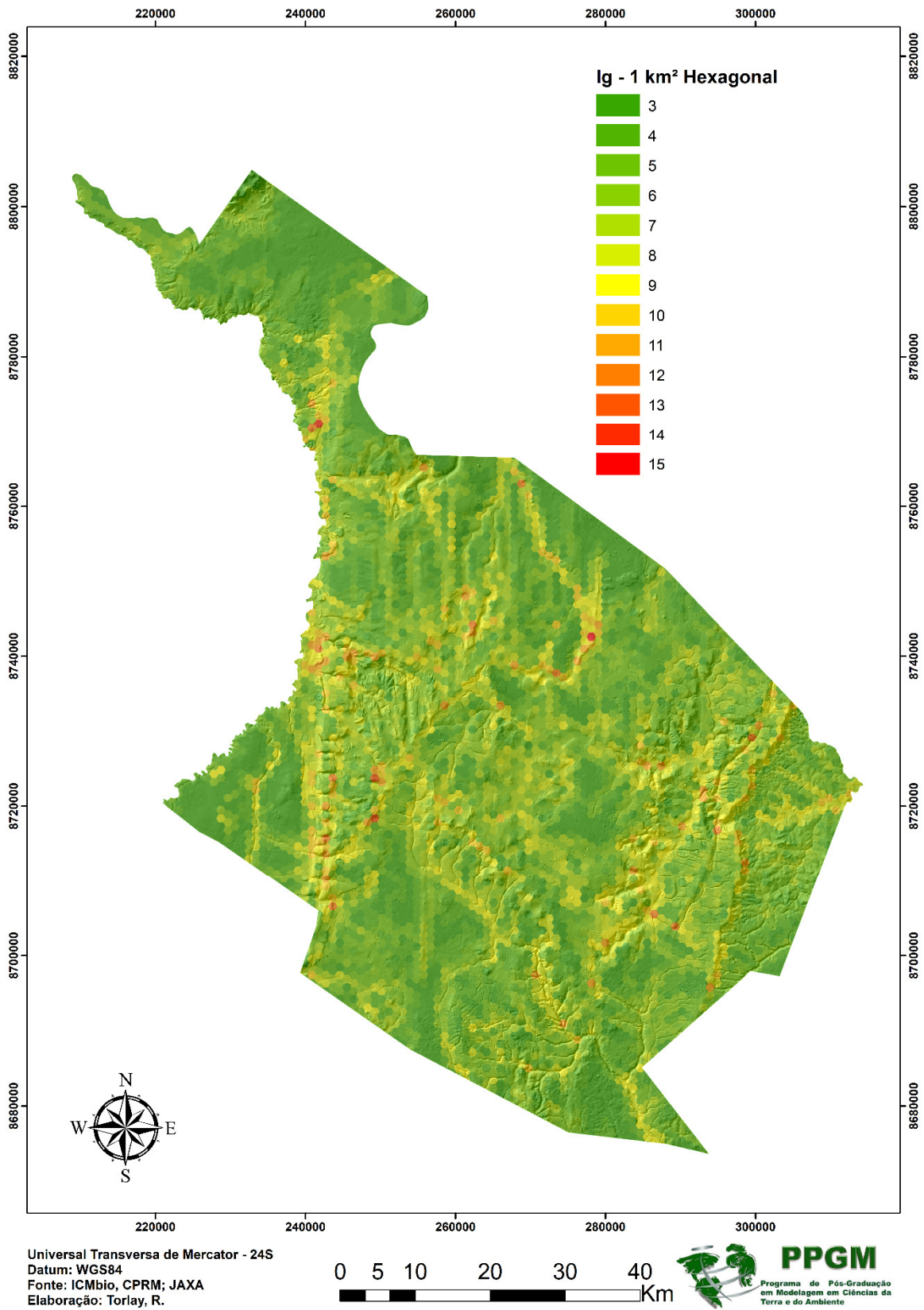
Apêndice 22. . Índice de geodiversidade em grade quadrada de 0,25 km² - Morro do Chapéu.



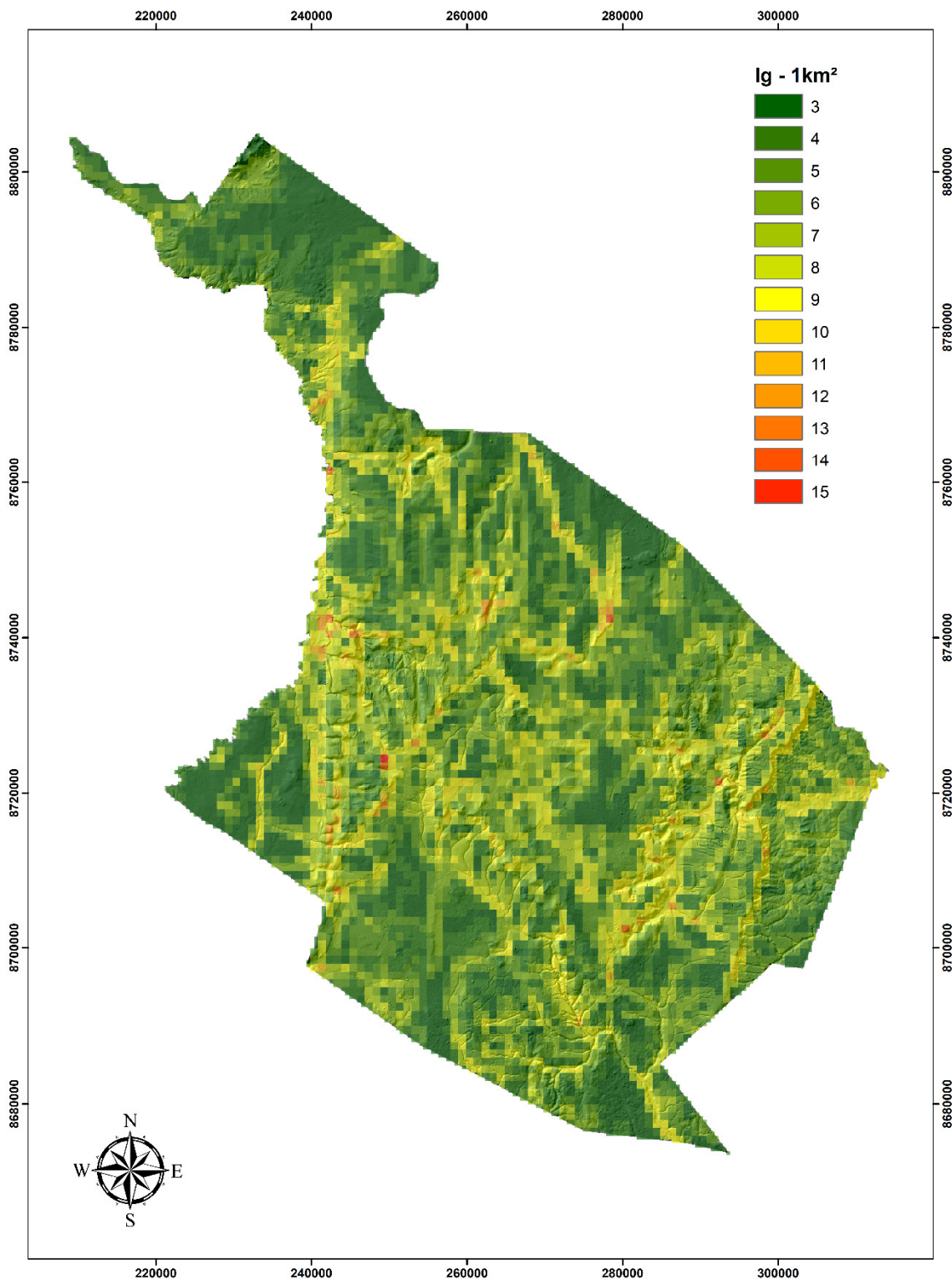
Universal Transversa de Mercator - 24S
 Datum: WGS84
 Fonte: ICMbio, CPRM; JAXA
 Elaboração: Torlay, R.

