

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Geologia

**AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA GEODIVERSIDADE NO TERRITÓRIO DO
PROJETO GEOPARQUE CORUMBATAÍ**

Nayara Narumi Une

Prof. Dr. José Eduardo Zaine

Rio Claro (SP)

2020

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

NAYARA NARUMI UNE

**AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA GEODIVERSIDADE NO
TERRITÓRIO DO PROJETO GEOPARQUE CORUMBATAÍ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Geólogo.

Rio Claro - SP

2020

NAYARA NARUMI UNE

AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA GEODIVERSIDADE NO TERRITÓRIO DO PROJETO GEOPARQUE CORUMBATAÍ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus
de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio
de Mesquita Filho, para obtenção do grau de
Geólogo.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. José Eduardo Zaine (orientador)

Prof. Dr. Marcos Antônio Leite do Nascimento

Dr. Flavio Henrique Rodrigues

Rio Claro, 23 de março de 2021.

 Assinado de forma
digital por Nayara
Narumi Une
Dados: 2021.03.30
13:22:53 -03'00'

Assinatura do(a) aluno(a)

Assinatura do(a) orientador(a)

U56a	Une, Nayara Narumi Avaliação quantitativa da geodiversidade no território do Projeto Geoparque Corumbataí / Nayara Narumi Une. -- Rio Claro, 2020 78 f. : il., tabs., mapas Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Geologia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro Orientador: José Eduardo Zaine 1. Geociências. 2. Geodiversidade. 3. Cartografia. 4. Mapeamento ambiental. 5. Bacias hidrográficas. I. Título.
------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso contou com ajuda de diversas pessoas, dentre as quais agradeço a seguir:

Agradeço ao meu orientador José Eduardo Zaine pela confiança, ajuda e orientação durante toda a elaboração deste trabalho, estando sempre disponível nos momentos de dúvidas e hesitações.

Agradeço a todos os participantes do Grupo de Geoconservação da UNESP - Rio Claro, em especial o André Kolya por toda a sua ajuda e paciência no esclarecimento de diversas questões referente ao trabalho.

Agradeço a todos os professores do Departamento de Geologia que através dos seus ensinamentos permitiram que eu pudesse crescer intelectualmente e profissionalmente.

Agradeço à minha família por não medirem esforços em me proporcionar uma educação de qualidade, me apoiando e incentivando sempre para ser a minha melhor versão. Em especial, a minha mãe e irmã, que sempre estiveram ao meu lado e acreditaram no meu potencial, vocês são a minha fonte inesgotável de inspiração.

Agradeço ao meu amor Pedro Leite por sempre me motivar a querer ser uma pessoa melhor para o mundo e por me acompanhar nessa jornada chamada vida.

Agradeço às minhas companheiras de república por compartilhar seus dias comigo, vocês tornaram os meus dias leves, incríveis e únicos, cada uma de vocês me ensinou algo que levo em meu coração e vida.

Agradeço a todos os meus amigos que me acompanharam e me incentivaram durante toda a minha graduação, vocês transformaram os simples momentos em memórias inesquecíveis.

Por fim, agradeço a todos os demais que direta ou indiretamente contribuíram para a minha formação, muito obrigada!

“ A natureza é o único livro que oferece um
conteúdo valioso em todas as suas folhas. ”
- Johann Wolfgang von Goethe

RESUMO

Por muito tempo, os seres humanos usaram os recursos oferecidos pela natureza para modificar as relações ecológicas a fim de colocar o meio natural à sua disposição. No entanto, não havia preocupação com o esgotamento de recursos e a devastação do meio ambiente. Isso se modificou a partir da década de 1950, com os primeiros debates sobre a conservação da natureza. Esses debates eram quase exclusivamente relacionados à conservação do meio biótico, mas também se mostraram importantes para alavancar um melhor entendimento sobre o meio abiótico. Apesar dessa relação intrínseca entre a geodiversidade e a biodiversidade, trabalhos referentes à biodiversidade são numerosos, enquanto estudos voltados à geodiversidade são escassos. Sendo assim, o conceito de geodiversidade se encontra em processo de desenvolvimento teórico e metodológico, principalmente, no que diz respeito à sua aplicação em estudos ambientais de conservação da natureza, planejamento e gestão territorial. Com o objetivo de contribuir com a divulgação do conceito e as discussões metodológicas sobre os estudos de Geodiversidade, este trabalho realiza uma avaliação quantitativa da geodiversidade a partir da elaboração do Mapa de Índice de Geodiversidade na área da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí (1.710 km²), no estado de São Paulo, Brasil. Nesta área, desde 2016, desenvolve-se o Projeto Geoparque Corumbataí. Este projeto é uma iniciativa regional de desenvolvimento sustentável, e é feito em conjunto com universidades, poder público e comunidade da região. Foram gerados produtos cartográficos que facilitam a visualização de como a riqueza do meio físico está distribuída na área de estudo. Os mapas podem ser aplicados na gestão territorial e na divulgação do conceito de Geodiversidade, como apoio ao desenvolvimento do Projeto Geoparque Corumbataí.

Palavras-chave: Geodiversidade; Projeto Geoparque Corumbataí; Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí; Mapa de Índice de Geodiversidade

ABSTRACT

For a long time, human beings used the resources offered by nature to modify ecological relationships in order to make the natural environment available to them. However, there was no concern about the depletion of resources and the devastation of the environment. This changed in the 1950s, with the first debates on nature conservation. These debates were almost exclusively related to the conservation of the biotic environment, but they also proved to be important to leverage a better understanding of the abiotic environment. Despite this intrinsic relationship between geodiversity and biodiversity, work on biodiversity is numerous, while studies on geodiversity are scarce. Thus, the concept of geodiversity is in the process of theoretical and methodological development, mainly with regard to its application in environmental studies of nature conservation, planning and territorial management. In order to contribute to the dissemination of the concept and methodological discussions on Geodiversity studies, this work performs a quantitative assessment of geodiversity based on the elaboration of the Geodiversity Index Map in the area of the Corumbataí River Basin (1.710 km²), in the state of São Paulo Brazil. Since 2016, the Geopark Corumbataí Project has been developed in this area. This project is a regional initiative for sustainable development, and is carried out in conjunction with universities, public authorities and the community in the region. Cartographic products were generated that facilitate the visualization of how the wealth of the physical environment is distributed in the study area. The maps can be applied in territorial management and in the dissemination of the concept of Geodiversity, in support of the development of the Geopark Corumbataí.

Keywords: Geodiversity; Geopark Corumbataí; Corumbataí River Basin; Geodiversity Index Map.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Serviços ecossistêmicos abióticos.	19
Figura 2.2 - Aplicações dos estudos da geodiversidade.	22
Figura 3.1 - Matriz vetorial (<i>grid</i>) com dimensões de 2000 x 2000 metros.....	29
Figura 3.2 - Mapa pedológico sobreposto pela matriz vetorial.	30
Figura 4.1 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.	34
Figura 4.2 - Mapa da Bacia do Rio Corumbataí com os municípios destacados.	35
Figura 4.3 - Coluna Estratigráfica da Bacia do Paraná na região de Rio Claro, Limeira e Piracicaba (SP).	38
Figura 4.4 - Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.....	39
Figura 4.5 - Mapa Geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.....	45
Figura 4.6 - Mapa pedológico da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.	47
Figura 4.7 - Mapa Hidrográfico da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.....	51
Figura 5.1 - Subíndice Geológico da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.....	55
Figura 5.2 - Subíndice Geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.....	57
Figura 5.3 - Subíndice Pedológico da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.	58
Figura 5.4 - Subíndice Hidrológico da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.	60
Figura 5.5 - Mapa de Índice de Geodiversidade da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.	63
Figura 5.6 - Mapa de Índice de Geodiversidade Interpolado sobrepostos com os sítios de interesse geológico inventariados por Kolya (2019).	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Definição de geodiversidade, geoconservação e patrimônio geológico.	20
Quadro 2.2 - Aplicações e contribuições dos estudos da geodiversidade nos diversos setores produtivos.	23
Quadro 2.3 - Tipos de metodologias de mapeamentos geoambientais.	24
Quadro 3.1 - Atributos escolhidos para a quantificação.	31
Quadro 4.1 - Regiões Governo dos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí. .	33
Quadro 4.2 - Superfícies de erosão específicas da região.	44
Quadro 4.3 - Sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.	52
Quadro 5.1 - Relação das classes obtidas com a geologia local da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.	54
Quadro 5.2 - Relação das classes obtidas com a geomorfologia local da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.	56
Quadro 5.3 - Relação das classes obtidas com a pedologia local da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.	58
Quadro 5.4 - Relação das classes obtidas com a hidrologia local da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Indicadores estatísticos dos municípios da bacia.	36
--	----

LISTA DE SIGLAS

APA	Área de Proteção Ambiental
APP	Área de Proteção Permanente
CEAPLA	Centro de Análise e Planejamento Ambiental
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
DAAE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
E	Leste
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMPLASA	Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano
FEENA	Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade
hab	Habitantes
IAC	Instituto Agrônômico de Campinas
IBGE	Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGG	Instituto Geográfico e Geológico
IPEF	Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais
km	Quilômetros
km ²	Quilômetros quadrados
LIG's	Lugares de Interesse Geológico
m	Metros
M ²	Metros quadrados
N	Norte
PIB	Produto Interno Bruto
RA	Região Administrativa
S	Sul
SEADE	Sistema Estadual de Análise de Dados
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SP	São Paulo
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UNESP	Universidade Estadual Paulista
USP	Universidade de São Paulo
UTM	Universal Transversa de Mercator
W	Oeste

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 CONSERVAÇÃO DA NATUREZA E A GEODIVERSIDADE	17
2.2 GEOCONSERVAÇÃO, PATRIMÔNIO GEOLÓGICO E GEOPARQUES	20
2.3 GESTÃO TERRITORIAL E A GEODIVERSIDADE.....	21
2.4 MAPEAMENTOS GEOAMBIENTAIS	23
2.5 MAPEAMENTO E AVALIAÇÃO DA GEODIVERSIDADE	25
2.6 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA GEODIVERSIDADE E GEOPROCESSAMENTO.....	25
3. MÉTODOS E ETAPAS DE TRABALHO	27
3.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA E LEVANTAMENTO DE MAPAS TEMÁTICOS	27
3.2 GEOPROCESSAMENTO E ELABORAÇÃO DOS PRODUTOS CARTOGRÁFICOS	28
3.2.1 Mapa de Índice de Geodiversidade	28
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	33
4.1 LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS.....	33
4.2 GEODIVERSIDADE	37
4.2.1 Contexto Geológico	37
4.2.1.1 Geologia Regional	37
4.2.1.2 Geologia Local.....	38
a) Grupo Itararé	40
b) Formação Tatuí	40
c) Grupo Passa Dois - Formação Irati	40
d) Grupo Passa Dois - Formação Corumbataí.....	41
e) Grupo São Bento - Formação Piramboia	41
f) Grupo São Bento - Formação Botucatu	42
g) Grupo São Bento - Formação Serra Geral	42
h) Formação Itaqueri	42

i) Formação Rio Claro	43
4.2.2 Contexto Geomorfológico.....	43
4.2.3 Contexto Pedológico	46
4.2.3.1 Argissolos	46
4.2.3.2 Cambissolos	48
4.2.3.3 Chernossolos	48
4.2.3.4 Gleissolos	48
4.2.3.5 Latossolos	48
4.2.3.6 Neossolo.....	49
4.2.3.7 Nitossolos.....	50
4.2.4 Contexto Hidrográfico	50
5. RESULTADOS.....	53
5.1 SUBÍNDICE GEOLÓGICO.....	53
5.2 SUBÍNDICE GEOMORFOLÓGICO	56
5.3 SUBÍNDICE PEDOLÓGICO	58
5.4 SUBÍNDICE HIDROLÓGICO	60
5.5 MAPA DE ÍNDICE DE GEODIVERSIDADE	62
5.6 MAPA DE ÍNDICE DE GEODIVERSIDADE INTERPOLADO E SÍTIOS DE INTERESSE GEOLÓGICOS	62
6. DISCUSSÕES.....	65
7. CONCLUSÃO	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
ANEXOS.....	76
ANEXO A - Quadro comparativo entre os estudos quantitativos realizados no Brasil e consultados na elaboração deste trabalho.....	77

1 INTRODUÇÃO

O meio ambiente natural teve grande papel ao prover as condições necessárias para a evolução da vida. Não diferente, o meio ambiente também foi de grande importância para a evolução da espécie humana. A princípio, a interferência do homem primitivo no meio natural se encontrava em equilíbrio com os ciclos geoambientais, sem grandes impactos em escala temporal ou espacial (CORTEZ, 2011).

Entretanto, a partir de um certo momento o homem primitivo deixou de ser um mero refém das intempéries da natureza e, passou a manejar os recursos naturais e paisagens ao seu dispor, o que possibilitou o avanço da espécie humana e, a construção das sociedades industriais e modernas.

De acordo com Rodrigues (1994), embora os homens e a própria vida seja natural, a natureza em sua totalidade tem sido considerada exterior ao homem e à sociedade, sendo muitas vezes manipulada com o propósito de servir e ser transformada em bens e mercadorias. Ao ponto que, atualmente, a natureza sofre com graves problemas de exaustão de seus recursos naturais e degradação de seus ecossistemas.

Tal cenário trouxe consigo debates referentes à conservação da natureza, esses primeiros debates eram exclusivos sobre a preservação e conservação da biodiversidade, devido às crescentes preocupações relacionadas ao declínio e extinção de espécies, alteração de paisagens e a consequente perda de habitats (GRAY, 2004).

Esses debates, contudo, não levavam em consideração um importante aspecto da natureza: o meio abiótico. Segundo Sharples (2002), o meio abiótico é a metade esquecida da conservação da natureza, já que o maior destaque é dado para os seres vivos e a biodiversidade. Esta percepção desigual sobre a conservação dos meios biótico e abiótico, também é influenciada pelos diferentes entendimentos sobre o que é o meio ambiente e a natureza em si, pois tais conceitos não se apresentam como definições uniformes na sociedade (DULLEY, 2004).

A partir da década de 90, alguns geocientistas começaram a propor discussões sobre a conservação do meio físico, juntamente com a introdução de um termo análogo ao da biodiversidade referente a diversidade dos elementos geológicos, a geodiversidade (SHARPLES, 1993). Inserindo no contexto da conservação da natureza uma perspectiva mais geológica, menos biocentrada.

É importante destacar que os componentes da geodiversidade são responsáveis por dar suporte aos seres vivos e, portanto, se encontram profundamente relacionados aos componentes

da biodiversidade (PEMBERTON, 2000). Porém, devido ao pouco conhecimento dessa relação simbiótica da biodiversidade com a geodiversidade, para a maioria das pessoas os elementos da geodiversidade são apenas “pedras” ou matéria-prima a ser explorada para proveito da sociedade (HENRIQUES & BRILHA, 2017).

Isso também pode ser observado no meio científico, onde os trabalhos referentes a biodiversidade se encontram mais avançados e numerosos, com métodos reconhecidos de inventariação, monitoramento e estratégias de preservação, conservação e gestão (GRAY, 2004). Diferente da geodiversidade, que ainda apresenta certa carência em estudos e métodos de identificação, inventariação, quantificação e proteção (MANOSSO et al., 2012).

Apoiado nesse contexto, este trabalho busca realizar um estudo quantitativo da geodiversidade na Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí, localizada no estado de São Paulo, Brasil.

Nos últimos 40 anos, a Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí vem sendo estudada por pesquisadores de diversas áreas, apresentando grande acervo de pesquisas (CEAPLA, 2011). Na região da bacia há aproximadamente 13.638 hectares de Áreas de Preservação Permanente (APP), o que corresponde a 7,98% de sua área total, além de cinco Unidades de Conservação de Uso Sustentável com grande importância biológica: (1) APA Corumbataí-Botucatu-Tejupá; (2) APA Piracicaba, Juqueri-Mirim; (3-4) Estações Ecológica e Experimental de Itirapina; (5) Floresta Estadual Navarro de Andrade - FEENA (IPEF, 2002; KOLYA, 2019).

Além da biodiversidade, também apresenta grande diversidade abiótica representada por rochas sedimentares e ocorrências pontuais de intrusões magmáticas, com diversas formas de relevo e classes de solos, além de uma importante rede hidrográfica. Por tais motivos, desde 2016, na região da bacia hidrográfica vem sendo desenvolvido o Projeto Geoparque Corumbataí. Em conjunto com a elaboração de diversas pesquisas relacionadas a geodiversidade, como: à inventariação do patrimônio geológico (KOLYA, 2019) e a análise da vulnerabilidade de sítios geológicos (BERTULUCI, 2017), além de ações que promovem a geoconservação.

Visto isso, este trabalho se mostra relevante por divulgar o conceito da geodiversidade e por aplicar uma metodologia de quantificação da geodiversidade, a partir da elaboração de um Mapa de Índice de Geodiversidade na região da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí (SP).

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral elaborar um mapa quantitativo da Geodiversidade no território do Projeto Geoparque Corumbataí, na região da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí - SP, com o intuito de promover um melhor uso do meio físico e a conservação do patrimônio natural abiótico, assim como gerar informações que apoiem o desenvolvimento do Projeto Geoparque Corumbataí.

1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Evidenciar a importância dos estudos sobre a geodiversidade no âmbito dos mapeamentos geoambientais e gestão territorial;
- Gerar mapas de subíndice de geodiversidade referente à geologia, geomorfologia, hidrografia e pedologia;
- Elaborar um Mapa de Índice de Geodiversidade da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí, território do Projeto Geoparque Corumbataí, em escala 1:500.000.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentadas as principais bibliografias e tópicos que fundamentam este trabalho, tais como: geodiversidade, geoconservação, gestão territorial, mapeamentos geoambientais e geoprocessamento. Também serão expostas as diferentes abordagens na caracterização e mapeamento da geodiversidade e suas aplicações.

2.1 Conservação da natureza e a Geodiversidade

Por muito tempo o homem se utilizou dos recursos oferecidos pela natureza, assim como modificou as relações ecológicas a fim de colocar o meio natural ao seu dispor, sem se preocupar com o esgotamento de recursos e a devastação do meio ambiente natural.

A partir da década de 1950 houve uma mudança nesse cenário com o início dos primeiros debates relacionados à conservação da natureza e a formulação de propostas para a tomada de ações (FRANCO et al., 2015). No entanto, esses debates eram quase que exclusivamente relacionados à conservação do meio biótico, com nenhuma menção ou propostas relacionadas ao meio abiótico.

Desde a década de 1990 este paradigma veio se modificando, com os primeiros debates e publicações que colocaram a importância da conservação do meio abiótico em igualdade com a do meio biótico. Um importante passo para isso foi a introdução do termo geodiversidade por Sharples (1993) e outros autores com publicações no mesmo período. Termo este análogo ao da biodiversidade, ou seja, a diversidade dos elementos geológicos no planeta em que vivemos.