0 5 10 20 30 40 Km

Apêndice 23. Índice de geodiversidade em grade hexagonal de 1 km² - Morro do Chapéu.



Apêndice 24. Índice de geodiversidade em grade quadrada de 1 km² - Morro do Chapéu.

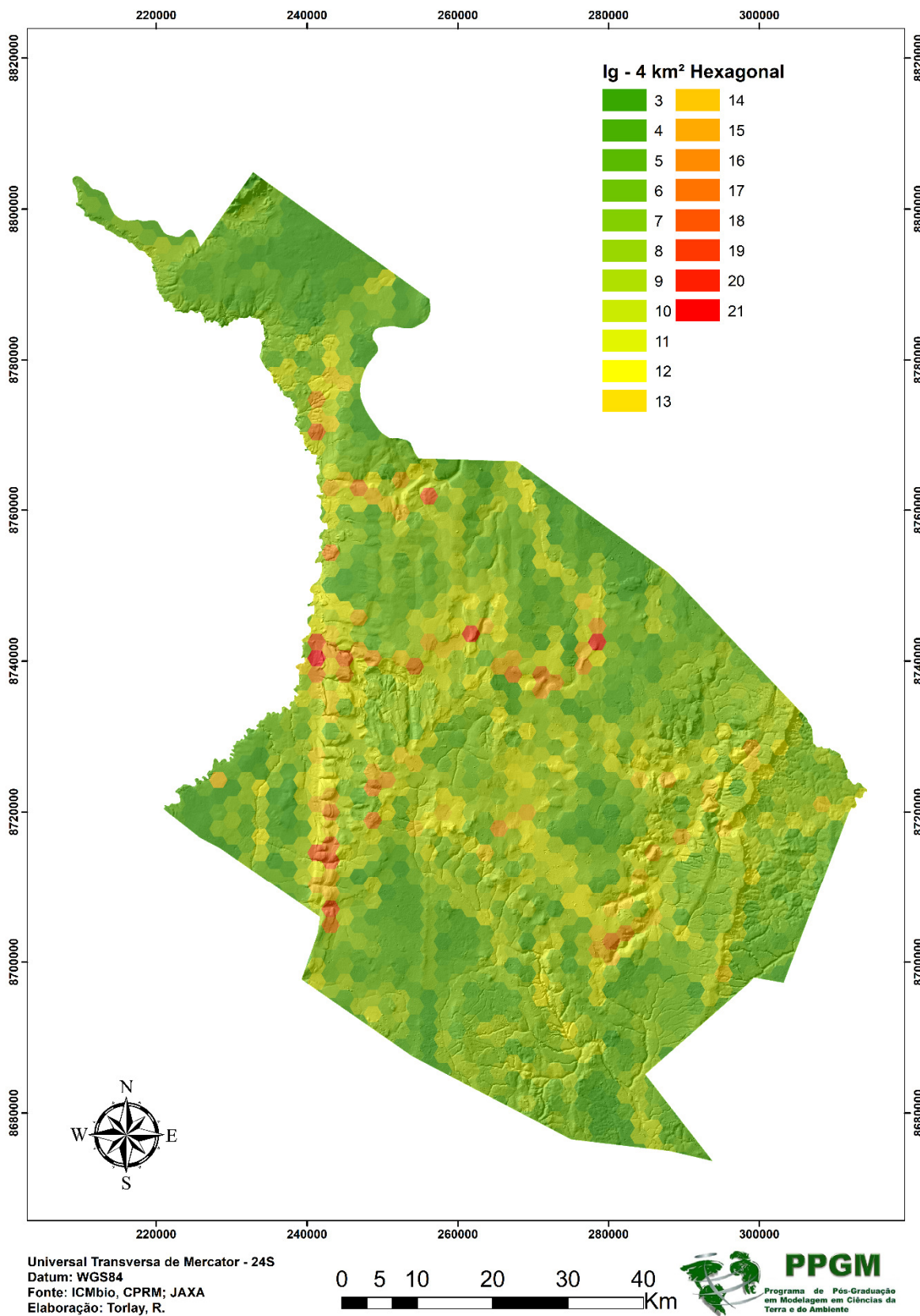


Universal Transversa de Mercator - 24S
 Datum: WGS84
 Fonte: ICMbio, CPRM; JAXA
 Elaboração: Torlay, R.

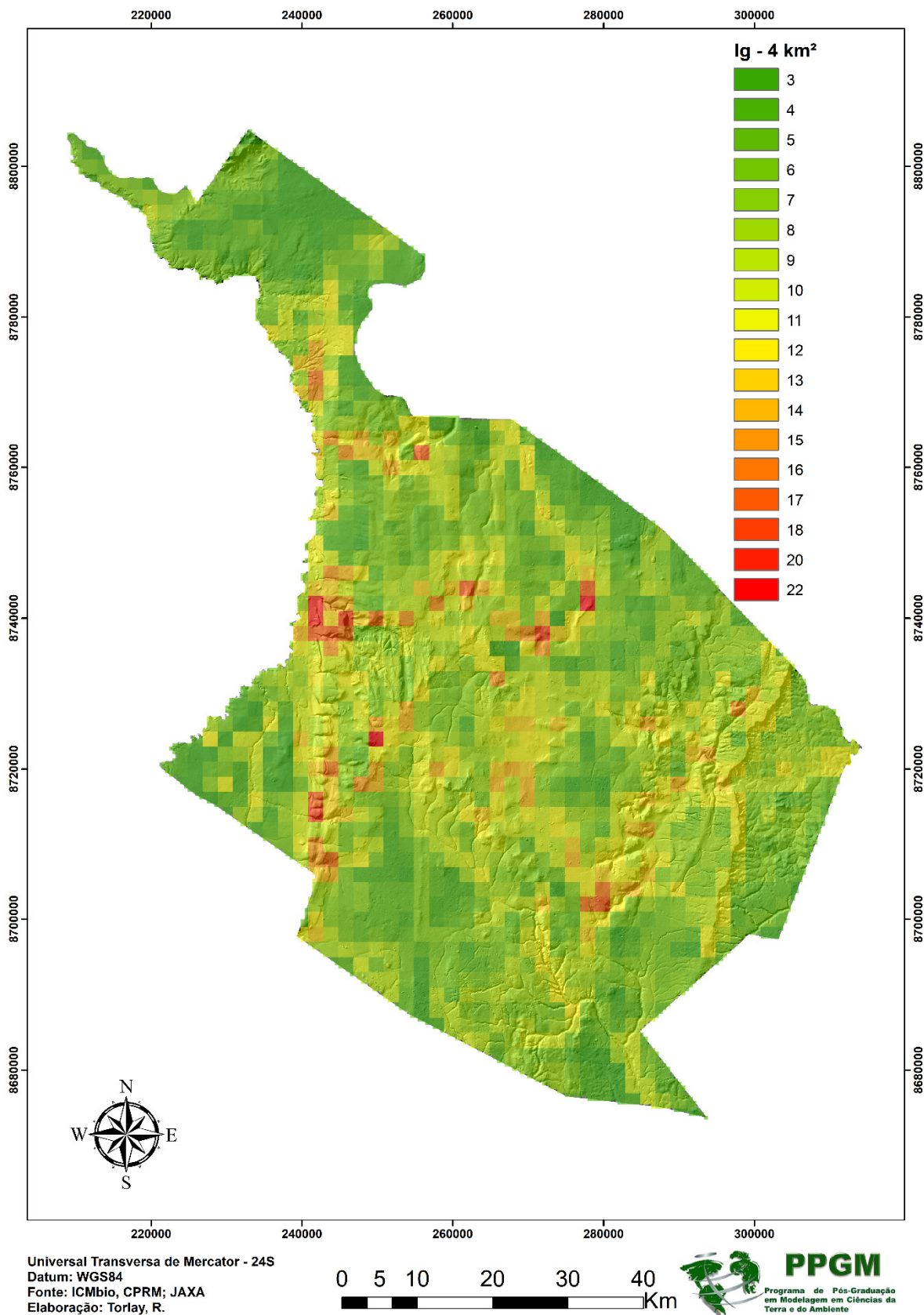
0 5 10 20 30 40 Km



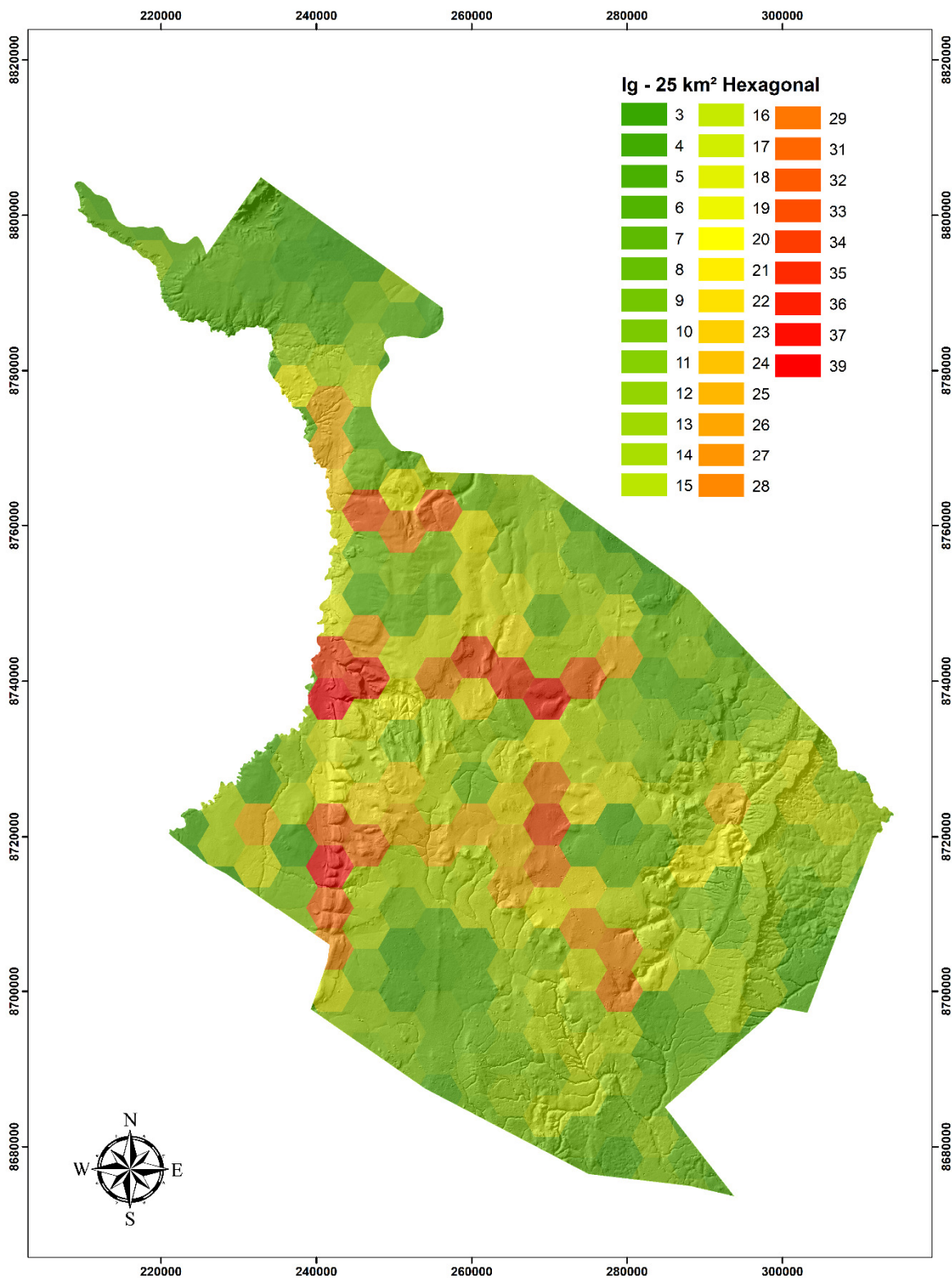
Apêndice 25. . Índice de geodiversidade em grade hexagonal de 4 km² - Morro do Chapéu.



Apêndice 26. Índice de geodiversidade em grade quadrada de 4 km² - Morro do Chapéu.



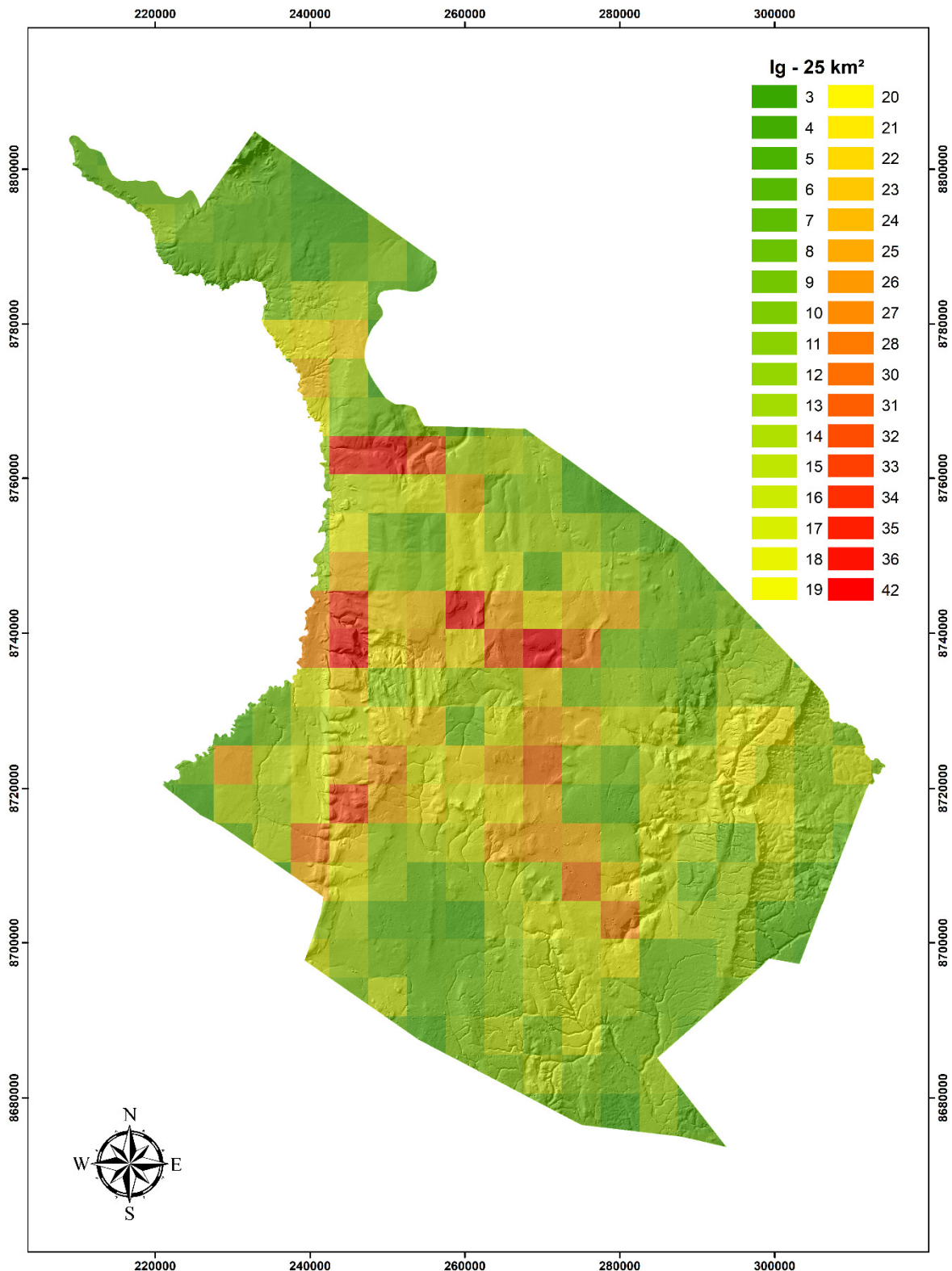
Apêndice 27. . Índice de geodiversidade em grade hexagonal de 25 km² - Morro do Chapéu.