De acordo com Gray (2013), a Geodiversidade é "*o alcance natural da diversidade de características geológicas (rochas, minerais e fósseis), geomorfológicas (formas de relevo, topografia e processos físicos), solos e características hidrológicas. Inclui seus conjuntos, estruturas, sistemas e contribuições para as paisagens.*"

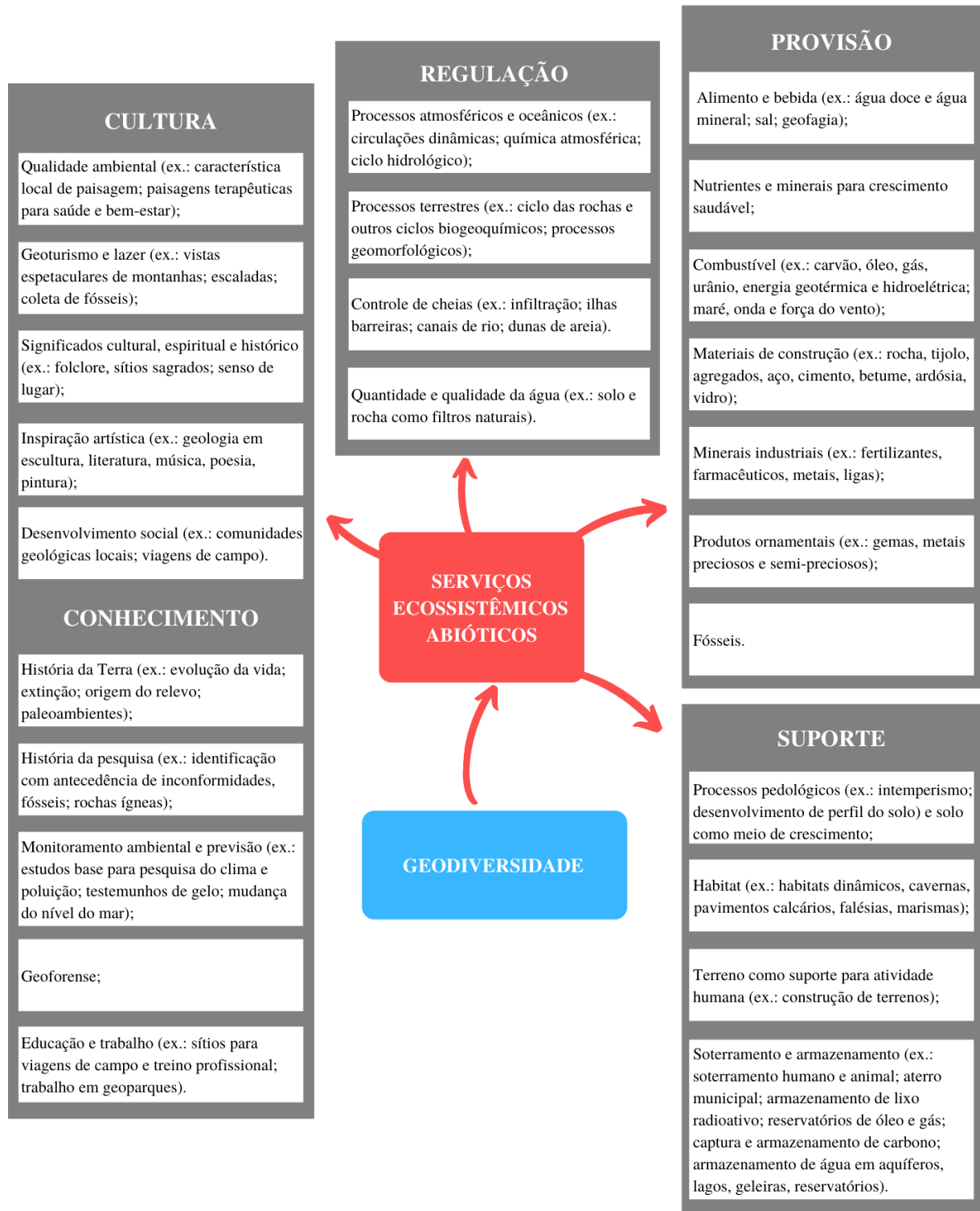
A partir dessa ampla definição é possível notar como os elementos da geodiversidade estão presentes no nosso dia-a-dia. Um bom exemplo disso foi a revolução ocasionada pela descoberta e manuseio dos metais (metalurgia) pelos homens primitivos e, desde então, a presença de minerais (metálicos ou não) em grande parte dos objetos que utilizamos e consumimos durante toda a nossa vida.

Assim, a geodiversidade desempenha um papel de grande importância e valor em nossas vidas e sociedade, e precisa ser conservada tanto quanto a biodiversidade. E como bem colocado por Brilha (2005), só conservamos algo quando ela tem valor para nós, seja ele econômico, cultural, estético, educacional, entre outros. Visto isso, Gray (2004) propôs em seu trabalho os valores da geodiversidade, listados e definidos abaixo:

- **Valor Intrínseco:** é o valor mais subjetivo dado a geodiversidade e o de maior dificuldade para quantificação, pois envolve diversos aspectos religiosos e filosóficos, aspectos esses distintos em cada cultura e sociedade. Esse valor trata da interação do ser humano com a natureza, algo que é intrínseco a nós desde os nossos primórdios.
- **Valor Cultural:** esse valor da geodiversidade se refere sobre a influência do meio físico na construção cultural, social e/ou religiosa da humanidade, assim como sua relação com questões históricas e arqueológicas.
- **Valor Estético:** do mesmo modo que o valor intrínseco, o valor estético é um aspecto bastante subjetivo, visto que a atribuição estética a algo é bem particular a cada indivíduo. Contudo, é certo afirmar que todas as paisagens geológicas apresentam um certo valor estético.
- **Valor Econômico:** esse valor está relacionado ao aproveitamento da geodiversidade para fins econômicos, ou seja, a transformação e o uso de seus recursos como matéria-prima para nossas atividades econômicas, sendo um valor de quantificação mais objetivo, com o qual estamos mais habituados.
- **Valor Funcional:** esse valor se refere a função da geodiversidade em sustentar os sistemas físicos e ecológicos da superfície terrestre, ou seja, o papel da geodiversidade no fornecimento de substrato essenciais, habitats e processos abióticos. Em síntese, aborda a interdependência entre o meio biótico e abiótico no planeta Terra.
- **Valor Científico e Educacional:** visto que o que sabemos hoje nas Ciências da Terra é o fruto da integração de diversos estudos anteriores sobre os elementos da geodiversidade, seu valor científico é inegável. Assim como o meio físico é um grande laboratório para futuras descobertas, ele também é um importante espaço para compartilhamento de conhecimento, tanto para profissionais da área, como para o público em geral.

A geodiversidade é um componente essencial dos serviços ecossistêmicos (Figura 2.1), que são todos os bens e serviços provenientes do ecossistema que beneficiam direta ou indiretamente os seres humanos (COSTANZA et al., 1997; GRAY et al., 2013). O ecossistema, por sua vez, é definido como um conjunto complexo de organismos e fatores físicos que juntos compõem o meio ambiente (TANSLEY, 1935). Apesar de estar claro que os elementos abióticos estão inclusos na caracterização de um ecossistema, há uma disparidade de publicações relacionando-os com os serviços ecossistêmicos (GRAY, 2011). Existem grandes desafios a serem ultrapassados pela comunidade geocientífica, principalmente no que diz respeito à aplicação de políticas de conservação da geodiversidade.

Figura 2.1 - Serviços ecossistêmicos abióticos.



Fonte: Traduzido de Gray et al. (2013).

2.2 Geoconservação, patrimônio geológico e geoparques

Segundo Sharples (2002), a Geoconservação visa a proteção da diversidade natural (ou geodiversidade) de áreas geológicas significativas, assim como de seus processos e características geomorfológicas e dos solos, com o intuito de manter a taxa de evolução natural desses processos. Em síntese, são as ações tomadas para conservar a geodiversidade para futuras gerações (PROSSER et al., 2013).

Diferentemente da biologia da conservação, a geoconservação busca uma abordagem mais abrangente, ao tomar como verdade a relação intrínseca da biodiversidade e da geodiversidade (SHARPLES, 2002).

Entretanto, a abordagem da geoconservação é distinta das perspectivas de outras áreas da geociência relacionada também à conservação do meio ambiente, como por exemplo a área de geologia ambiental e a da gestão de recursos hídricos. Estas buscam impedir a degradação dos elementos da geodiversidade a fim de minimizar os impactos que essa degradação traria na utilização desses recursos. Enquanto a geoconservação visa conservar o valor intrínseco que esses elementos apresentam, sem ter como foco principal somente seu valor utilitário (SHARPLES, 2002).

É importante ressaltar que a geoconservação não engloba todo afloramento existente na superfície terrestre, mas sim sítios geológicos específicos que se enquadrem em um ou mais valores da geodiversidade, classificados como patrimônios geológicos (GRAY, 2004). Sharples (2002), no Quadro 2.1, distingue as definições de geodiversidade, geoconservação e patrimônio geológico:

Quadro 2.1 - Definição de geodiversidade, geoconservação e patrimônio geológico.

Geodiversidade	Diversidade das características geológicas (rocha-mãe), geomorfológicas (relevo) e do solo, assim como suas assembléias, sistemas e processos.
Geoconservação	Conservação da geodiversidade por seus valores intrínsecos, ecológicos e geopatrimoniais.
Patrimônio Geológico	São os elementos da geodiversidade natural que tem valor significativo para os humanos por fins não destrutivos, sem diminuir os seus valores intrínsecos ou ecológicos.

Fonte: Sharples (2002).

A geoconservação foi colocada em prática nos geoparques concebidos e desenvolvidos na Europa no final da década de 1980 (HENRIQUES & BRILHA, 2017). De acordo com Brilha (2009), os geoparques são áreas bem delimitadas geograficamente, com planos de desenvolvimento sustentável fundamentados na conservação do patrimônio geológico juntamente com melhorias nas condições socioeconômicas das populações locais.

Os geoparques tratam de forma holística a geodiversidade e suas relações com a sociedade, também propõe uma visão integradora das políticas de conservação da natureza, gestão territorial, valorização do patrimônio geológico, promoção de atividades geoturísticas e estímulo da educação em geociências, ações essas que trazem consigo grande impacto social (BRILHA, 2009).

2.3 Gestão Territorial e a Geodiversidade

A partir de 1920, devido ao grande aumento populacional e urbanização acelerada foi necessário o desenvolvimento de normas e intervenções de iniciativa pública, denominadas políticas territoriais, com intuito de ordenar o território. Estas políticas de natureza multidisciplinar são responsáveis pelo planejamento e gestão territorial, através da análise da distribuição dos locais destinados à habitação e as atividades produtivas em um dado espaço e, suas formas de utilização pelos agentes envolvidos (MAFRA & SILVA, 2004).

De acordo com a Silva (2008), essas intervenções de ordenamento territorial devem priorizar uma visão sistêmica, ou seja, uma visão abrangente e integradora do meio físico (geodiversidade), do meio biótico (biodiversidade) e das questões sociais, culturais e econômicas. Em relação a geodiversidade, quando aplicada como um instrumento de análise integrada de paisagem, deve ser feita principalmente em função do planejamento territorial sustentável e da conservação do meio ambiente.

A geodiversidade possibilita uma correlação de diversos aspectos relacionados às geociências como, por exemplo, a geologia, geomorfologia, a pedologia e a hidrologia. Segundo Serrano e Ruiz-Flanó (2007), essa correlação de elementos permite que os estudos de geodiversidade seja aplicado em prol da gestão e proteção do meio nos quais a vida é sustentado. Assim como uma ferramenta de planejamento ambiental em: Zoneamentos, Estudos de Impactos Ambientais (EIA), Planos de Bacias Hidrográficas, Planos de Manejo Ambiental, Planos Diretores Ambientais, Áreas de Proteção Ambiental (APA), entre outros (SANTOS, 2004) (Figura 2.2).

Figura 2.2 - Aplicações dos estudos da geodiversidade.



Fonte: Adaptado de Silva (2008).

Diante disso, os estudos da geodiversidade se mostram como um bom instrumento de planejamento, gestão e ordenamento territorial, contribuindo para diversos setores produtivos (Quadro 2.2).

Quadro 2.2 - Aplicações e contribuições dos estudos da geodiversidade nos diversos setores produtivos.

Setor	Contribuição	Resultados
Mineral	Mapeamento geológico, geofísico, geoquímico, bancos de dados. Metalogênese. Mapeamento das variáveis ambientais.	Aumento das reservas minerais e da produtividade do setor. Adoção de modelos sustentáveis.
Agricultura	Hidrologia, hidrogeologia, hidrogeoquímica e geoquímica ambiental, insumos agrícolas, erosão, monitoramento de bacias.	Melhoria da produtividade, adoção de modelos sustentáveis.
Política Agrária	Recursos minerais e hídricos para assentamentos; sustentabilidade ambiental, monitoramento.	Melhoria da produtividade, adoção de modelos sustentáveis. Solução de problemas sociais.
Urbanismo	Hidrologia urbana, hidrogeologia, abastecimento hídrico, geotecnia.	Melhoria da qualidade de vida, aumento da produtividade e adoção de modelos sustentáveis.
Desenvolvimento nacional	Hidrologia e hidrogeologia, recursos minerais, para apoiar os projetos de desenvolvimento, ao longo dos macroeixos de desenvolvimento. Modelamento e monitoramento de bacias.	Adoção de modelos sustentáveis. Redução dos custos de implantação e manutenção das condições ambientais.
Geopolítica e soberania nacional	Avaliação integrada dos recursos naturais, para o desenvolvimento sustentado. Modelamento de bacias, geoquímica ambiental, modelos sedimentométricos, balanço de massa.	Adoção de modelos sustentáveis. Melhoria da imagem nacional, perante as demais nações.
Geomedicina	Geoquímica ambiental, modelamento de bacias. Na análise sistêmica, aplicada à previsão de áreas de risco de endemias.	Melhoria da qualidade de vida e aumento da eficiência dos recursos aplicados na área de saúde, sanitário e urbanismo.

Fonte: Silva (2008).

2.4 Mapeamentos Geoambientais

A crescente demanda de recursos naturais impostas pelas sociedades modernas e industriais ocasionou uma grande interferência no meio natural, trazendo a necessidade de novas ferramentas de estudos ambientais e de gestão territorial. Visto isso, a comunidade geológica, a partir da década de 1980, iniciou os primeiros estudos voltados para a área da Geologia Ambiental (DANTAS et al., 2015).

A Geologia Ambiental é uma área aplicada da geologia que lida com as diversas possibilidades de interações do ser humano com o meio abiótico. Mais especificamente, ela é responsável por prover informações geológicas para resolver conflitos, minimizar a

probabilidade de degradação ambiental e assim, maximizar o uso adequado do meio ambiente natural ou modificado (KELLER, 1982).

Dentro do escopo da Geologia Ambiental, se destacam os estudos de cartografia geoambiental. Segundo Vedovello (2004):

A cartografia geoambiental pode ser entendida de forma ampla, como todo o processo envolvido na obtenção, análise, representação, comunicação e aplicação de dados e informações do meio físico, considerando-se as potencialidades e fragilidades naturais do terreno, bem como os perigos, riscos, impactos e conflitos decorrentes da interação entre as ações humanas e o ambiente fisiográfico (VEDOVELLO, 2004 apud SILVA & DANTAS, 2012, p.3).

A cartografia geoambiental e o mapeamento geoambiental apresenta diversas abordagens, desde uma mais tradicional referente à geotecnia até a abrangência de informações sobre contaminação de águas subterrâneas, riscos naturais e erosão. A cartografia geoambiental pode ser desenvolvida através de duas metodologias principais: a analítica ou a sintética.

Segundo Silva e Dantas (2012), a cartografia geoambiental analítica se baseia na delimitação de Unidades Geoambientais e avaliação de potencialidades e fragilidades frente ao uso e ocupação do solo (por exemplo: obras viárias, mineração, agricultura e turismo). Já a cartografia geoambiental sintética se baseia na definição de Unidades Homólogas as quais são caracterizadas qualitativamente pelos diferentes aspectos do meio físico (suas potencialidades e fragilidades), a fim de contribuir para um planejamento territorial sustentável. No Quadro 2.3, são apresentados alguns exemplos das duas metodologias.

Quadro 2.3 - Tipos de metodologias de mapeamentos geoambientais.

ANALÍTICA	SINTÉTICA
Elaboração de mapas temáticos	Elaboração de mapas de unidades homogêneas
Avaliação de elementos em mapas temáticos	Avaliação das unidades homólogas por foto-análise
Análise multitemática, com enfoque geossistêmico	Análise sintética, com ênfase na informação geológica
Elaboração de mapas de Unidades de Paisagem	Elaboração de mapas de Geodiversidade

Fonte: Silva e Dantas (2010).

Em ambas, há a integração das diversas variáveis do meio físico juntamente aos fatores biológicos e o uso e ocupação do solo, resultando em produtos cartográficos que contém a espacialização desses aspectos sobre o território.

2.5 Mapeamento e Avaliação da Geodiversidade

Dentre os diversos produtos cartográficos possíveis de se obter a partir dos mapeamentos geoambientais, há os estudos referentes à avaliação de patrimônio e mapeamento da geodiversidade. Apesar do reconhecimento do termo dentro da comunidade científica, ainda existem dificuldades de sistematizar as técnicas e ferramentas para promover o mapeamento e a avaliação da geodiversidade em si (ZWOLINSKI et al., 2018).

Nos estudos de caracterização da geodiversidade existentes são observadas duas abordagens principais: qualitativa e quantitativa. Na caracterização qualitativa da geodiversidade há um detalhamento dos valores dos elementos da geodiversidade, por se embasar principalmente nas opiniões dos especialistas é uma análise mais subjetiva, não numérica. Ao passo que a caracterização quantitativa é expressa de maneira mais objetiva por indicar a variabilidade dos elementos da geodiversidade através de parâmetros numérico (BRILHA et al., 2018).

De acordo com os mesmos autores, ambas as caracterizações são satisfatórias para representar a geodiversidade de uma área. Todavia, seus resultados apresentam aplicações distintas, pois os produtos cartográficos da abordagem qualitativa são mais apropriados para fins educativos e de divulgação da geociência. Enquanto, os de caracterização quantitativa são mais adequados para planejamento, ordenamento e gestão territorial.

2.6 Avaliação Quantitativa da Geodiversidade e Geoprocessamento

A avaliação quantitativa da geodiversidade é uma das formas mais comum para analisar e estudar a geodiversidade. Essa metodologia se baseia, principalmente, em medições instrumentais de campo, cálculos numéricos ou geoprocessamento, nos quais são necessários o recolhimento e integração de dados e, posterior, definição de parâmetros e indicadores da variabilidade dos elementos da geodiversidade (ZWOLINSKI et al., 2018).

Um dos métodos para avaliação quantitativa da geodiversidade é o proposto por Serrano e Ruiz-Flanõ (2007). Neste os autores sugerem um índice de geodiversidade que relaciona os elementos do meio físico (geologia, geomorfologia, solos, hidrografia) com a rugosidade da superfície e as unidades geomorfológicas previamente estabelecidas na área, índice esse calculado a partir da fórmula abaixo:

$$Gd = \frac{Eg \cdot R}{\ln(S)}$$

Onde: Gd = Índice de Geodiversidade; Eg = Número de diferentes elementos físicos na unidade; R = Coeficiente de rugosidade da unidade; S = Extensão superficial da área (km²); ln = Logaritmo Neperiano.

O seu resultado permite estabelecer cinco classes de geodiversidade em escala semi-quantitativa (muito baixo a muito alto), baseado principalmente nas características geomorfológicas da área de estudo, o que limita a sua aplicação de forma mais universal. Ainda assim, a avaliação do Índice de Geodiversidade se encontra como um método amplamente desenvolvido nos estudos de geodiversidade, sendo incrementado e modificado pelos estudiosos de acordo com a localidade e escala de trabalho.

Um exemplo, é o trabalho de Pereira et al. (2013) realizado no estado do Paraná, sul do Brasil, que teve como objetivo definir e testar a metodologia do Índice de Geodiversidade aplicável tanto em escala nacional, como em escala regional. No trabalho, os autores buscaram não superestimar um componente (exemplo: litologia e relevo) frente aos diversos componentes da geodiversidade, a fim de produzir um Mapa de Índice de Geodiversidade do Paraná.

A confecção desse mapa foi feita através do cálculo de índices numéricos parciais, que é obtido pela soma dos elementos da geodiversidade que ocorrem em um *grid*. O tamanho do grid é determinado a partir de testes, sendo preferido aquele com uma diferenciação mais precisa dos resultados. Tal cálculo foi feito sobre os mapas temáticos de geologia, geomorfologia, pedologia, paleontologia e de ocorrências minerais, e teve como resultado um índice com cinco classificações de geodiversidade (muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto).