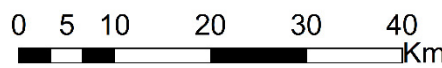
Universal Transversa de Mercator - 24S
 Datum: WGS84
 Fonte: ICMbio, CPRM; JAXA
 Elaboração: Torlay, R.

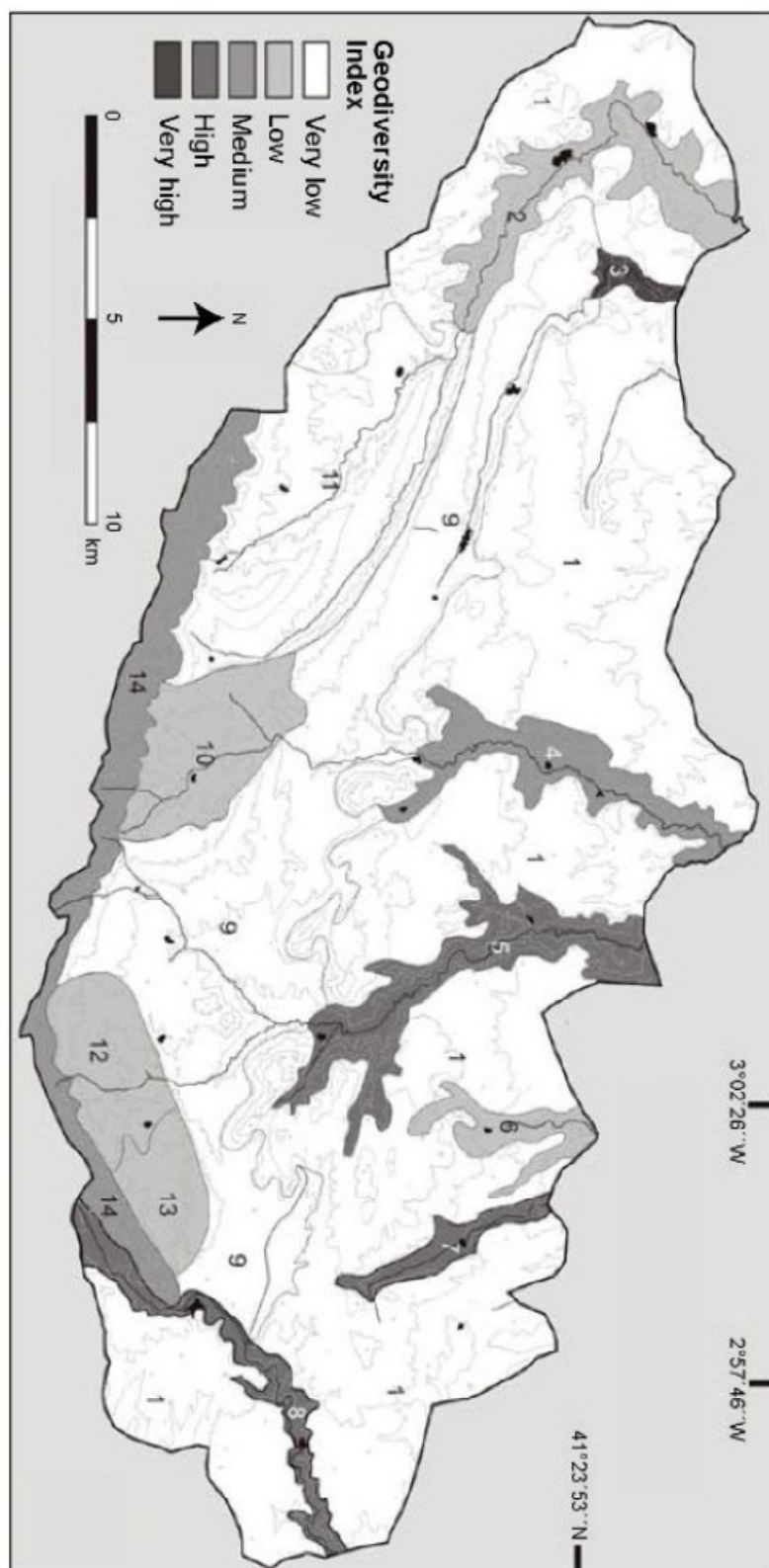


Apêndice 28. . Índice de geodiversidade em grade quadrada de 25 km² - Morro do Chapéu.