De acordo com Pereira et al. (2013), esse tipo de produto cartográfico permite uma fácil interpretação dos resultados, sendo uma excelente ferramenta de planejamento ambiental para aqueles que não têm ou têm pouco conhecimento geológico. A metodologia proposta pelos autores foi utilizada em diversos outros trabalhos de avaliação quantitativa da geodiversidade no Brasil (SILVA et al., 2015; SANTOS et al., 2017; GONÇALVES, 2018; SILVA et al., 2020; DIAS et al, 2021) e também será utilizada neste trabalho.

3 MÉTODOS E ETAPAS DE TRABALHO

Para a realização da avaliação quantitativa da geodiversidade proposta neste estudo, as etapas de trabalho foram divididas da seguinte forma:

- Pesquisa bibliográfica e levantamento de mapas temáticos da área de estudo;
- Geoprocessamento e elaboração dos produtos cartográficos.

3.1 3.1 Pesquisa Bibliográfica e Levantamento de Mapas Temáticos

Para elaboração deste trabalho foi necessária extensa e contínua pesquisa bibliográfica sobre os assuntos nos quais este está pautado. Ela foi feita a partir da consulta em bancos de dados que são referência na publicação científica de qualidade, como: *ResearchGate*, *Google Acadêmico*, *Elsevier*, *Springer Nature*, repositórios de universidades, entre outros.

No levantamento de mapas temáticos da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí foram utilizados os mapas referente a geologia, geomorfologia, pedologia e hidrografia, listados a seguir:

- Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí (Escala 1:500.000) - elaborado pelo Centro de Análise e Planejamento Ambiental (CEAPLA, 2011), a partir da integração dos mapas litológicos:
 - Serviço Geológico do Brasil - CPRM (1986): Projeto Borda Leste da Bacia do Paraná - Escala 1:100.000;
 - Zaine (1994): Geologia da Formação Rio Claro na Folha Rio Claro (SP) - Escala 1:50.000;
 - Sousa (1997): Caracterização Estrutural do Domo de Pitanga (SP) - Escala 1:50.000.
- Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (Escala 1: 500.000) - elaborado pela Universidade de São Paulo (USP) em parceria com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (ROSS & MOROZ, 1996).

- Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (Escala 1:500.000) - Revisado e Ampliado (ROSSI, 2017).
- Mapa Hidrográfico do Estado de São Paulo (Escala 1: 50.000) - base Hidrográfica do Estado de São Paulo, vetorizada a partir das Cartas Topográficas do IBGE, Instituto Geográfico e Geológico IGG e Departamento de Serviços Geográficos do Exército no âmbito do Projeto GISAT (DAEE, 2018).

3.2 Geoprocessamento e Elaboração dos Produtos Cartográficos

O geoprocessamento e elaboração dos produtos cartográficos foram feitos utilizando o *software Open Source QGIS* (versão 3.10.6), com o propósito de evidenciar a aplicabilidade dos *softwares* livres nos estudos das geociências, assim como observado no trabalho de Silva et al. (2020).

Todos os mapas foram confeccionados no Sistema de Referência: Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum SIRGAS 2000, Fuso 23S.

3.2.1 Mapa de Índice de Geodiversidade

A metodologia a ser desenvolvida neste trabalho seguiu a proposta de Pereira et al. (2013), a mesma é baseada no cálculo de índices numéricos parciais (ou subíndices) sobre mapas temáticos (geológico, geomorfológico, pedológico, hidrográfico, entre outros) para a obtenção de mapas de subíndices de geodiversidade. Posteriormente, esses mapas são sobrepostos em ambiente SIG, gerando o Mapa de Índice de Geodiversidade.

O Mapa de Índice de Geodiversidade permite uma fácil e rápida visualização sobre a distribuição quantitativa e espacial dos elementos da geodiversidade, podendo ser aplicado em ações voltadas para a geoconservação, geoturismo e gestão territorial, também podem ser integrados com estudos de Biodiversidade para uma visão mais ampla da área em estudo (GONÇALVES, 2018).

Neste trabalho, os mapas temáticos adquiridos na etapa de levantamento foram geoprocessados individualmente, gerando mapas de subíndice de geodiversidade referente à geologia, geomorfologia, pedologia e hidrografia. Para o uso desse método, é ideal que todos os mapas a serem analisados estejam em mesma escala e com o maior detalhamento possível, no entanto, esta situação dificilmente ocorre. Deste modo, a escala dos produtos cartográficos

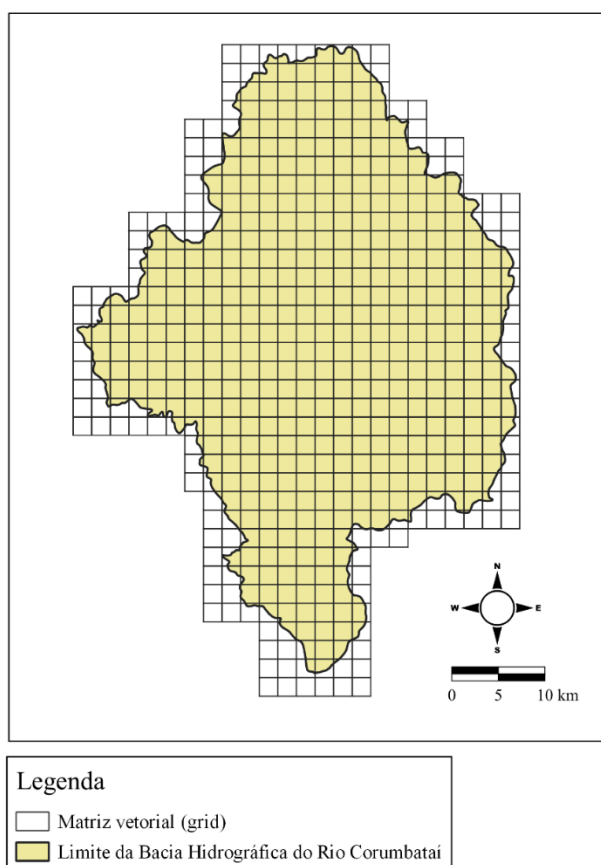
elaborados neste trabalho foi estabelecida de acordo com os mapas de menor detalhe, representados pelos mapas geomorfológico e pedológico, com escala de 1:500.000.

O geoprocessamento, seguiu as etapas propostas por Pereira et al. (2013):

1º) Geração da matriz vetorial (*grid*) a ser sobreposta em cada mapa temático a partir da ferramenta Criar Grade. As dimensões das células da matriz são definidas por meio de testes e/ou a escala de mapeamento, onde as melhores dimensões são nas quais as unidades e ocorrências podem ser contadas e discriminadas entre si (HJORT & LUOTO, 2010; SANTOS et al., 2017).

Neste trabalho, foi escolhida uma malha com células de 2000 x 2000 metros, por ser a que melhor diferenciou as ocorrências dos elementos da geodiversidade na escala e mapas utilizados, resultando em uma malha vetorial com 496 células (Figura 3.1). Malhas com dimensões menores iriam dividir uma única ocorrência em duas, aumentando o índice de geodiversidade. Enquanto, malhas maiores iriam agregar mais de uma ocorrência, diminuindo o índice de geodiversidade da área (SILVA et al., 2020).

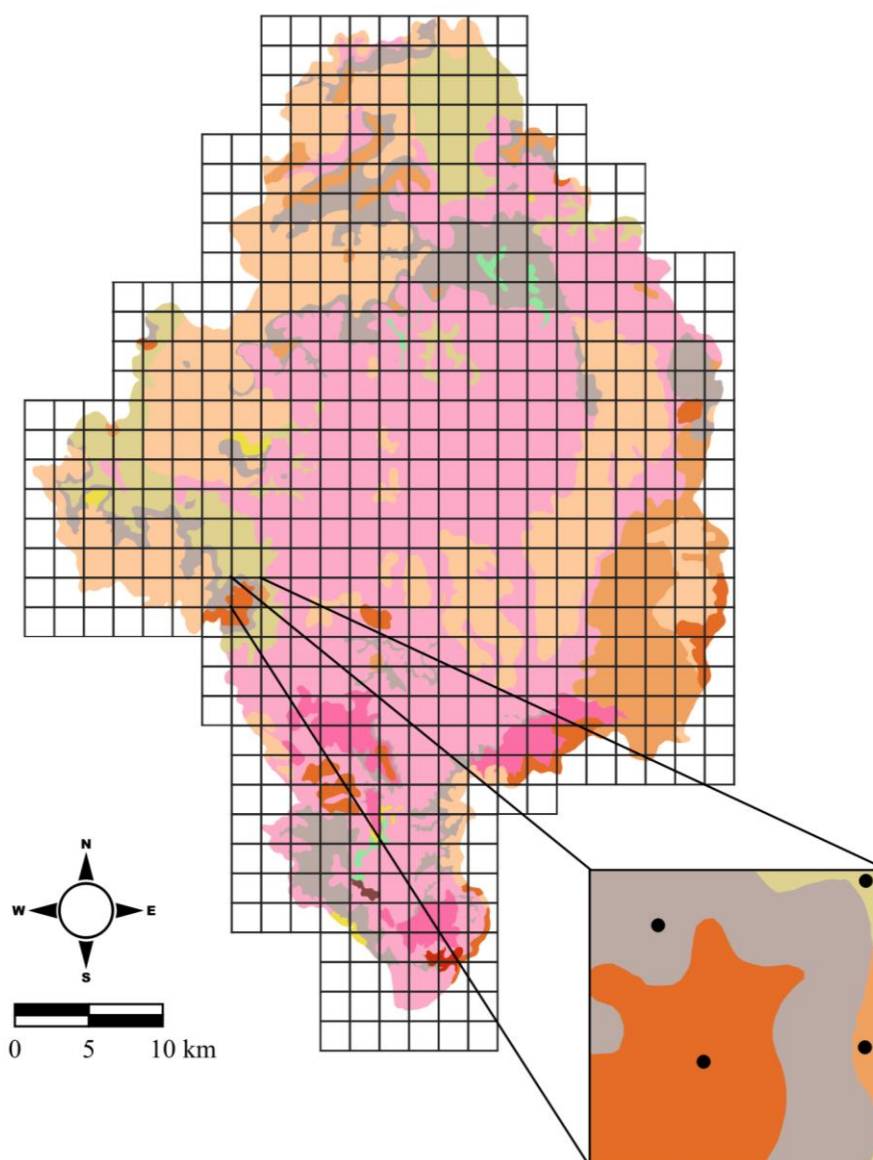
Figura 3.1 - Matriz vetorial (*grid*) com dimensões de 2000 x 2000 metros.



Fonte: Elaborado pelo autor.

2º) Sobreposição da matriz vetorial (*grid*) nos mapas temáticos e contagem das diferentes ocorrências para a obtenção dos mapas de subíndice. A contagem foi feita em cada célula da matriz vetorial, a partir da atribuição de centroides, uma única vez, para as feições com a mesma característica (Figura 3.2), com exceção do subíndice hidrológico que teve sua quantificação feita pelo método de densidade de drenagem e, seguiu as etapas propostas por Gonçalves (2018). Vale destacar que para cada mapa temático foi escolhido um atributo para quantificação, todos esses atributos foram quantificados com o mesmo peso de valor um, a fim de não superestimar um componente da geodiversidade em relação a outro (Quadro 3.1):

Figura 3.2 - Mapa pedológico sobreposto pela matriz vetorial. Destaque para a contagem de ocorrências a partir de centroides (ponto em preto).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 3.1 - Atributos escolhidos para a quantificação.

MAPA TEMÁTICO	ATRIBUTO QUANTIFICADO [Peso do atributo]
Geológico	Formações e Estruturas Geológicas [1]
Geomorfológico	Padrões de Relevos [1]
Pedológico	Classes de Solos [1]
Hidrográfico	Densidade de Drenagens [1]

Fonte: Elaborado pelo autor.

A quantificação do subíndice hidrológico se distinguiu dos outros subíndices, visto que a partir do método de densidade de drenagem é possível obter informações mais relevantes sobre esse elemento da geodiversidade que apenas a contagem de feições não permite, como por exemplo, informações sobre o escoamento superficial e as áreas com maiores contribuições na hidrografia local. Para essa quantificação se utiliza a seguinte fórmula:

$$Dd = \frac{\sum L}{A}$$

Onde: Dd = Densidade de drenagem; $\sum L$ = Somatória dos comprimentos das drenagens. A = Área.

No geoprocessamento, o cálculo dos comprimentos das drenagens foi feito por meio da ferramenta Soma de Comprimento de Linhas (*Sum Line Lengths*). Essa ferramenta permite a integração de uma camada em formato linha (no caso, a rede hidrográfica da bacia) com uma camada em formato polígono (*grid*), calculando o comprimento total das linhas contidas no polígono. Em seguida, utilizando a Calculadora de Campos (*Field Calculator*) foi feito o cálculo da densidade de drenagem, dividindo o comprimento total contido em cada célula pela área de cada célula do *grid*, no caso, 4 km².

3º) Sobreposição dos mapas de subíndice (Figura 3.3) e somatória dos valores parciais de cada célula da matriz vetorial, a partir da ferramenta Unir Atributos pela Localização (*Spatial Join*), resultando no índice total de geodiversidade para a área de estudo. Essa última operação permite que cada célula do *grid* tenha um valor total de geodiversidade associado a ela. Para a

apresentação final dos dados também foi feita uma interpolação IDW dos valores, a fim de se ter um mapa com visualização mais contínua.

Todos os mapas de subíndice e o mapa final de Índice de Geodiversidade após a quantificação foram classificados em cinco classes distintas, quando possível (Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto). Essa classificação foi feita a partir do método de aproximação desenvolvido por Jenks (1977), denominado “*Natural Breaks*” (ou Quebra Natural). A quebra natural é um método que ajusta os limites das classes conforme a distribuição dos dados, os pontos de quebra entre as classes são identificados por meio de uma análise estatística baseada na variação dos dados, o que permite o agrupamento de dados com padrões semelhantes entre si (FERNANDES et al., 2013).

Nos mapas, as classes tiveram suas cores representadas pelo gradiente de cores invertido RdYIGn, tal gradiente foi escolhido por dar destaque (cor vermelha) aos maiores índices, sem poluir a visualização dos mapas.

4º) Correlação do Mapa de Índice de Geodiversidade Interpolado com os geossítios e/ ou LIG's (Lugares de Interesse Geológico) do Projeto Geoparque Corumbataí inventariados por Kolya (2019), com intuito de facilitar a visualização da distribuição espacial dos geossítios e LIG's, os mesmos não foram identificados individualmente.

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 Localização e Aspectos socioeconômicos

A Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí (Figura 4.1) está localizada na porção centro-leste do estado de São Paulo, Brasil. Situada sobre os municípios de Analândia, Corumbataí, Cordeirópolis, Itirapina, Rio Claro, Ipeúna, Charqueada, Santa Gertrudes e Piracicaba, abrangendo uma área de 1.710 km² (GARCIA et al., 2004) (Figura 4.2).

Os municípios, por sua vez, se encontram inseridos na mesorregião ou Região Administrativa de Campinas (RA) que é composta 90 municípios, no total. Uma mesorregião, segundo o Portal Cidades Paulistas (2010), é uma subdivisão dos estados brasileiros que é composta pelo agrupamento de diversos municípios de uma determinada área geográfica com similaridades econômicas e sociais.

A Região Administrativa de Campinas (RA) é um dos principais polos de tecnologia de América Latina, reunindo em sua área um grande número de empresas multinacionais e nacionais de vários setores produtivos, assim como importantes centros de pesquisa e desenvolvimento tecnológico com notabilidade internacional. Além disso, conta com uma boa infraestrutura urbana e extensa malha rodoviária (PORTAL CIDADES PAULISTAS, 2020). De acordo com dados da SEADE (2018), o PIB per capita da mesorregião de Campinas foi responsável por 17,5 % do PIB do estado de São Paulo.

Em relação às microrregiões ou Regiões de Governo, os municípios pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí se dividem em duas regiões principais, como indicado no Quadro 4.1. Uma microrregião, segundo o Portal Cidades Paulistas (2010), é um agrupamento de municípios vizinhos que tem como objetivo compor de forma coletiva o planejamento e a execução de funções públicas.

Quadro 4.1 - Regiões Governo dos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.

Região de Governo	Municípios
Piracicaba	Charqueada e Piracicaba
Rio Claro	Analândia, Cordeirópolis, Corumbataí, Ipeúna, Itirapina, Rio Claro e Santa Gertrudes

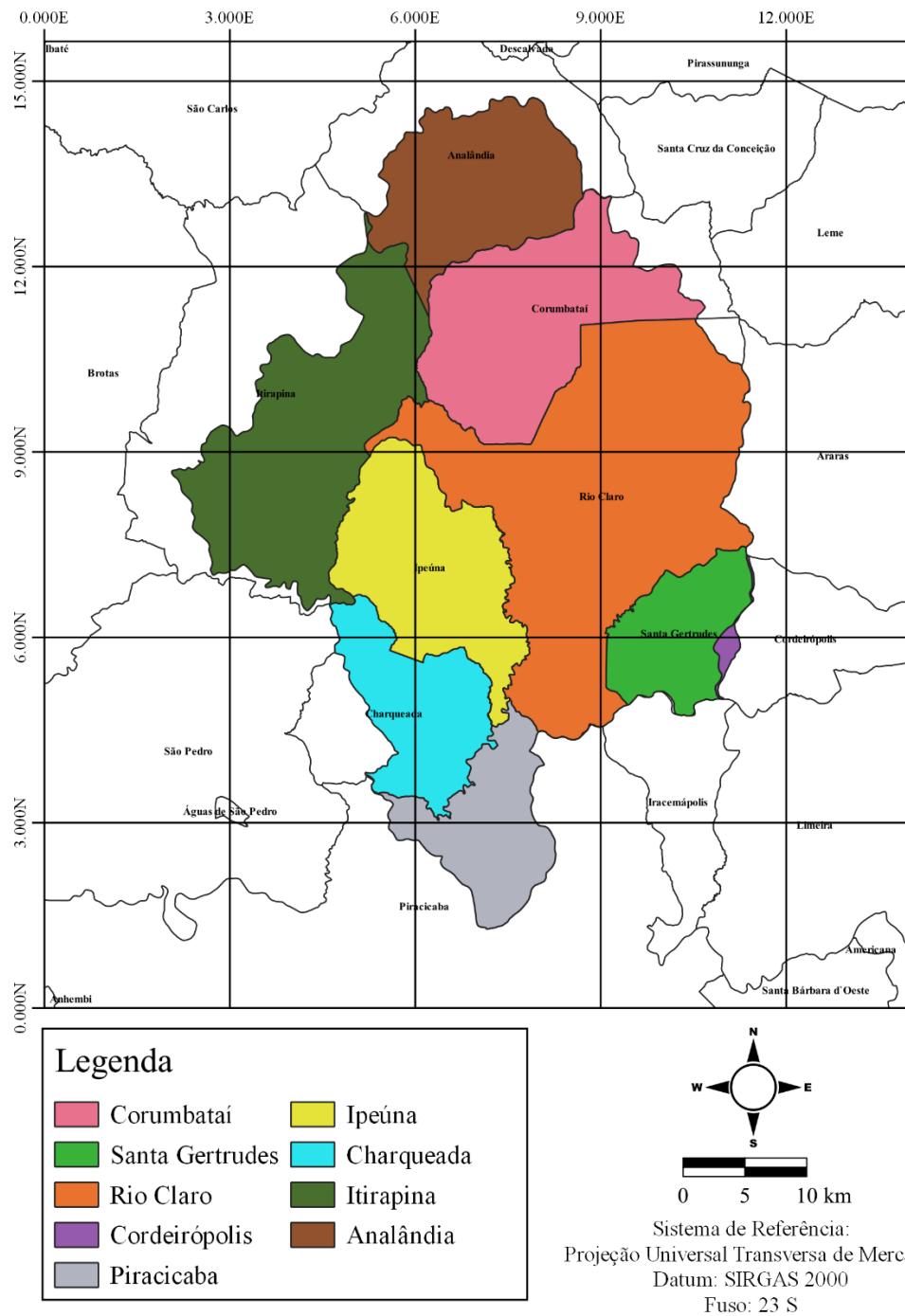
Fonte: Fundação SEADE (2018).