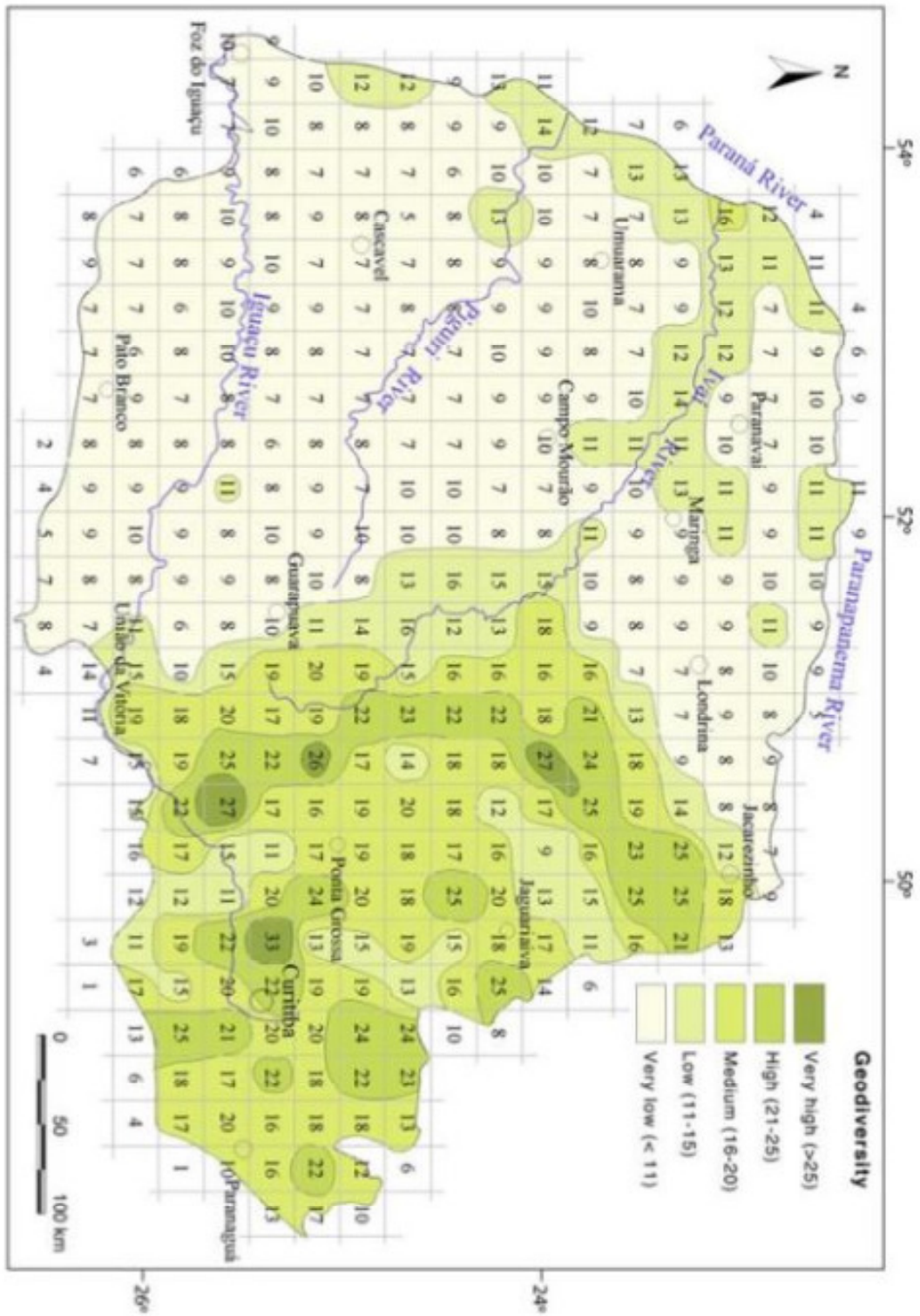
Universal Transversa de Mercator - 24S
 Datum: WGS84
 Fonte: ICMbio, CPRM; JAXA
 Elaboração: Torlay, R.



ANEXOS**ANEXO 1. Índice de geodiversidade (Gd) proposto por Serrano & Ruiz – Flaño (2007)**

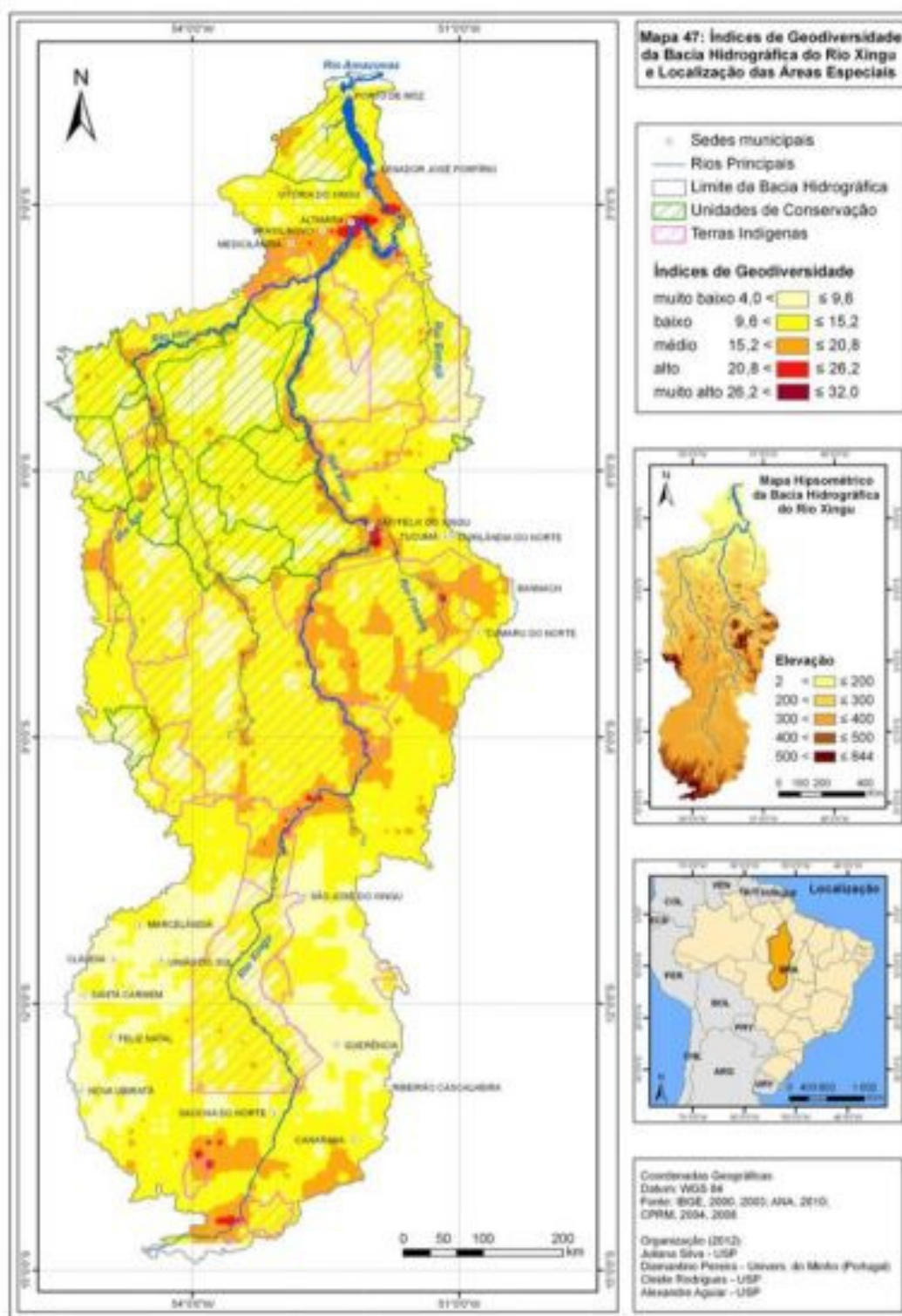
Fonte: Serrano & Ruiz – Flaño (2007).

ANEXO 2. Índice de Geodiversidade proposto por Pereira et al. (2013).



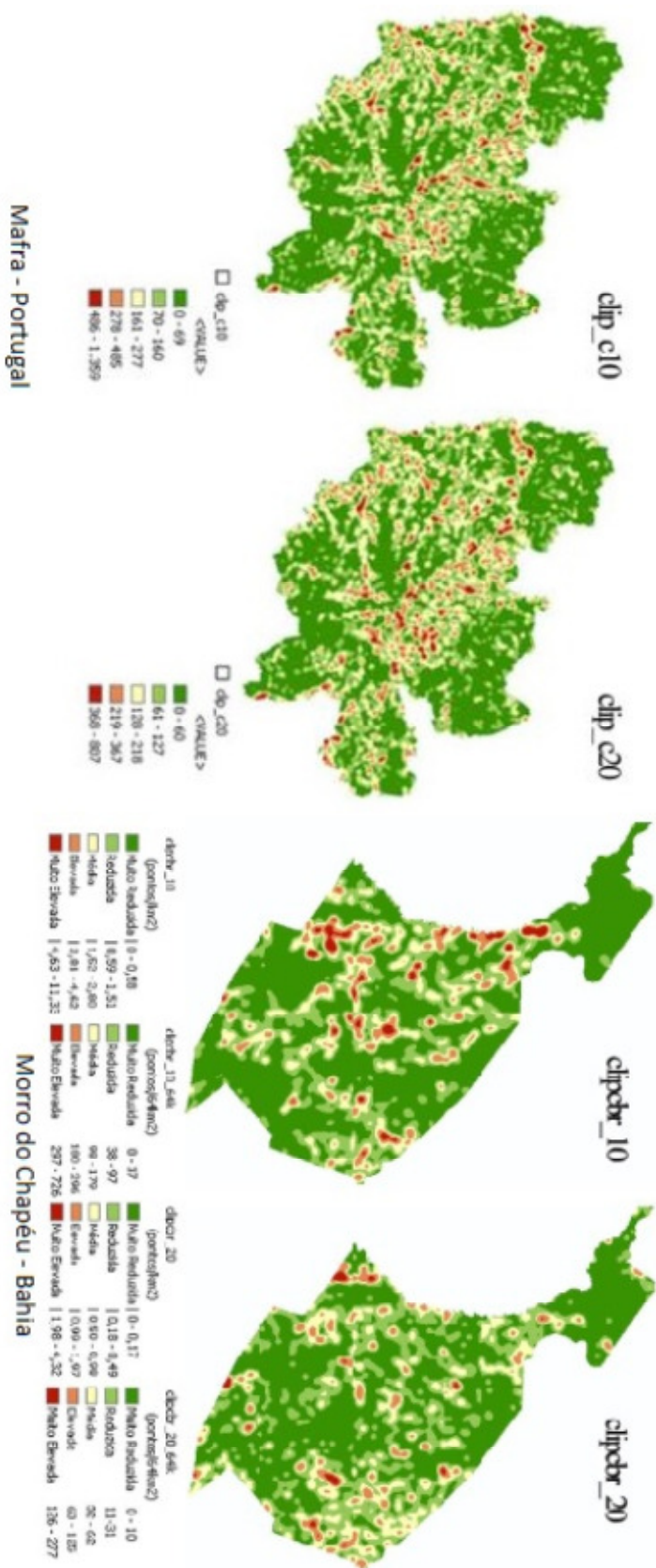
Fonte: Pereira et al. (2013)

ANEXO 3. Índice de Geodiversidade elaborado por Silva et al (2014)



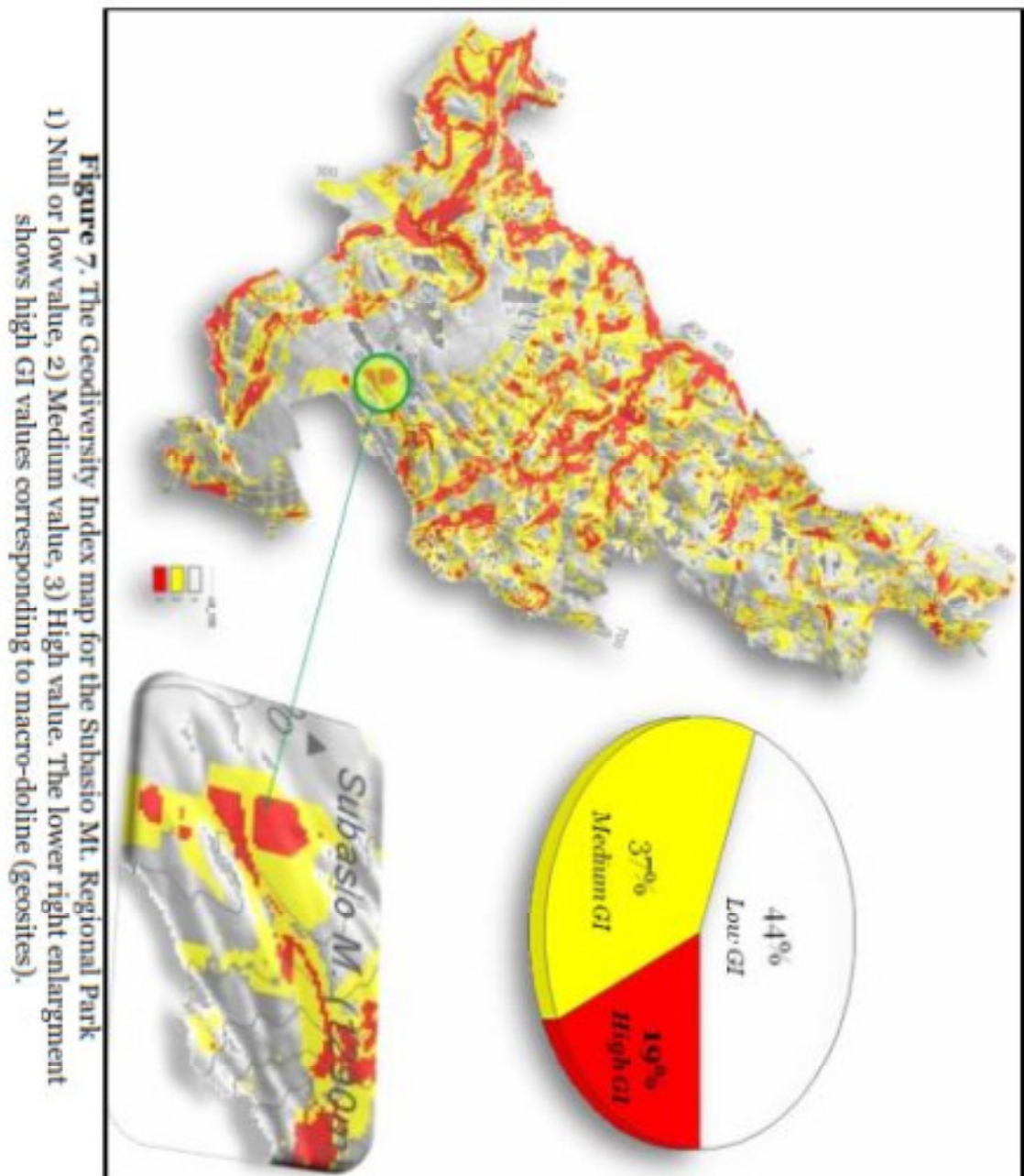
Fonte: Silva et al (2014)

ANEXO 4. Índice de Geodiversidade proposto por Forte (2014).