Figura 4.1 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.2 - Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí com as porções dos municípios destacadas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Desses municípios todos, com exceção de Itirapina, integram a Aglomeração Urbana de Piracicaba (AUP), que é composta por 23 municípios: Águas de São Pedro, Analândia, Araras, Capivari, Charqueada, Conchal, Cordeirópolis, Corumbataí, Elias Fausto, Ipeúna, Iracemápolis, Laranjal Paulista, Leme, Limeira, Mombuca, Piracicaba, Rafard, Rio Claro, Rio das Pedras, Saltinho, Santa Gertrudes, Santa Maria da Serra e São Pedro.

Segundo dados do IBGE (2018), juntos esses municípios somam 1,5 milhões de habitantes, o que equivale aproximadamente a 3,25% da população paulista. A AUP é uma importante sede regional de desenvolvimento agrícola e industrial, com empresas nacionais e internacionais de setores variados como: sucroalcooleiro e metal-mecânico, além de indústrias de alimentos, cerâmicas, agroindústrias, entre outras (EMPLASA, 2019). A seguir, na Tabela 4.1 estão expostos alguns indicadores dos municípios da bacia.

Tabela 4.1 - Indicadores estatísticos dos municípios da bacia.

Município	Área (km²)^[1]	Área do município na bacia(km²)	População Estimada (2020)^[2]	Densidade Demográfica (hab./km²)^[3]	PIB per capita (R\$)^[4]
Analândia	325,95	175,60	5.056	13,18	32.880,30
Charqueada	175,85	124,20	17.367	85,79	20.922,56
Cordeirópolis	137,59	6,01	24.826	153,22	116.519,63
Corumbataí	278,62	232,18	4.064	13,90	51.496,46
Itirapina	564,60	281,21	18.387	27,49	21.959,99
Ipeúna	190,01	190,01	7.678	31,66	97.251,20
Piracicaba	1.378,07	115,46	407.252	264,47	55.111,15
Rio Claro	498,42	486,11	208.008	373,69	46.406,99
Santa Gertrudes	98,29	97,87	27.381	220,10	61.314,55

Fonte: IBGE (2019)^[1]; IBGE (2020)^[2]; IBGE (2010)^[3]; IBGE (2017)^[4].

4.2 Geodiversidade

Neste tópico serão descritos os principais elementos da geodiversidade que compõem a área de estudo. Tais elementos serão utilizados na elaboração do Mapa de Índice de Geodiversidade da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.

4.2.1 Contexto Geológico

4.2.1.1 Geologia Regional

Localizado na região centro-leste do estado de São Paulo, a Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí se encontra inserida no contexto do Bacia Sedimentar do Paraná, mais especificamente em sua porção nordeste. De acordo com os trabalhos Schneider et al. (1974) e Fúlfaro et al. (1980), a Bacia do Paraná é uma bacia de caráter intracratônico, de 1.600.000 km² de extensão, com formato ovalado e seu maior eixo orientado na direção norte-sul, constituída por aproximadamente 6.000 metros de rochas sedimentares paleozoicas, mesozoicas e cenozoicas, além de rochas magmáticas intrusiva (diques e soleiras) de idade cenozoica.

De acordo com Milani (1997), este espesso pacote sedimentar é derivado de seis sequências sedimentares depositadas em seis grandes ciclos flexurais de diferentes intervalos de tempo, delimitados por discordâncias de abrangência regional. Sendo elas: Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Gondwana II (Meso a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo).

Esses registros estratigráficos evidenciam uma progressiva continentalização da bacia, que teve início com estratos marinhos, os quais persistiram até o Carbonífero, seguida por uma condição de mar de interior durante o Permiano. No qual foram instalados desertos arenosos no Mesozoico que persistiram até a ruptura do Gondwana, momento marcado por extensos derrames basálticos que foram sucedidos por um novo ciclo de subsidência durante o Neocretáceo (MILANI, 2004).

Com relação a área de estudo, são aflorantes as Supersequência Gondwana I, II e III representadas por rochas paleozoicas do Grupo Itararé, Formação Tatuí e Grupos Passa Dois (Formação Irati e Corumbataí), rochas mesozoicas do Grupo São Bento (Fm. Piramboia, Botucatu e Serra Geral) e a Formação Itaqueri, além de depósitos cenozoicos da Formação Rio Claro (PERINOTTO & LINO, 2006), como observado na Coluna Estratigráfica de Perinotto e Zaine (2008) (Figura 4.3).

Figura 4.3 - Coluna Estratigráfica da Bacia do Paraná na região de Rio Claro, Limeira e Piracicaba (SP).

ERA	PERÍODOS	GRUPO	FORMAÇÃO	LITOLOGIA	Espes. Aprox. (metros)	DESCRIÇÃO SUCINTA	AMBIENTE DE DEPOSIÇÃO
CENOZÓICA	QUATERNÁRIO		RIO CLARO		30	arenitos pouco consolidados com lentes de argilas e níveis conglomeráticos na base (Arenitos = reservatório de água subterrânea em poços rasos da região de Rio Claro)	Continental: Planície aluvial e lacustre, Colúviões
	TERCIÁRIO		ITAQUERI		100	arenitos conglomeráticos e arenitos silicificados / ferricretes	Continental: Leques aluviais, Fluvial e lacustre
MESOZÓICA	CRETÁCEO	SÃO BENTO	SERRA GERAL		100	derrames de basaltos com lentes de arenito na base, Diques e soleiras de diabásio (Basalto e diabásio = matéria-prima para brita)	Magmatismo Fissural
	JURÁSSICO		BOTUCATU		100	arenitos bem selecionados com grãos bem arredondados e bem esféricos, pouca argila	Continental: Desértico
	TRIÁSSICO		PIRAMBÓIA		150	arenitos com grãos arredondados e esféricos. Diversos níveis de lamitos	Continental: Fluvial e Desértico
							<i>Aqüífero Guarani</i>
PALEOZÓICA	PERMIANO	PASSA DOIS	CORUMBATAÍ		100	siltitos contendo lentes de arenitos finos argilitos, siltitos, arenitos finos, níveis de calcários dolomíticos e coquinas (Argilitos = matéria-prima para a indústria cerâmica da região de Rio Claro)	Continental: Lacustre Transicional: Planície de Maré
			IRATI		40	folhelhos, siltitos, folhelhos pirobetuminosos, calcários dolomíticos (pedreiras de calcário na região de Assistência, Ipeúna e Piracicaba/Saltinho)	Transicional: Laguna Marinho Raso: Plataforma
		ITARARÉ	TATUI		50	siltitos e siltitos arenosos	Transicional: Planície Costeira Marinho Raso: Plataforma
			Grupo ITARARÉ (indiviso no Estado de São Paulo)		900	arenitos, siltitos, varvitos e diamictitos (alguns verdadeiros tilitos) (Arenitos = reservatórios de água subterrânea em poços profundos da região)	Continental (Glacial): Aluvial - Leques e Fluvial; Lacustre Transicional: Deltas Marinho (glácio-marinho): Plataformais
	CARBONÍFERO						
Pré-Cambriano			EMBASAMENTO			granitos, migmatitos, gnaisses, xistos, quartzitos	

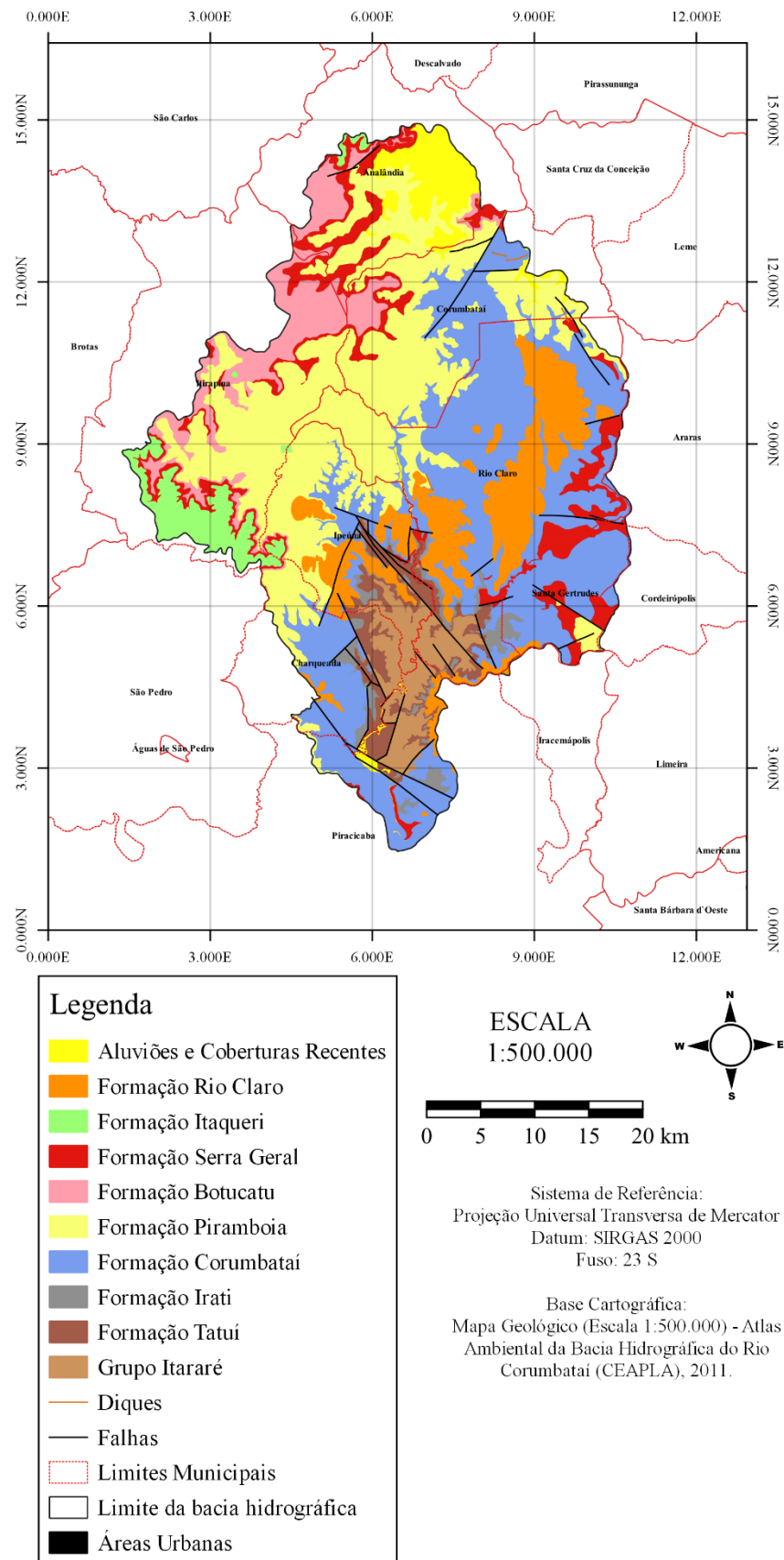
Fonte: Perinotto e Zaine (2008), modificado de Soares e Landim (1975).

Na área de estudo também é observado um alto estrutural de idade mesozoica denominado Domo de Pitanga. De acordo com Perinotto e Lino (2006), esse alto permite o aparecimento de rochas paleozoicas da base da coluna estratigráfica da Bacia do Paraná na região. Entretanto, atualmente o Domo de Pitanga se encontra topograficamente rebaixado devido às drenagens do Rio Corumbataí.

4.2.1.2 Geologia Local

A região da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí abrange diversas unidades litoestratigráficas da Bacia do Paraná (Figura 4.4), nas quais é possível observar grande diversidade de elementos geológicos.

Figura 4.4 - Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.1.2.1 Grupo Itararé

De acordo com Schneider et al. (1974), o Grupo Itararé consiste em uma sucessão sedimentar de depósitos, caracterizados principalmente por diamictitos, que refletem influência glacial, e permanece indiviso no Estado de São Paulo. O Grupo é de idade permo-carbonífera (SCHNEIDER et al., 1974), e ocorre nos vales do Rio Passa Cinco e Corumbataí, na estrutura do Domo de Pitanga (ZAINÉ, 1994). Segundo Soares (1972), o Grupo Itararé constitui-se de arenitos com granulação variável, finos a conglomeráticos, exibindo estratificação cruzada acanalada a plano-paralela, além de siltitos, lamitos e ritmitos, sendo predominante os sedimentos arenosos.

4.2.1.2.2 Formação Tatuí

A Formação Tatuí, de acordo com Perinotto e Zaine (2008), possui espessura média, na Bacia do Paraná, de 50m. Assine et al. (2003) coloca que a Fm. Tatuí exhibe um sistema de plataforma marinha dominada por marés, que prograda para um sistema de leques aluviais costeiros, depositados por fluxos canalizados. São representativos dessa formação arenitos finos com estratificação cruzada *hummocky*, conglomerados, arenitos seixosos com estratificação planar e arenitos de granulação fina a grossa, porém maciços. Segundo Schneider et al. (1974), o contato da Formação Tatuí com a Formação Irati é definido em trabalhos anteriores pela fácies Ibicatu, que consiste de níveis, de até 6 m de conglomerados maciços clasto-sustentados, ricos em grânulos e seixos de sílex e de bioclastos.

4.2.1.2.3 Grupo Passa Dois - Formação Irati

A Formação Irati é dividida em (I) Membro Taquaral, constituído por argilitos, siltitos cinza claro e folhelhos cinza escuro a cinza claro e (II) Membro Assistência, composto por folhelhos cinza escuro, folhelhos pretos pirobetuminosos e calcários (BARBOSA & ALMEIDA, 1949; BARBOSA & GOMES, 1958). O contato inferior, somente no Estado de São Paulo, é discordante (SOARES, 1972), sendo que o contato entre os membros é concordante.

Segundo Schneider et al. (1974), o Membro Taquaral apresenta idade Permiana Superior, e suas características litológicas indicam deposição em ambiente marinho de águas calmas, abaixo do nível de ação de ondas, sendo encontradas laminações plano paralelas como única estrutura sedimentar evidente. Já o Membro Assistência, também de idade Permiana Superior, apresenta características litológicas que sugerem a deposição em ambiente marinho de águas rasas, que por vezes foram propícios para a formação dos folhelhos pirobetuminosos

(SCHNEIDER et al., 1974). Perinotto e Zaine (2008) determinaram espessura média da Formação Irati em 40m para a região.

4.2.1.2.4 Grupo Passa Dois - Formação Corumbataí

A Formação Corumbataí ocorre de forma extensa pelo vale do Rio Corumbataí (PACHECO, 1927) e compreende, em sua parte inferior, argilitos, folhelhos e siltitos de cores cinza escura e, na parte superior, argilitos, folhelhos e siltitos avermelhados e arroxeados, com possível intercalações com carbonato e camadas de arenito muito fino (SCHNEIDER et al., 1974). Warren et al. (2015) ainda define camadas decimétricas de arenito fino encontradas na porção basal da unidade como pertencentes à Formação Serra Alta.

As características da Formação Corumbataí indicam um ambiente marinho de água rasas, de condição redutora na porção inferior, que passa para condições oxidantes em água rasas influenciadas por maré.

De acordo com Schneider et al. (1974), o contato superior com a Formação Piramboia é discordante, enquanto o contato inferior com a Formação Irati é concordante. Entretanto, Warren et al. (2015) dizem que o contato inferior é uma desconformidade devido à aspectos como: (1) superfícies caracterizadas por entalhes erosivos nas camadas subjacentes da Formação Irati; (2) mudança drástica de fácies predominantemente carbonática da Formação Irati para depósitos arenosos da base da Formação Serra Alta; (3) presença de restos retrabalhados de mesossaurídeos nas camadas arenosas basais; e (4) mudança na tendência de elevação do nível de base da bacia evidenciada pela associação de fácies inferior da Formação Serra Alta.

4.2.1.2.5 Grupo São Bento - Formação Piramboia

A Formação Piramboia, de acordo com Schneider et al. (1974), é constituída por arenitos esbranquiçados, amarelados, avermelhados, médios e muito finos, silto-argilosos, de grãos polidos, subangulares e subarredondados, com intercalações de finas camadas de argilitos e siltitos. A formação apresenta estratificações cruzadas, planares e acanaladas, e estratificações plano-paralelas em porções silto-arenosas. Assine et al. (2004) e Schneider et al. (1974) descrevem o ambiente deposicional para a Formação Piramboia como sendo continental fluvial e eólico úmido em ambiente desértico. Essa formação pertence ao Grupo São Bento, de idade Eotriássica, e possui aproximadamente 150 metros de espessura.

4.2.1.2.6 Grupo São Bento - Formação Botucatu

A Formação Botucatu, segundo Assine et al. (2004), é constituída fundamentalmente por arenitos com estratificações cruzadas, acanaladas e tabulares, de médio a grande porte, além de raros depósitos de arenitos com estratificações plano-paralelas, associados à interdunas. De acordo com os mesmos autores, a formação foi depositada em ambiente continental desértico, onde as estratificações cruzadas representam dunas eólicas barcanóides, juntamente com outras feições texturais típicas de depósitos eólicos, como bom arredondamento e seleção, e ausência de matriz argilosa deposicional. Seu contato inferior com o Formação Piramboia é concordante, enquanto seu contato superior com o Formação Serra Geral é discordante (PERINOTTO & ZAINE, 2008). A Formação Botucatu é de idade Jurássica, tendo aproximadamente 100 metros de espessura.

4.2.1.2.7 Grupo São Bento - Formação Serra Geral

A Formação Serra Geral é formada por intrusões de diques e soleiras de diabásio, existentes em grandes quantidades, entre as rochas sedimentares da Depressão Periférica (IPT, 1981). Essas rochas intrusivas, segundo Soares e Landim (1974), são geneticamente relacionadas ao magmatismo de tipo fissural básico que ocorreu durante o Cretáceo. Os derrames consistem em rochas de cor cinza-escuro a preto, afaníticas. As intrusões formam uma rede intrincada de diques que cortam a seção sedimentar antecedente a sua gênese, com múltiplas soleiras intrudidas em planos de estratificação dos sedimentos paleozoicos (MILANI et al., 2007). Por se tratar de um vulcanismo de fissura, as espessuras são variáveis, indo de 50 a 100 metros.

4.2.1.2.8 Formação Itaqueri

A Formação Itaqueri é composta por depósitos de areno-conglomeráticos que se estendem sobre as Serras de Itaqueri, Santana, São Carlos e Cuscuzeiro (ALMEIDA & BARBOSA, 1953). Sua deposição se deu após uma erosão pós-basáltica, em uma superfície aplainada e sem irregularidades (RICCOMINI, 1997). De acordo com o mesmo autor, seu ambiente de sedimentação apresentava condições de média a alta energia, com leques aluviais rudáceos bem desenvolvidos e locais com contribuições mais arenosas, além de áreas com condições mais calmas que permitiram intercalações pelíticas.

O topo e a base da unidade são relativamente regulares, no entanto, no contato superior nota-se a presença de algumas descontinuidades de origem pós-sedimentar (RICCOMINI, 1997). A Formação Itaqueri é constituída por rochas de idades cenozoicas com 100 metros de espessura.

4.2.1.2.9 Formação Rio Claro

A Formação Rio Claro apresenta, como características marcantes, sua fraca litificação e profunda alteração pedogenética, espesso solo arenoso e domínio de litotipos arenosos, esbranquiçados amarelados e avermelhados, que variam de areia fina a grossa, com intercalação de camadas de conglomerados e de sedimentos argilosos (ZAINE, 1994). As estruturas sedimentares presentes são estratificações/laminações plano-paralelas, cruzadas acanaladas e tabulares (MELO et al., 1997). A Formação Rio Claro apresenta contato discordante com as outras formações da Bacia do Paraná. Sobre o ambiente deposicional da formação, ainda se encontra em discussão, porém Schneider et al. (1974), atribui origem continental, em que a sedimentação ocorreu em condições climáticas semiáridas com deposição em ambiente fluvial ou leques aluviais.

4.2.2 Contexto Geomorfológico

O Estado de São Paulo, segundo Almeida (1964), apresenta um relevo que pode ser compartimentado em 5 províncias geomorfológicas distintas: (1) Planalto Atlântico, (2) Província Costeira, (3) Depressão Periférica, (4) Cuestas Basálticas e (5) Planalto Ocidental. Inserida nesse contexto, a Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí está localizada em duas províncias geomorfológicas: a Depressão Periférica Paulista e as Cuestas Basálticas.

A Depressão Periférica é uma faixa com sedimentos paleozoicos, deprimida entre as escarpas da zona de Cuestas Basálticas e o Planalto Atlântico. É subdividida, por particularidades topográficas e morfoestruturais, em três zonas: (1) Zona do Mogi-Guaçu, (2) Zona do Médio Tietê e (3) Zona do Parapanema (ALMEIDA, 1964).

A área de estudo está situada mais especificamente na Zona do Médio Tietê sendo composta em sua maior parte por rochas sedimentares com ocorrências descontínuas de corpos intrusivos como diques e soleiras de diabásio, que exercem um importante papel na topografia. Isso ocorre, pois, as camadas apresentam atitudes que não variam e litologias com diferentes resistências à erosão, o que resulta em um relevo de vertentes assimétricas e desníveis variados (PENTEADO, 1976).

De acordo com Almeida (1964), seus aspectos geomorfológicos mais característicos são topografias pouco acidentadas, onde predominam colinas baixas de formas suavizadas, separadas por vales jovens e vertentes convexas, com ausência de planícies aluviais importantes. É recoberta por uma densa rede de drenagens e alguns rios principais, como o Tietê, Piracicaba e o Sorocaba, que funcionam como condutos de maior capacidade erosiva.

As Cuestas Basálticas representam as bordas dos derrames basálticos em São Paulo, e têm como feições características elevadas e cuestas estonadas, suas camadas apresentam elevada resistência aos fatores intempéricos e grandes espessuras, também apresentam regionalmente leve mergulho para noroeste e cristas com altitudes de 1000 a 1200 metros (ALMEIDA, 1974).

Localmente, na região da bacia são observadas características morfológicas típicas da Depressão Periférica e das Cuestas Basálticas (Figura 4.5). A primeira é representada por colinas tabuliformes de vertentes suavemente convexas e patamares de fraca inclinação dispostos entre 550 e 650 m. Enquanto a segunda tem seu relevo marcado por escarpas de traçado retilíneo com paredes verticais e por morros testemunhos isolados com topo plano (PENTEADO, 1976)

Além disso, são observadas quatro superfícies de erosão específicas da região, descritas no Quadro 4.2.

Quadro 4.2 - Superfícies de erosão específicas da região.

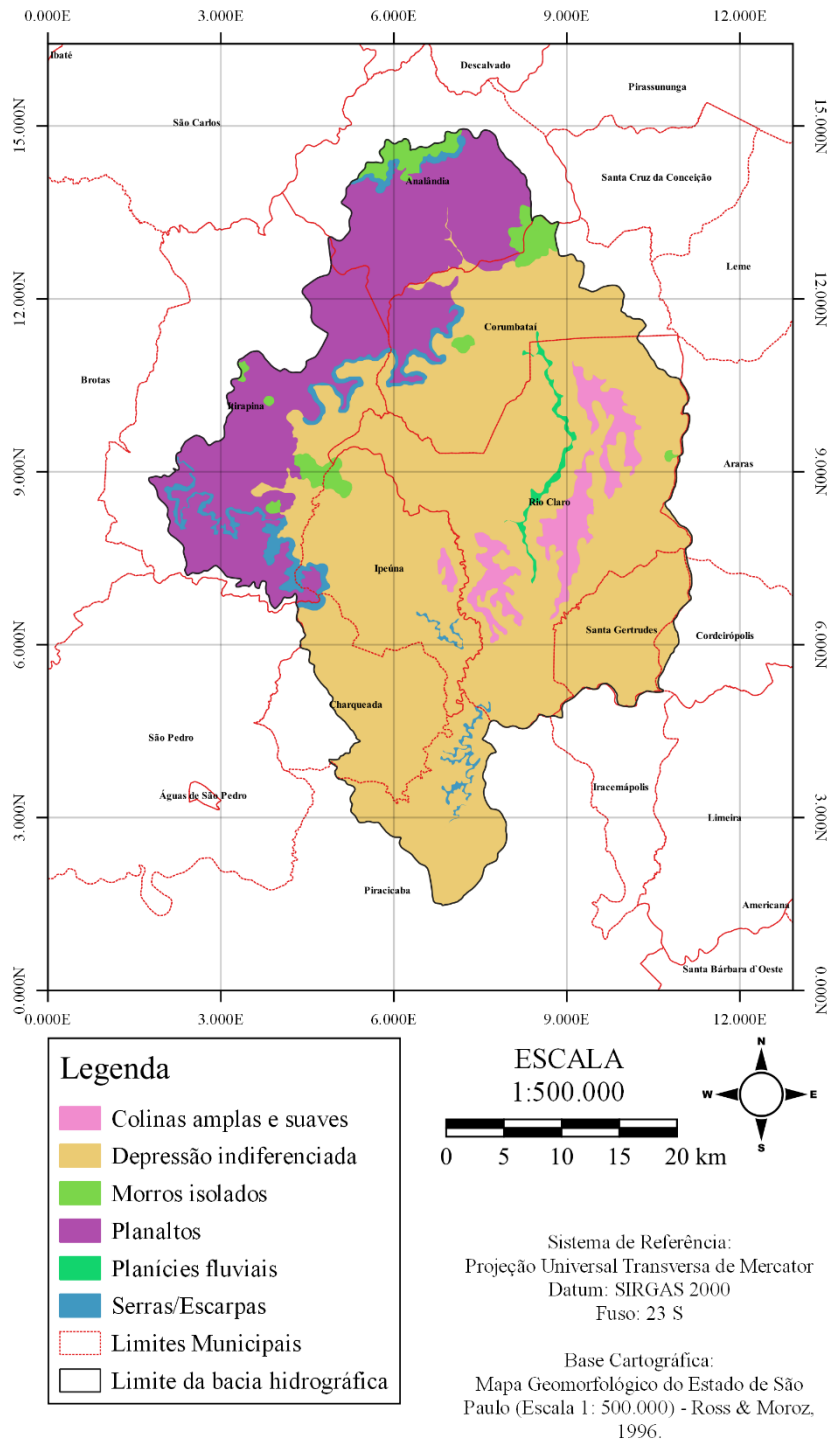
Superfície Cimeira (Cristas Médias)	É a superfície de aplainamento mais antiga, que ocorre cortando as estruturas basálticas, delimitando as regiões oeste, noroeste e norte. Ocorre nas maiores cotas da região (950 m a 1000 m), associada ao topo das escarpas regionais, tais como a Serra Itaqueri e o Morro do Cuscuzeiro.
Superfície Intermediária	Essa superfície ocorre entre a Superfície Cimeira e a Interplanáltica. É caracterizada por morros testemunhos isolados recobertos por sedimentos arenosos modernos com elevações de 800 a 850 metros, que correspondem aos aspectos dos morros divisores de águas das bacias do Rio Corumbataí e Mogi-Guaçu.
Superfície Interplanáltica	A Superfície Interplanáltica ocorre na porção central da bacia do rio Corumbataí e se relaciona com os interflúvios tabulares que dividem as drenagens das sub-bacias do Ribeirão Claro e dos rios Passa Cinco e Cabeças. Ela inclui dois subníveis: a Superfície Rio Claro (nivelada em 600-630 m) e a Superfície Urucaia (nivelada em 690-720 m).
Superfície de Baixos Níveis	Essa superfície ocorre nas vertentes dos interflúvios na forma de patamares escalonados. É dividida em três subníveis: Patamares, Terraços de Cascalheiras e Várzeas, que se situam no alto dos interflúvios (600-650 m) e no fundo dos vales (540-600m).

Fonte: Penteado (1976).

Na região, também são evidentes feições de relevo muito diversificadas, decorrentes da intensa erosão se comparado a suas áreas vizinhas, por exibir estruturas resistentes ressaltadas

na topografia local, consequência de fases climáticas quentes e úmidas até fases mais secas, somada às ações erosivas dos rios que cortam a área (ALMEIDA, 1964).

Figura 4.5 - Mapa Geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.3 Contexto Pedológico

Segundo a definição da Embrapa (2018), o solo é um conjunto de corpos naturais composto por partes sólidas, líquidas e gasosas. É um importante sistema dinâmico formado por materiais orgânicos e minerais que se estende em grande parte do manto superficial das extensões continentais do planeta Terra, que dão suporte a biodiversidade e a demandas antrópicas. Portanto, o conhecimento dos solos de uma determinada área é uma importante ferramenta de planejamento e ordenamento territorial, ao ponto que permite prever o potencial de uso e ocupação do local (CEAPLA, 2011).

De acordo com o Mapa Pedológico do Estado de São Paulo, em escala 1:500.000 (ROSSI, 2017), a região da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí apresenta em sua cobertura 11 tipos de solos (Figura 4.6): (1) Latossolo roxo; (2) Latossolo vermelho-escuro; (3) Latossolo vermelho-amarelo; (4) Argissolo vermelho-amarelo; (5) Argissolo vermelho-escuro; (6) Nitossolo vermelho; (7) Chernossolo; (8) Cambissolo; (9) Neossolo Quartzarênico; (10) Neossolo Litólico; (11) Gleissolo.

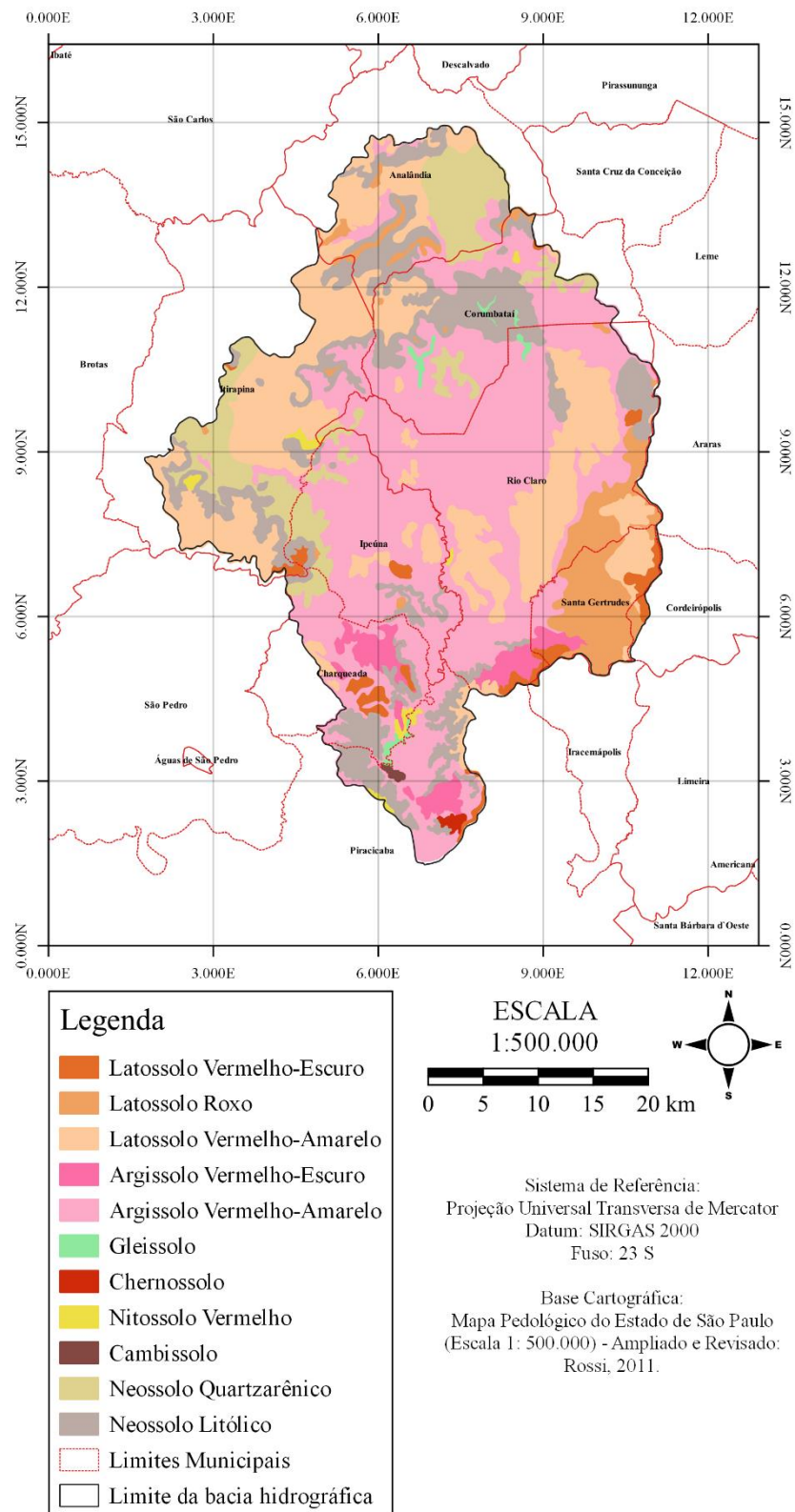
4.2.3.1 Argissolos

Com o prefixo derivado do termo em latim *argilla* (“argila”), os argissolos são solos com processo de acumulação de argila (EMBRAPA, 2018). Em trabalhos de campo, são de fácil reconhecimento por sua nítida diferenciação entre as camadas e horizonte, por seu aumento no teor de argila em profundidade. Podem ser classificados de acordo com a sua cor (amarelada, brunada ou amarelada) e textura (arenosa/médio, média/argilosa e argilosa) (IAC, 2015):

- **Argissolos de textura arenosa/média:** são desenvolvidos por materiais de diversas origens, com exceção de rochas básicas e rochas sedimentares finas como o folhelho. Podem ocorrer em relevos mais suavizados a ondulados, são solos caracterizados por apresentar pouca coesão em superfície e menor permeabilidade nos horizontes subsuperficiais e, portanto, são mais susceptíveis a erosão.
- **Argissolos de textura média/argilosa e argilosa:** são desenvolvidos por rochas ígneas, metamórficas e rochas sedimentares finas (pelitos). Podem ocorrer em diferentes condições de relevo e, apresentam elevada capacidade de água disponível, no entanto, à pouca profundidade esses solos podem ter limitações por causa de seus aspectos físicos.

Segundo Lepsch (2010), a maior parte dos argissolos são proveitosos para a agricultura desde que não situados com fortes declives, já que são muito sujeitos à erosão. Além disso, geralmente são ácidos e pobres de nutrientes, necessitando de corretivos e fertilizantes.

Figura 4.6 - Mapa pedológico da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.3.2 Cambissolos

Com o prefixo derivado do termo em latim *cambiare* (“trocar”; “mudar”), os cambissolos são solos que se encontram em formação e/ou transformação (EMBRAPA, 2018). De acordo com Lepsch (2010), são solos embriônicos com poucas características diagnósticas.

Portanto, são solos com características bem variáveis, mas que sempre apresentam textura média ou mais fina e ausência de desenvolvimento pedogenético. Normalmente, ocorrem em pequena profundidade, com elevado teor de minerais herdados da rocha-mãe e fragmentos de rocha em meio a massa de solo (IAC, 2015).

Seus perfis de solo mais típico ocorrem em locais de relevo acidentado, o que dificulta o seu manejo para fins agrícola. Além do mais, são solos com pouca espessura e alta quantidade de fragmentos rochosos, o que dificulta ainda mais a prática agrícola (LEPSCH, 2010).

4.2.3.3 Chernossolos

Com o prefixo derivado do russo *charniy* (“preto”), os chernossolos são solos ricos em matéria orgânica com coloração escura (EMBRAPA, 2010). São caracterizados por um horizonte superficial espesso, escuro e rico em matéria orgânica e argilominerais, sua formação ocorre sob diversas condições climáticas a partir de diferentes materiais, principalmente, por rochas ricas em cálcio, magnésio e minerais esmectíticos (LEPSCH, 2010). De acordo com o mesmo autor, são solos com elevado potencial agrícola por dois fatores principais: (1) horizonte de grande espessura e (2) solo quimicamente rico.

4.2.3.4 Gleissolos

Os gleissolos (do russo *gley*, “massa de solo pastoso”) são solos com excesso de água (EMBRAPA, 2018). Eles são formados principalmente em planícies ou várzeas inundáveis com condições saturadas de água, são solos com colorações acinzentadas e textura variável de arenosa e argilosa (IAC, 2015).

Por serem solos que permanecem encharcados de água a maior parte do ano, a sua utilização na agricultura deve ser feita após alguns manejos, como: a drenagem da água e a construção de diques para evitar inundações (LEPSCH, 2010).

4.2.3.5 Latossolos

Os latossolos (do latim *lat*, “tijolo”) são solos muito intemperizados com pequena diferenciação dos horizontes, em campo são facilmente reconhecidos por sua cor quase

homogênea em toda a sua profundidade. São caracterizados por horizontes de grande espessura, bem drenados com baixa capacidade catiônica e, com texturas que variam de médias a mais finas. Podem ser classificados de acordo com sua textura e cor, dos quais se destacam (IAC, 2015):

- **Latossolos Vermelhos (e Roxo) de textura argilosa ou muito argilosa:** são solos com caráter férrico desenvolvidos a partir de rochas básicas, ocorrem na região das Cuestas Basálticas e na Depressão Periférica, associados aos derrames de lava da Formação Serra Geral. Apresentam alto potencial para uso agrícola por serem quimicamente ricos e mecanicamente estáveis.
- **Latossolos Vermelho-Amarelo de textura argilosa:** são solos desenvolvidos a partir de rochas sedimentares finas (exemplo: folhelhos e siltitos), assim como de rochas de origem ígnea e metamórfica. Apresentam boa a moderada permeabilidade, friabilidade e moderada retenção de água, ou seja, condições favoráveis para a agricultura.
- **Latossolos Vermelhos-amarelos de textura média:** são solos desenvolvidos a partir de arenitos que apresentam elevada permeabilidade, baixa retenção de água e baixa coesão, características essas que os fazem serem sensíveis ao manejo agrícola. Quimicamente, também são desfavoráveis por serem solos ácidos com baixa retenção de cátions. Além disso, suas propriedades físicas fazem com que sejam mais susceptíveis aos processos erosivos quando em altas declividades.

De acordo com Lepsch (2010), o processo responsável pela gênese dos latossolos é a laterização associada à prolongada bioturbação. Esses processos de laterização são bem marcantes no Brasil, devido às condições de clima tropical úmido que atuam por um longo período sobre um relevo quase plano. Os Latossolos são os solos com maior expressão geográfica no Brasil, abrangendo cerca de 300 milhões de hectares e, popularmente são conhecidos como “terras roxas”.