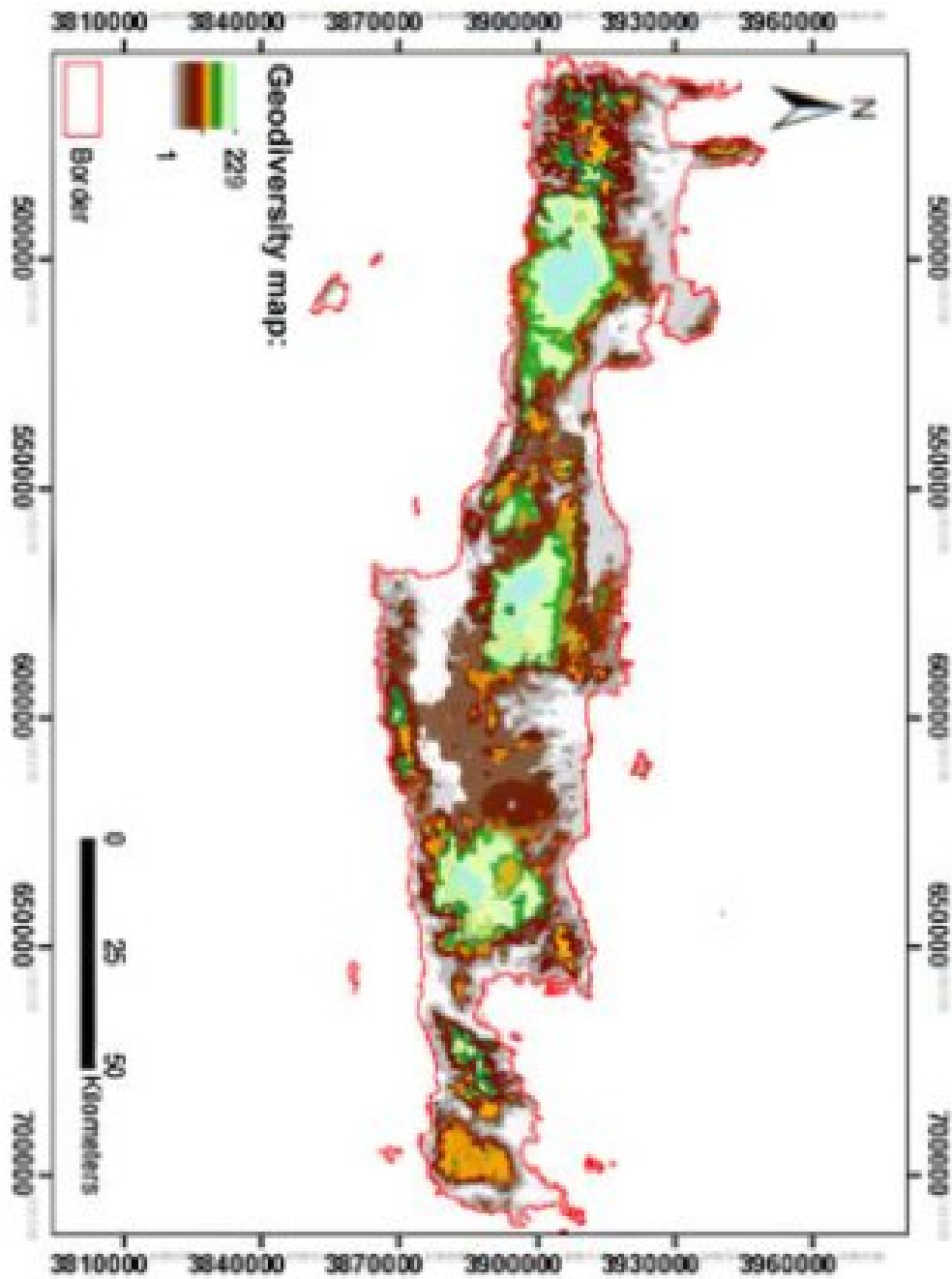
Fonte: Forte (2014)

ANEXO 5. Índice de Geodiversidade proposto por Melelli (2014)



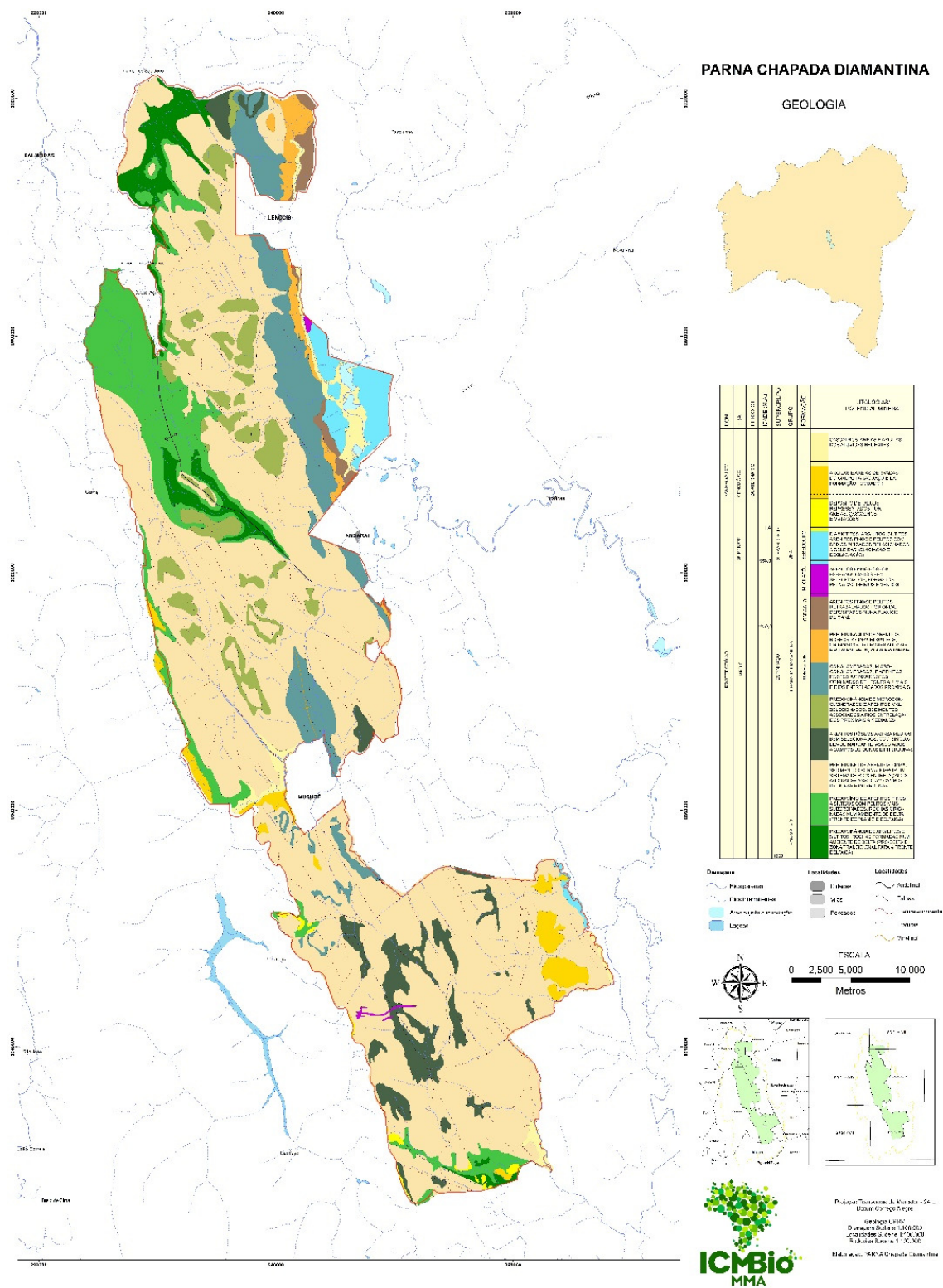
Fonte: Melelli (2014)

ANEXO 6. Índice de Geodiversidade proposto por Argyriou et al., (2016)