4.2.3.6 Neossolo

Com o prefixo derivado do grego *neo* (“novo”), os neossolos são solos com pouco desenvolvimento pedogenético (EMBRAPA, 2018). De acordo com Lepsch (2010), são solos com pouca ou nenhuma evidência de horizontes pedogenéticos em subsuperfície, são desenvolvidos a partir de materiais praticamente inertes, sem argilas e com predomínio de areias quartzosas. E podem ser classificados em: Quartzarênicos e Litólicos (IAC, 2015).

- **Neossolos Quartzarênicos:** ocorrem em relevos suavizados a partir de arenitos, apresentam muito baixa coesão, o que os fazem ser muito susceptíveis à erosão. Também mostram elevada permeabilidade e baixa retenção de água e nutrientes.
- **Neossolos Litólicos:** são solos com horizontes pouco espessos e pedregosidade que ocorrem em regiões de relevo mais dissecado ou íngreme. Devido às suas propriedades físicas apresentam baixo potencial agrícola.

4.2.3.7 Nitossolos

Os nitossolos (do latim *nitidus*, “brilhante”) são solos medianamente profundos, bem intemperizados e com pequena diferenciação de horizontes, que apresenta em meio ao horizonte B, nítidos e reluzentes macro agregados nítico (LEPSCH, 2010).

No estado de São Paulo, se destacam os nitossolos vermelhos também conhecido como “terras roxas estruturadas”, eles são desenvolvidos a partir de rochas básicas (basaltos e diabásios) e frequentemente ocorrem em relevos ondulados, são caracterizados por boa coesão nos horizontes superficiais, elevada capacidade de água disponível, moderada permeabilidade e boa fertilidade (IAC, 2015).

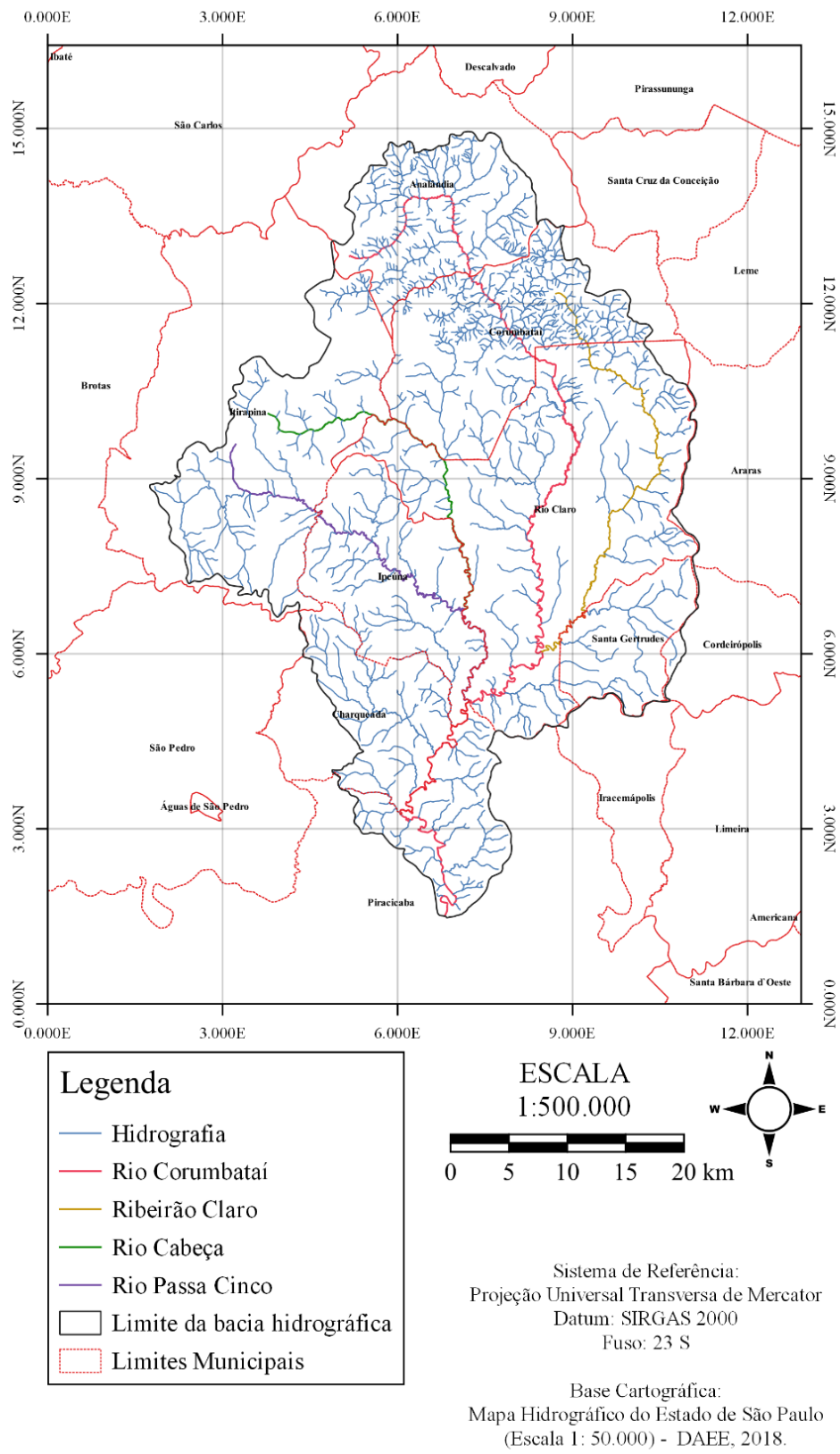
Segundo Lepsch (2010), os nitossolos juntamente com os latossolos de caráter férrico são as classes de solos com maior expressividade no uso agrícola, sendo considerados os solos mais produtivos dos trópicos úmidos.

4.2.4 Contexto Hidrográfico

A Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí está inserida na UGRHI 5 (Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos), juntamente com as bacias do rio Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Ela é formada por quatro rios principais: (1) Rio Corumbataí, (2) Rio Passa Cinco, (3) Rio Cabeça e (4) Ribeirão Claro (CEAPLA, 2011).

De acordo com o Atlas Ambiental da Bacia do Rio Corumbataí (2003), seu principal rio é o Corumbataí (Figura 4.7) com extensão de aproximadamente 120 km. Sua nascente está localizada na Serra do Cuscuzeiro com elevação de 1060 metros e sua desembocadura no Rio Piracicaba com elevação de 470 metros, totalizando um desnível de 590 metros com declividade média em torno de 1,7% (KOLYA, 2019).

Figura 4.7 - Mapa Hidrográfico da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Bacia do Rio Corumbataí é dividida em cinco sub-bacias (Quadro 4.3):

Quadro 4.3 - Sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.

Ribeirão Claro	Está situada na porção leste da Bacia do Rio Corumbataí e tem como principal contribuinte seu rio homônimo.
Passa Cinco	Situada na porção oeste da bacia têm como principais contribuintes os rios Cabeças e Passa Cinco.
Alto Corumbataí	Localizada na porção norte da Bacia do Rio Corumbataí, representa a área de nascente do Rio Corumbataí na região de Analândia.
Médio Corumbataí	Situada na porção central da bacia, corresponde a área de encontro do Rio Corumbataí com os rios Cabeça, Passa Cinco e Ribeirão Claro.
Baixo Corumbataí	Localizada na porção sul da Bacia do Corumbataí, representa a área de desembocadura do Rio Corumbataí.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A rede de drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí tem suas principais características relacionadas à influência de fatores tectônicos sobre diferentes aspectos litoestruturais e geomorfológicos (CEAPLA, 2011).

De acordo com Sousa (2002), esses fatores tectônicos estão associados ao Sistema de Falhas Ipeúna-Piracicaba, um arranjo de falhas normais de *trend* preferencial NW-SE e NE-SW com presença de algumas falhas isoladas de *trend* N-S e E-W. Esse sistema de falhas está relacionado a uma atividade neotectônica e, é um importante fator condicionante das drenagens e da paisagem ao longo do Rio Corumbataí e seus afluentes.

5 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os produtos cartográficos obtidos a partir da quantificação dos subíndices de geodiversidade referentes à geologia, geomorfologia, pedologia e hidrografia. Também apresenta o Mapa de Índice de Geodiversidade e a sua sobreposição com os geossítios e LIG's inventariados por Kolya (2019).

Todos os subíndices foram quantificados com o mesmo peso (valor um) e classificados em cinco classes distintas (Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto), com exceção dos subíndices de geomorfologia e hidrologia que não alcançaram as cinco classes, mas sim quatro. Os mapas de subíndice de geomorfologia e hidrologia foram classificados, portanto, em quatro classes distintas (Muito Baixo, Baixo, Alto e Muito Alto). Optou-se por remover a classe Médio visto que os valores de extremidades são mais relevantes na visualização dos resultados.

5.1 Subíndice Geológico

A Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí apresenta uma diversidade litológica caracterizada principalmente por rochas sedimentares pertencentes ao Grupo Itararé, a Fm. Tatuí, Fm. Irati, Fm. Corumbataí, Fm. Piramboia, Fm. Botucatu, Fm. Itaqueri e Fm. Rio Claro, e rochas magmáticas intrusivas ligadas à Fm. Serra Geral, há presença também de sedimentos aluvionares e depósitos recentes.

Além disso, a área apresenta um quadro estrutural marcado pela distribuição das unidades lito-estratigráficas em blocos soerguidos ou abatidos controlados por falhas, o que faz com que unidades mais antigas aflorem ao lado de unidades mais jovens. Também são encontradas pequenas dobras e fraturas isoladas associadas ao falhamento e/ou as intrusões de rochas magmáticas (SOUSA, 2002).

A quantificação do subíndice geológico a partir das formações e estruturas geológicas apresentou valores que variam de uma a doze feições nas células do grid (Figura 5.1). Os valores mais altos (seis a doze) ocorrem na porção centro-sul da bacia, próximo ao limite leste do município de Ipeúna com o município de Rio Claro, também há ocorrências localizadas na porção norte da bacia. Esses índices mais altos estão localizados nessas áreas devido à maior concentração de falhas que colocam diferentes unidades litoestratigráficas lado a lado, o que aumenta simultaneamente a quantidade de formações geológicas e estruturas em cada célula em comparação ao restante da bacia.

Os índices mais baixos (um, dois e três) são os que apresentam maior representatividade na área da bacia, e estão relacionados a locais com litologias mais homogêneas com poucas

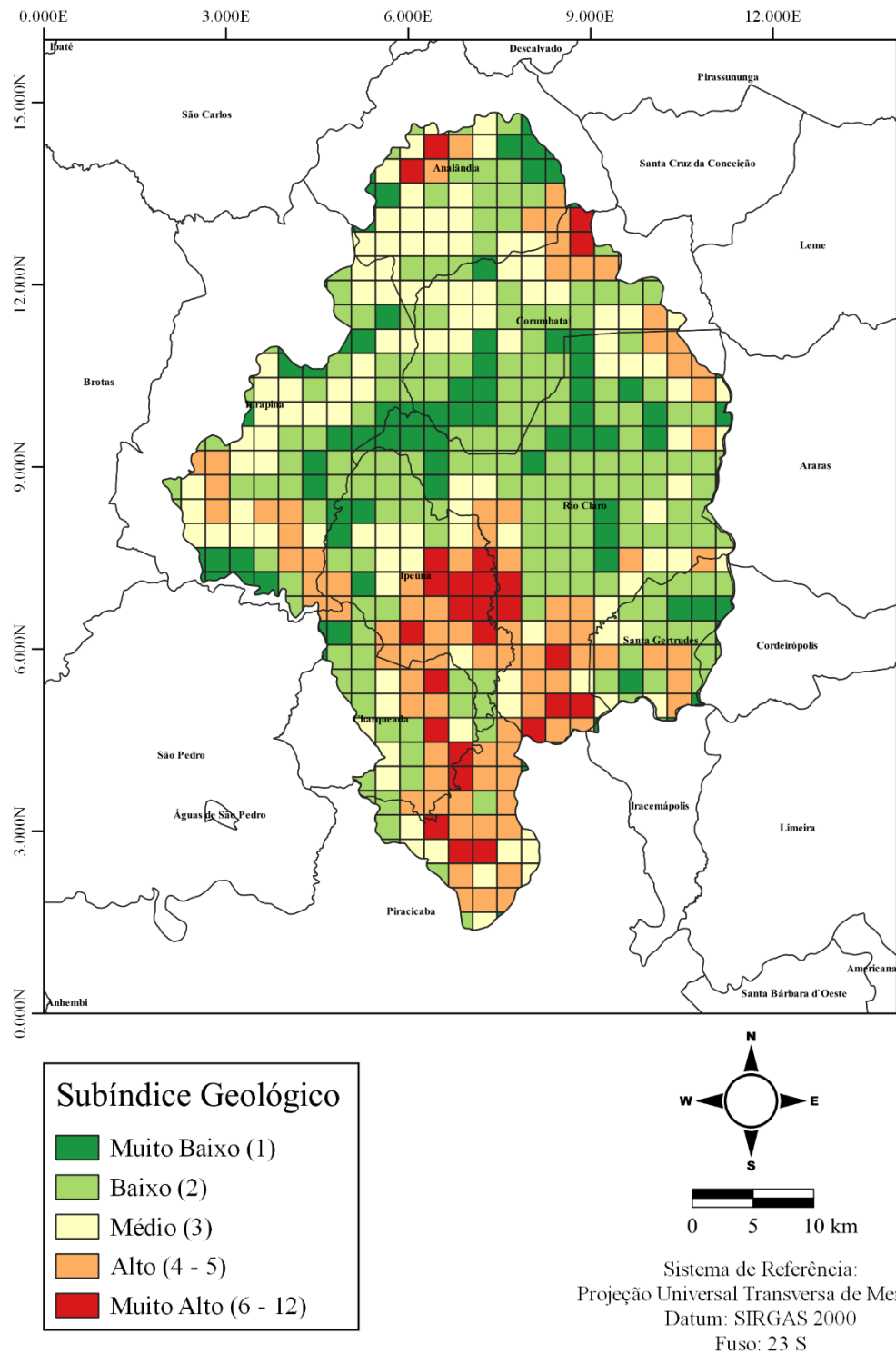
e/ou ausência de estruturas. Já os valores médios (quatro e cinco) são observados concentrados na região noroeste da bacia e também nas adjacências dos índices altos e muito altos. O Quadro 5.1, relaciona as classes obtidas com a geologia local da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.

Quadro 5.1 - Relação das classes obtidas com a geologia local da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.

CLASSES	GEOLOGIA LOCAL
Índice Alto (4 - 5) e Muito Alto (6 - 12)	Esses índices têm seus valores relacionados com locais com grande número de formações e estruturas geológicas. No caso, algumas das células com índices mais altos coincidem com a região do Alto Estrutural Domo de Pitanga, que apresenta um complexo quadro estrutural responsável pela exposição de rochas paleozoicas ao lado de rochas mesozoicas. Há ocorrências de células com índice Alto concentradas na região leste e oeste da bacia, seus valores estão associados, principalmente, a intrusões magmáticas da Formação Serra Geral em meio às rochas sedimentares das outras formações, com contribuições pontuais de estruturas geológicas na porção leste.
Índice Médio (3)	A concentração de células com índice Médio na porção noroeste da bacia, se dá principalmente devido às intrusões magmáticas (Formação Serra Geral) que ocorrem em meio às rochas sedimentares da Fm. Botucatu e Fm. Piramboia.
Índice Baixo (2) e Muito Baixo (1)	Esses índices têm seus valores relacionados a áreas em que a geologia é mais homogênea com poucas e/ou ausência de estruturas geológicas, isto é, locais com menor número de formações e estruturas geológicas. As células com índices Baixo e Muito Baixo se encontram concentradas na porção central da bacia, local onde ocorrem as Fm. Corumbataí e Fm. Piramboia, que ocupa grande extensão da bacia e corrobora para a diminuição do subíndice geológico nesta região.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5.1 - Subíndice Geológico da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2 Subíndice Geomorfológico

A geomorfologia da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí tem seu relevo caracterizado pelos seguintes padrões de relevos: colinas amplas e suaves, planaltos, depressão indiferenciada, morros isolados, planícies fluviais e serras/escarpas. Essa diversidade de relevos está associada principalmente aos eventos de derrames basálticos - responsáveis pela formação das escarpas na zona de cuevas -, e aos eventos neotectônicos vigentes na região (SOUSA, 2002).

A quantificação dos padrões de relevo do subíndice geomorfológico apresentou valores que variam de um a quatro nas células da matriz (Figura 5.2). Os índices mais baixos (um e dois) ocorrem amplamente em toda a área da bacia, sendo o valor um o de maior predominância. Esses valores mais baixos são reflexos da homogeneidade de relevo na bacia, constituída em grande parte por uma depressão indiferenciada.

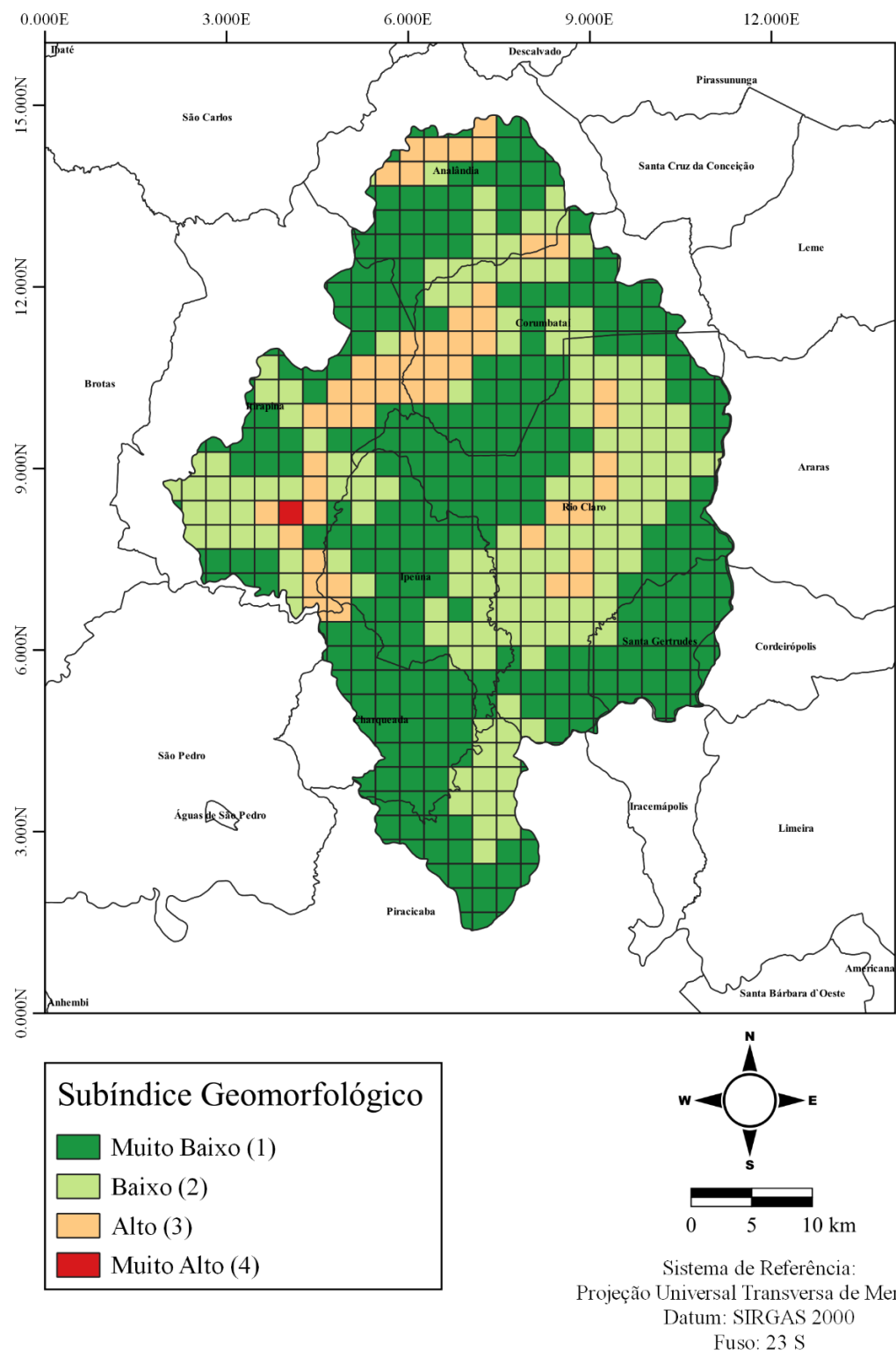
Já os maiores índices (três e quatro) são observados na porção noroeste da bacia, seguindo a delimitação municipal de Itirapina com Ipeúna, Rio Claro, Corumbataí e Analândia, tais índices se concentram nessa região devido à grande variedade de padrões de relevo que se formam no encontro entre a Depressão Periférica e a Cuevas Basálticas. O Quadro 5.2, relaciona as classes obtidas com a geomorfologia local da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.

Quadro 5.2 - Relação das classes obtidas com a geomorfologia local da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.

CLASSES	GEOMORFOLOGIA LOCAL
Índice Alto (3) e Muito Alto (4)	Esses índices têm seus valores relacionados com locais com maior quantidade de padrões de relevo. No caso, essas áreas coincidem com a região de encontro entre a Depressão Periférica e a Cuevas Basálticas, porção noroeste da bacia. Destaca-se que a célula com o índice muito alto se encontra associada à localização do Morro do Cantagalo.
Índice Baixo (2) e Muito Baixo (1)	Esses índices têm seus valores relacionados a áreas com menor quantidade de padrões de relevo. Visto que grande parte da bacia é uma depressão indiferenciada, esses índices ocorrem amplamente em toda bacia.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5.2 - Subíndice Geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3 Subíndice Pedológico

A diversidade pedológica da bacia do Rio Corumbataí é representada por solos que são reflexos diretos da diversidade geológica e geomorfológica da região. É caracterizada por: latossolos roxo, vermelho-escuro e vermelho-amarelo; argissolos vermelho-escuro e vermelho-amarelo; gleissolo; chernossolo; cambissolo; nitossolo vermelho; neossolos quartzarênico e litólico.

A quantificação do subíndice a partir das classes de solos apresentou valores que variam de um a cinco nas células da matriz vetorial (Figura 5.3). De maneira geral, os valores mais baixos (um e dois) são amplamente observados em toda a área da bacia, com predominância do índice de valor dois. Isso ocorre devido a homogeneidade do solo na bacia, constituída majoritariamente por argissolos vermelho-amarelo.

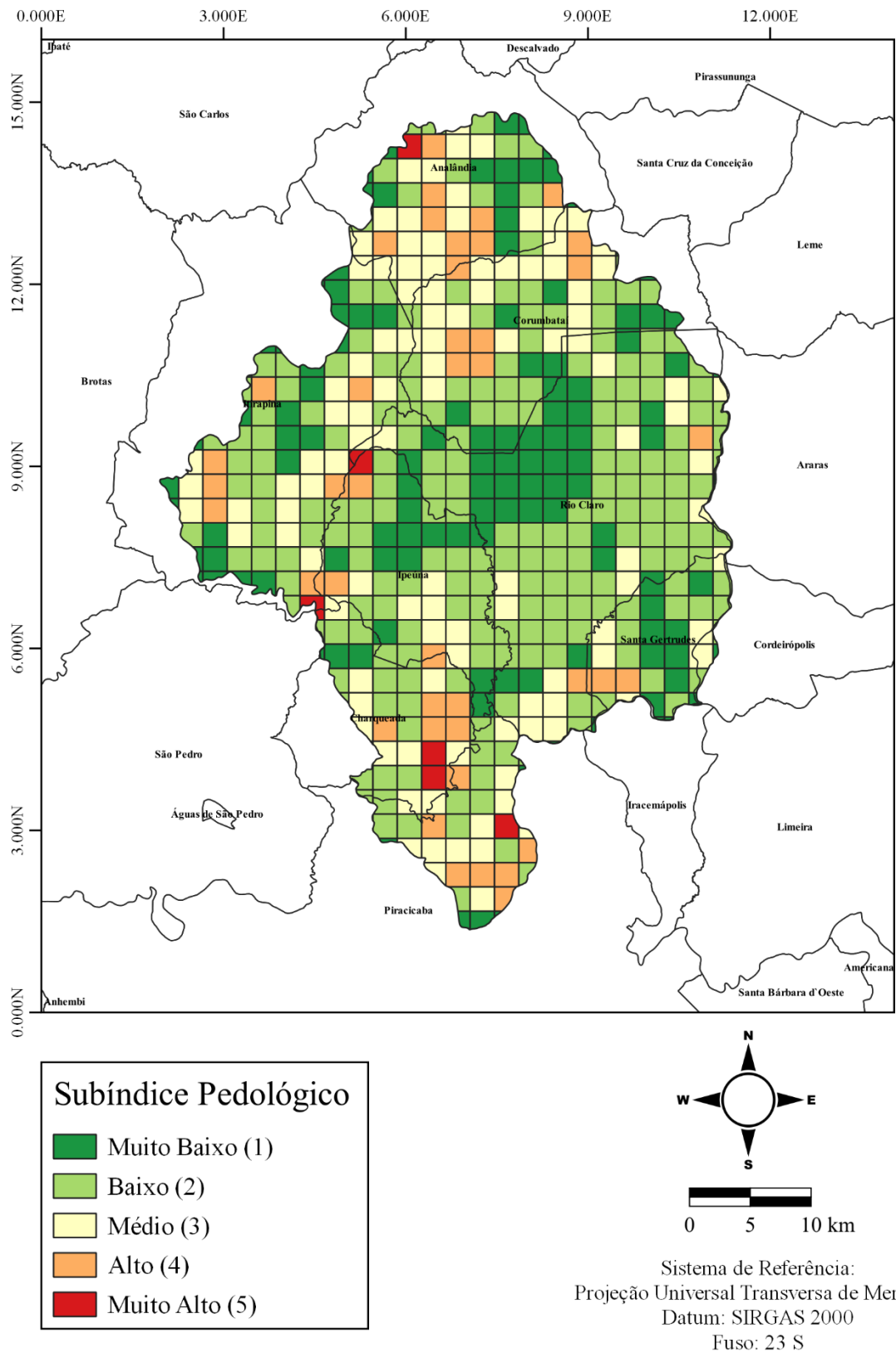
Enquanto, os índices mais altos (quatro e cinco) ocorrem concentrados em partes da porção norte, oeste e sul da bacia, mais especificamente, em localidades que ocorrem contatos de diferentes litotipos e formas de relevo que influenciam diretamente na gênese de solos variados. O Quadro 5.3, relaciona as classes obtidas com a pedologia local da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.

Quadro 5.3 - Relação das classes obtidas com a pedologia local da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.

CLASSES	PEDOLOGIA LOCAL
Índice Alto (4) e Muito Alto (5)	Esses índices têm seus valores relacionados a locais com maior número de classes de solo. No caso, as células com índice Muito Alto coincidem com áreas em que ocorrem contatos, tanto de formações geológicas como de diferentes padrões de relevo, com algumas contribuições de estruturas geológicas na região norte. Sendo assim, são áreas mais susceptíveis à gênese de solos diversos. As células com índice Alto também ocorrem devido a essas condições.
Índice Médio (3)	Os índices Médio também coincidem com as áreas de contatos geológicos e geomorfológicos, no entanto, nessas áreas ocorreram gênese de solos menos diversos, muito provavelmente devido às características da rocha-mãe e/ ou condições pedogenéticas.
Índice Baixo (2) e Muito Baixo (1)	Esses índices têm seus valores relacionados a áreas com menor número de classes de solo. Visto que grande parte do solo da bacia é constituído por argissolos vermelho-amarelo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5.3 - Subíndice Pedológico da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.4 Subíndice Hidrológico

A rede hidrográfica da Bacia do Rio Corumbataí é composta por quatro rios principais: o Rio Corumbataí, o Rio Passa Cinco, o Rio Cabeça e o Ribeirão Claro, todos de regime permanente e importantes contribuintes para o Rio Piracicaba. A hidrografia da área de estudo também apresenta extensa rede de drenagem e diversos córregos que afluem para os rios principais da bacia.

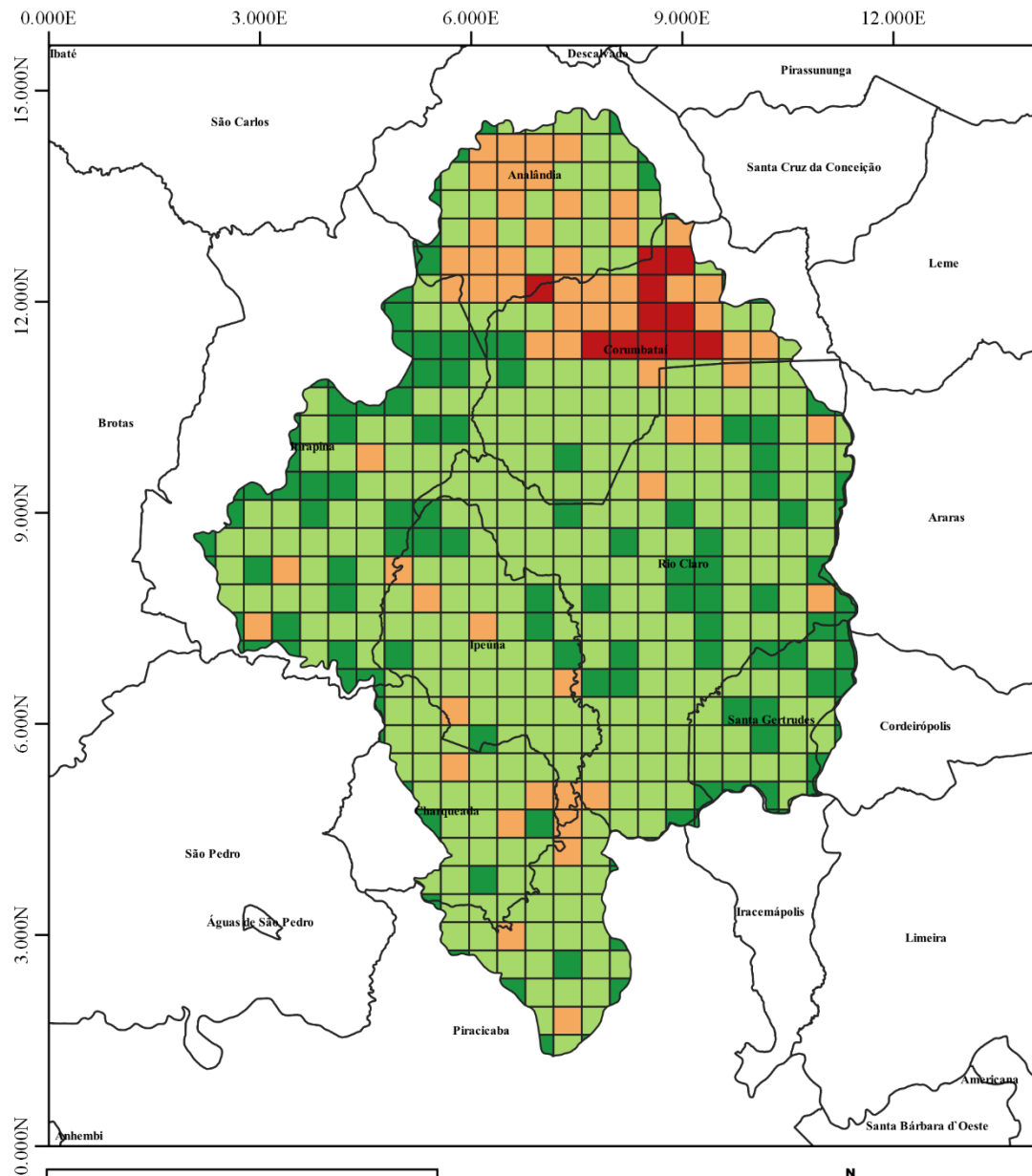
A quantificação do subíndice hidrográfico diferentemente dos outros subíndices foi feita a partir do método de densidade de drenagem. Após a quantificação, obteve-se células variando de zero a três (Figura 5.4). Os maiores índices (2 - 3) são observados na porção nordeste da bacia, concentrados na região central do município de Corumbataí, tais valores estão relacionados às características litológicas, estruturais e geomorfológicas que juntas causam o adensamento da rede de drenagens na área, além disso essas áreas de maior índice coincidem com a nascente do Rio Corumbataí. Os índices mais baixos (0 - 1) abrangem o restante da bacia, e correspondem a áreas com relevos planos e rebaixados que resultam em drenagens mais espaçadas. O Quadro 5.4, relaciona as classes obtidas com a hidrologia local da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.

Quadro 5.4 - Relação das classes obtidas com a hidrologia local da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.

CLASSES	HIDROLOGIA LOCAL
Índice Alto (2) e Muito Alto (3)	Esses índices têm seus valores relacionados a locais com maior densidade de drenagens. No caso, essas áreas coincidem com a porção nordeste da bacia, área de nascente do Rio Corumbataí, e que também apresenta maior adensamento da rede de drenagem devido a interação das características litológicas, geomorfológicas e estruturais.
Índice Baixo (1) e Muito Baixo (0)	Esses índices têm seus valores relacionados a áreas com menor densidade de drenagens. E ocorrem amplamente em toda a bacia, em áreas com relevos mais planos e rebaixados.

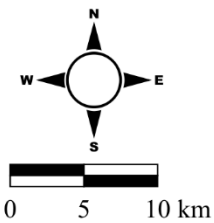
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5.4 - Subíndice Hidrológico da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.



Subíndice Hidrológico

- Muito Baixo (0)
- Baixo (1)
- Alto (2)
- Muito Alto (3)



Sistema de Referência:
 Projeção Universal Transversa de Mercator
 Datum: SIRGAS 2000
 Fuso: 23 S

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.5 Mapa de Índice de Geodiversidade

A partir da soma dos subíndices de geologia, geomorfologia, pedologia e hidrologia foi gerado o Mapa de Índice de Geodiversidade. Assim como nos mapas de subíndice, os valores de índice de geodiversidade foram classificados em cinco classes (Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto) utilizando o método de Quebras Naturais de Jenks (1977).

O índice final obtido apresentou valor mínimo igual a 3 e valor máximo de 18, classificados da seguinte forma: Muito Baixo (3 - 5), Baixo (6 - 7), Médio (8 - 9), Alto (10 - 11) e Muito Alto (12 - 18) (Figura 5.5).

As células da matriz classificadas como Muito Alto (12 - 18) foram observadas dispersas na porção sudoeste, oeste e norte da bacia. Isso ocorreu principalmente devido a influência de altos subíndices geológicos, pedológicos e hidrológicos nessas áreas da bacia.

As células classificadas como índice Alto (10 - 11) ocorrem em sua maioria próximas às células com valores Muito Alto, isto é, na porção sudoeste e norte da bacia. E também têm seus valores associados a altos subíndices geológicos, pedológicos e hidrológicos.

As áreas com índices Médio (8 - 9) estão concentradas nas proximidades das células com índice Alto e Muito Alto. Já os índices Baixo (6 - 7) e Muito Baixo (3 - 5) estão amplamente distribuídos em toda a bacia, sendo o Índice de Geodiversidade Baixo o predominante na área de estudo.

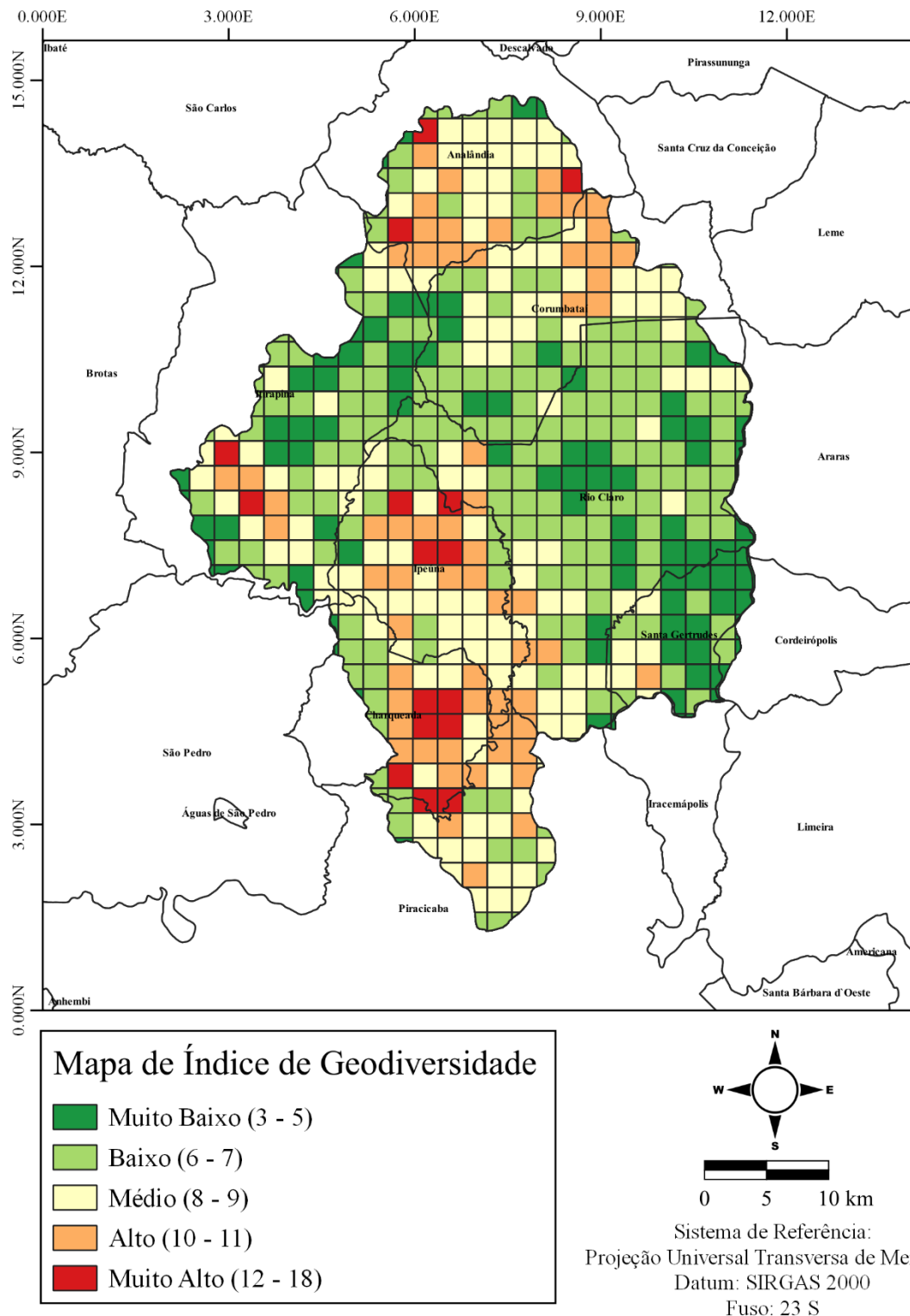
5.6 Mapa de Índice de Geodiversidade Interpolado e Sítios de Interesse Geológicos

A Bacia do Rio Corumbataí é uma região com grande riqueza abiótica, e isso também se reflete no número de geossítios e lugares de interesse geológico (LIG's) presentes na área. Em seu trabalho, Kolya (2019) faz um levantamento minucioso dos mais diversos sítios de interesse geológico, como cavernas, cachoeiras, grutas, morros, entre outros. Totalizando 203 sítios de interesse, dos quais 150 se encontram inseridos totalmente na área da bacia.