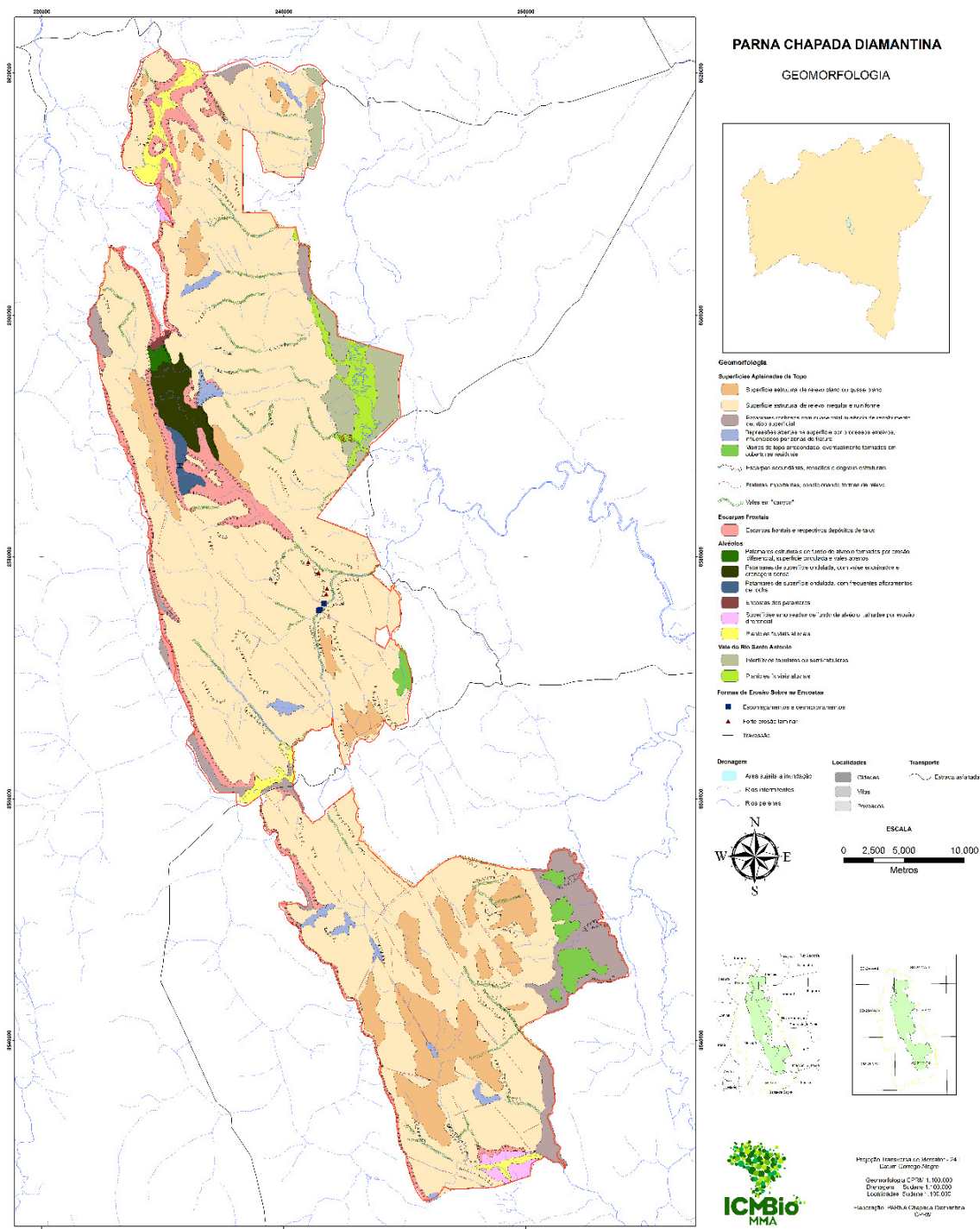
Fonte: Argyriou et al., (2016)

ANEXO 8. Mapa Geológico – PNCD.



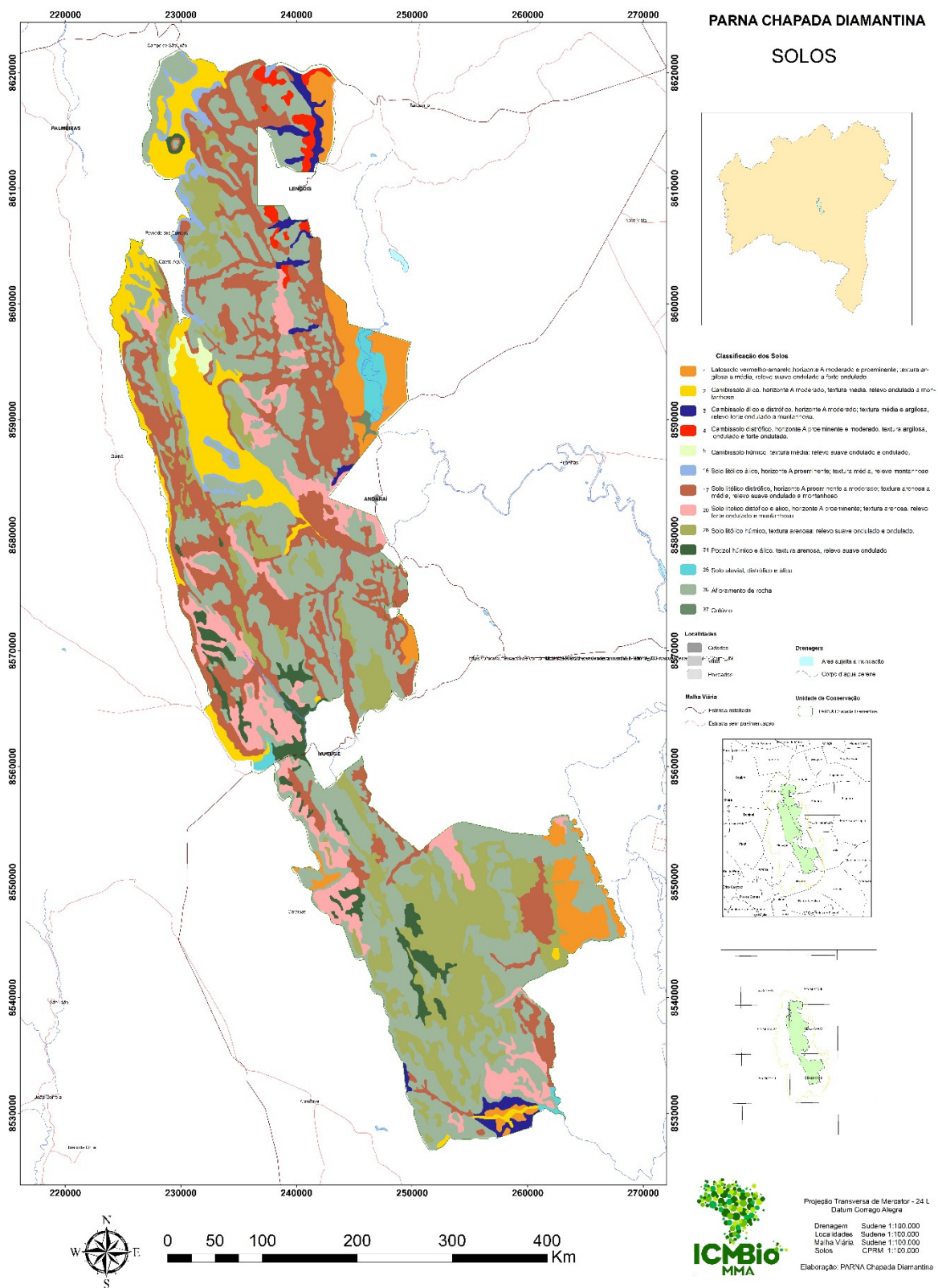
Fonte: ICMBIO; CPRM, (1994).

ANEXO 9.. Mapa Geomorfológico – PNCD.



Fonte: ICMBIO; CPRM, (1994).

ANEXO 10.. Mapa de solos – PNCD.



Fonte: ICMBIO; CPRM, (1994).