A partir da sobreposição do Mapa de Índice de Geodiversidade Interpolado com os geossítios inventariados no trabalho de Kolya (2019), nota-se uma concentração de sítios na porção norte, sudoeste e sul da bacia, que coincidem com as áreas de maiores índices de geodiversidade (Figura 5.6).

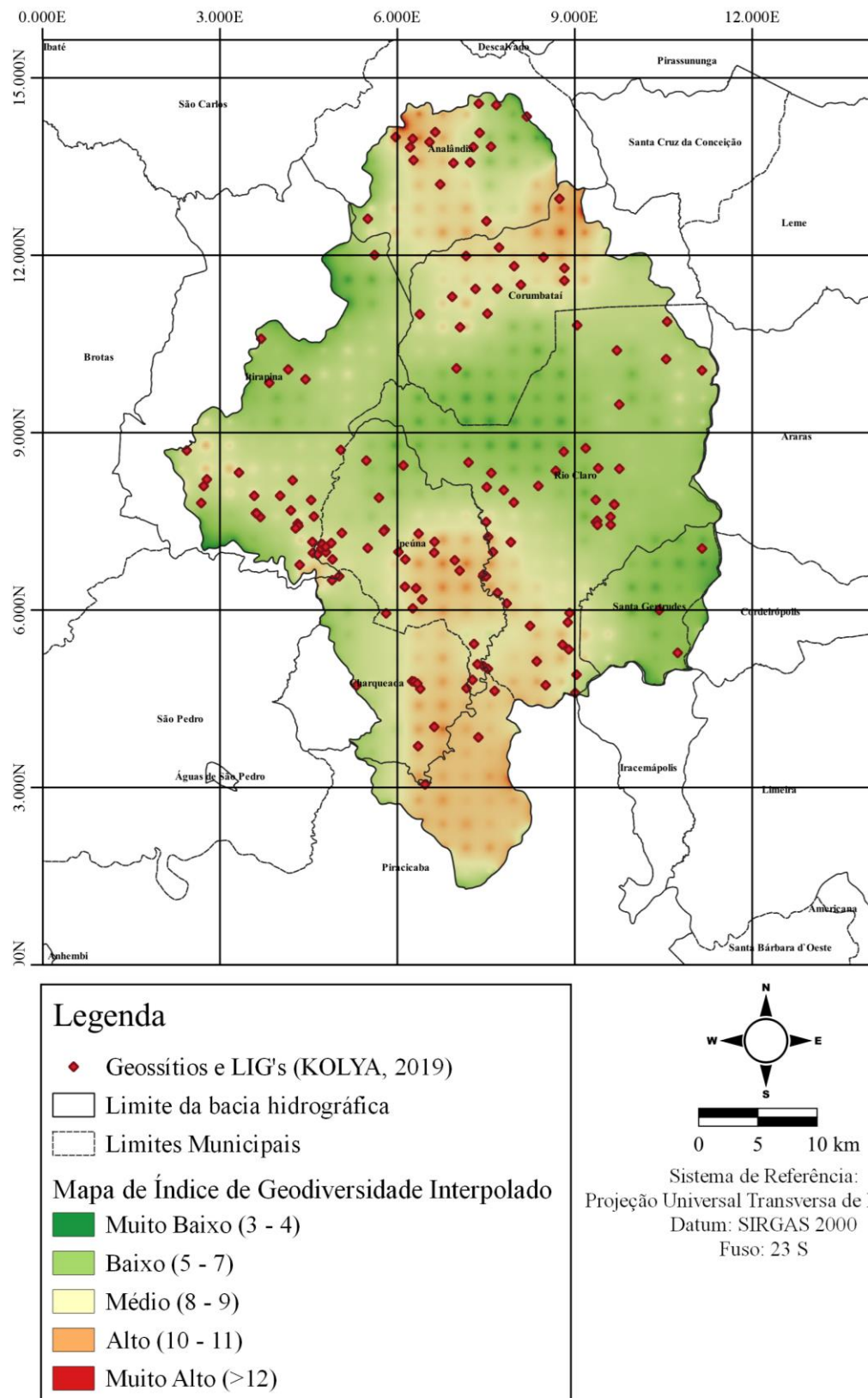
Tal riqueza geológica justifica o desenvolvimento do Projeto Geoparque Corumbataí na área da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí e reforça a qualidade dos estudos desenvolvidos na área até então.

Figura 5.5 - Mapa de Índice de Geodiversidade da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5.6 - Mapa de Índice de Geodiversidade Interpolado sobrepostos com os sítios de interesse inventariados por Kolya (2019).



Fonte: Elaborado pelo autor.

6 DISCUSSÕES

Entre as diferentes abordagens para os estudos de Geodiversidade, a avaliação quantitativa se destaca por ser uma metodologia moderna que permite a geração de diversos produtos cartográficos de fácil compreensão, sendo uma das abordagens mais utilizada para avaliar a geodiversidade (ZWOLINSKI et al., 2018). Apesar de seu avanço conceitual e reconhecimento dentro da comunidade científica, ainda existe a necessidade de aperfeiçoamento do método, principalmente, quanto a sua replicabilidade em diferentes terrenos e a estruturação de uma metodologia consolidada para fins de gestão territorial (CARCAVILLA et al., 2008; GONÇALVES, 2018; ZWOLINSKI et al., 2018).

A avaliação quantitativa da Geodiversidade utilizada neste trabalho se baseou principalmente no método de Pereira et al. (2013), juntamente com o apoio de outros trabalhos semelhantes desenvolvidos até o momento, que se utiliza softwares de geoprocessamento para a quantificação dos elementos da geodiversidade (SANTOS et al., 2017; GONÇALVES, 2018; SILVA et al., 2020; DIAS et al., 2021). A utilização de softwares de geoprocessamento em conjunto com análises em uma malha vetorial sobreposta a mapas temáticos, se mostrou um método eficiente e simples para a geração de um índice de geodiversidade.

Para a elaboração do Mapa de Índice de Geodiversidade foram considerados apenas a geologia, a geomorfologia, a pedologia e a hidrografia como os elementos representantes do meio físico da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí. Diferentemente de Pereira et al. (2013), que considera esses quatro elementos mais as ocorrências fossilíferas e ocorrências minerais de sua área de estudo.

Tal escolha foi feita devido a escala de paisagem em que este trabalho foi desenvolvido. Segundo Serrano & Ruiz-Flanõ (2007), todos os elementos da geodiversidade estão intrinsecamente relacionados a uma certa localidade e dimensões espaciais, isto é, não podem ser compreendidos sem levar em conta a sua escala. Esses mesmo autores propõem uma classificação da diversidade do meio físico em quatro níveis de complexidade, que varia de uma simples partícula ou mineral até uma paisagem complexa.

Visto isso, a utilização das ocorrências minerais e fossilíferas se mostrou incompatível à escala de paisagem deste trabalho. Vale ressaltar que Santos et al. (2017) e Gonçalves (2018), também levantam esse ponto e acabaram por utilizar somente os elementos da geodiversidade referentes à geologia, geomorfologia, pedologia e hidrologia.

Os subíndices para os elementos da geodiversidade foram obtidos individualmente a partir da sobreposição de uma malha vetorial sobre os mapas temáticos, assim como em Pereira

et al. (2013). O subíndice Geológico foi quantificado considerando as formações e estruturas geológicas, do mesmo modo que Santos et al. (2017), já que estes atributos eram os mais detalhados sobre a geologia da Bacia do Rio Corumbataí. Quanto ao subíndice Geomorfológico, ele foi quantificado considerando os Padrões de Relevo que é a representação mais detalhada da geomorfologia da área.

Para o subíndice Pedológico foram consideradas as classes de solos que também é a representação mais detalhada sobre esse elemento na bacia. Já o subíndice hidrográfico foi quantificado a partir do método de densidade de drenagens, como Gonçalves (2018), tal método se mostrou satisfatório por não superestimar os valores do subíndice hidrográfico, diferente da contagem de corpos d'água. Além disso, permite a obtenção de informações mais relevantes sobre esse elemento da geodiversidade que apenas a contagem de feições não permite, como por exemplo, informações sobre o escoamento superficial.

Outro importante ponto em estudos de geodiversidade, em especial na avaliação quantitativa da geodiversidade, é a definição da escala dos mapas a serem elaborados e as dimensões das células da matriz vetorial.

Neste trabalho, os mapas temáticos com as representações dos elementos do meio físico da área em estudo não se encontravam todos em mesma escala, portanto, a definição da escala para os produtos cartográficos gerados foi feita a partir dos mapas de menor detalhe (Mapa Pedológico e Geomorfológico, em escala 1:500.000), assim como nos trabalhos de Pellitero et al. (2014), Gonçalves (2018), Silva et al. (2020) e Dias et al. (2021). Essa diferença de escala entre os mapas, muitas vezes, resulta em subíndices com menor contagem de elementos da geodiversidade nos mapas de menor detalhe, se comparados aos mapas de maior detalhe.

Já as dimensões das células do *grid* foram definidas com o tamanho de 2000 x 2000 metros, como em Silva et al. (2020), dimensões essas que distribuíram bem os elementos da geodiversidade sem subestimar ou superestimar um elemento em relação a outro. Tanto a escala, quanto às dimensões das células da malha vetorial se mostraram apropriadas para geração de mapas equitativos. Em anexo, se encontra um quadro comparativo dos estudos realizados no Brasil até momento (ANEXO I), esses estudos foram importantes materiais de consulta para a elaboração deste trabalho.

A classificação dos mapas de subíndice e do mapa final de Índice de Geodiversidade foi feita por meio de cinco classes: Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto, com exceção dos subíndices de geomorfologia e hidrologia que não alcançaram cinco classes. Todas as classes tiveram as suas quebras definidas pelo método *Natural Breaks* de Jenks, o que permitiu o melhor agrupamento de valores em cada classe. Diferente de Pereira et al. (2013) os

subíndices também foram classificados em cinco classes, quando possível, uma vez que isso possibilita a utilização desses mapas para outros fins, como por exemplo, a gestão de recursos hídricos utilizando o Mapa de Subíndice Hidrológico. A definição de classes possibilitou uma fácil e melhor visualização da quantificação e distribuição dos elementos da geodiversidade.

Por fim, a correlação do Mapa de Índice de Geodiversidade Interpolado com os geossítios e LIG's do Projeto Geoparque Corumbataí, inventariados por Kolya (2019), se mostrou satisfatória, visto que a grande maioria dos geossítios se encontram em áreas com índices mais altos de geodiversidade. No entanto, na porção leste da bacia - região com índices de geodiversidade médio a baixo - também são encontrados alguns geossítios, o que demonstra que mesmo áreas mais homogêneas, com menor contabilização de elementos da geodiversidade, são áreas potenciais para sítios de interesse geológico. Além disso, há o entendimento de que as metodologias de mapeamento de índices de geodiversidade não são necessariamente indicativos de geopatrimônio. Ademais, os produtos cartográficos obtidos neste trabalho apresentaram uma excelente representação da diversidade abiótica da área de estudo, identificando locais de interesse para ações de geoconservação e geoturismo para o Projeto Geoparque Corumbataí.

7 CONCLUSÃO

Desde a definição do conceito de geodiversidade, esse termo vem ganhando destaque nos estudos ambientais que visam à conservação da natureza e gestão territorial. Tal demanda gerou a necessidade do desenvolvimento de novas metodologias para a sua aplicação, a partir do uso de conhecimentos geológicos tradicionais (mapeamentos geotécnicos, estudos hidrogeológicos, entre outros) somados às novas perspectivas dos estudos de geodiversidade, geoconservação e afins.

Apesar disso, esses métodos de estudos da geodiversidade ainda se encontram em processo de consolidação e, portanto, apresentam diversas discussões metodológicas e conceituais. Principalmente no que diz respeito à organização de uma metodologia oficial e multifuncional, ou seja, um método com replicabilidade em diversos terrenos com o intuito de ser utilizado no planejamento e gestão territorial. O que evidencia a necessidade de mais estudos como este a fim de aprimorá-los.

O método de avaliação quantitativa da geodiversidade realizado neste trabalho para a Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí se baseou nos principais trabalhos publicados até o momento, com algumas modificações. O Mapa de Índice de Geodiversidade foi elaborado através de uma base georreferenciada de mapas temáticos representando o meio físico, no caso, os mapas geológico, geomorfológico, pedológico e hidrológico. Para o uso do método foram considerados alguns aspectos, como: a escala de trabalho, as dimensões das células da matriz vetorial, o atributo a serem quantificado em cada mapa temático e o intervalo de classificação para os mapas obtidos. A quantificação foi fundamentada na contagem de feições para os subíndices de geologia, geomorfologia e pedologia, e cálculo da densidade de drenagem para o subíndice de hidrologia, a fim de obter resultados de fácil interpretação e valores equitativos.

O Mapa de Índice de Geodiversidade se mostrou como uma ferramenta notável para relacionar a diversidade do meio abiótico com ações de planejamento e gestão territorial, ao facilitar a visualização da distribuição desses elementos e permitir a delimitação de áreas de maior interesse para ações de geoconservação e geoturismo. Além do mais, a sobreposição do Mapa de Índice de Geodiversidade Interpolado com os geossítios e LIG's inventariados por Kolya (2019), confirmou a riqueza de geodiversidade nas áreas com maiores índices de Geodiversidade, apesar de ainda não ter estudos suficientes que comprovam a correlação direta entre os estudos de inventariação e a avaliação quantitativa. Mesmo assim, caracteriza a área da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí como um excelente território para o desenvolvimento

do Projeto Geoparque Corumbataí devido a sua grande riqueza geológica e significativo volume de pesquisa.

Deste modo, a análise quantitativa do meio físico da Bacia do Rio Corumbataí permitiu obter produtos interessantes em relação à Geodiversidade da região, podendo ser uma fonte de consulta para trabalhos futuros. Um resultado mais completo poderia ser obtido por meio da junção da análise quantitativa com uma análise qualitativa, isto é, a integração da distribuição dos elementos da geodiversidade com as suas potencialidades e limitações frente ao uso e ocupação. Este produto integrado forneceria uma base ainda mais consolidada para estudos ambientais de conservação da natureza, gestão territorial e desenvolvimento sustentável. Ademais, este trabalho colaborou para uma maior divulgação do conceito da Geodiversidade e reforçou a aplicabilidade de *softwares* livres em estudos geocientíficos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M. Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista. São Paulo. Instituto Geográfico e Geológico, Boletim, 41, p.: 169-263. 1964.
- ALMEIDA, F.F.M.; BARBOSA, O. Geologia das quadrículas de Piracicaba e Rio Claro, Estado de São Paulo. DNPM/DGM, Boletim 143:96p, 1953.
- ASSINE, M. L.; ZACHARIAS, A. A.; PERINOTTO, J. A. J. Paleocorrentes, paleogeografia e sequencias deposicionais na Formação Tatuí, centro-leste do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geologia**. São Paulo, v. 33, p. 1-11, 2003.
- ASSINE, M. L.; PIRANHA, J. M.; CARNEIRO, C. D. R. Os paleodesertos Pirambóia e Botucatu. In: Mantesso Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C.D.R.; Brito-Neves, B.B.de. (Org.). **Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. 1 ed. São Paulo: Beca Produções Culturais Ltda., v.1, p 77- 92, 2004.
- BARBOSA, O.; ALMEIDA, F. M. A Série Tubarão na Bacia do Rio Tietê. Estado de São Paulo, D. G. M., Notas Preliminares e Estudos n. 48. 1949.
- BARBOSA O.; GOMES F. A. Pesquisa de petróleo na bacia do Rio Corumbataí. Rio de Janeiro: DNPM/DGM. Boletim, 171. 1958.
- BERTULUCI, F. B. Análise da vulnerabilidade à deterioração de geossítios na região da Bacia do Rio Corumbataí (SP). 2017. Monografia (Bacharelado em Geologia) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2017.
- BRILHA, J. **Património geológico e geoconservação**: a conservação da natureza na sua vertente geológica. Braga, Portugal: Palimage, 2005.
- BRILHA, J. B. R. A importância dos geoparques no ensino e divulgação das Geociências. **Geologia USP**. Publicação Especial, v. 5, p. 27-33, 2009.
- BRILHA, J.; GRAY, M., PEREIRA, D. I.; PEREIRA, P. Geodiversity: An integrative review as a contribution to the sustainable management of the whole of nature. **Environmental Science & Policy**, v.86, p.19-28, 2018.
- 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.
- CEAPLA - CENTRO DE ANÁLISE E PLANEJAMENTO AMBIENTAL. **Atlas Ambiental da Bacia do Rio Corumbataí**. Rio Claro, SP, 2011. Atlas Ambiental. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/ceapla/atlasv3/apresentacao.php>. Acesso em: 20 Nov. 2020.
- CEAPLA - CENTRO DE ANÁLISE E PLANEJAMENTO AMBIENTAL. **Atlas Ambiental da Bacia do Rio Corumbataí - Mapas**. Rio Claro, SP, 2011. Atlas Ambiental. Disponível em: <https://www.rc.unesp.br/igce/ceapla/biblioteca/mapas.php>. Acesso em: 19 Nov. 2020.
- CORTEZ, A. T. C. O lugar do homem na natureza. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 22, p. 29-44, 2011.

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B.; RASKIN, R. G. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v.387, n.6630, p. 253-260, 1997.

DAAE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Hidrografia do Estado de São Paulo (UGRHI 05) - Escala 1:50.000, 2018.

DANTAS, M.E.; ARMESTO, R.C.G.; SILVA, C.R.; SHINZATO, E. Geodiversidade e análise da paisagem: uma abordagem teórico-metodológica. *Terrae Didactica*, v.11, n.1, p. 4-13, 2015.

DIAS, M. C. S. S., DOMINGOS, J. O., SANTOS COSTA, S. S., NASCIMENTO, M. A. L., SILVA, M. L. N., GRANJEIRO, L. P., & LIMA MIRANDA, R. F. Geodiversity Index Map of Rio Grande do Norte State, Northeast Brazil: Cartography and Quantitative Assessment. **Geoheritage**, v. 13, n. 1, p. 1-15, 2021.

DULLEY, R. D. Noção de natureza, ambiente, meio ambiente, recursos ambientais e recursos naturais. **Agricultura em São Paulo, São Paulo**, v. 51, n. 2, p. 15-26, 2004.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF, 2018.

EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO S.A. **Aglomerado Urbana de Piracicaba**, EMPLASA. Disponível em: <<https://emplasa.sp.gov.br/AUP>>. Acesso em: 23 Nov. 2020.

FERNANDES, R. R., NUNES, G. M., FANTIN-CRUZ, I., Silva, T. S. F., & CUNHA, C. N. Uso de geotecnologias na análise da ocorrência de unidades Fitofisionômicas na Região do Médio Araguaia. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 65, n. 5, 2013.

FRANCO, J. L. A.; SCHITTINI, G. M.; BRAZ, V. S. História da conservação da natureza e das áreas protegidas: panorama geral, 2015.

FÚLFARO, V.J.; GAMA JR, E.; SOARES, P.C. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. São Paulo: PAULIPETRO, Consórcio IPT/CESP (Relatório 008/80), 1980.

FUNDAÇÃO SEADE. Fundação Seade. Disponível em: <<http://produtos.seade.gov.br/produtos/divpolitica/index.php?page=tabela&action=load&nivel=20>>. Acesso em: 29 nov. 2020.

GARCIA, G. J., HEBERT, H., PERINOTTO, J., & CASTRO, J. **Atlas ambiental da Bacia do Rio Corumbataí**, 2004.

GONÇALVES, Jéssica Brito. Mapeamento da geodiversidade do município de Miguel Pereira-RJ: abordagens metodológicas e sua contribuição para a gestão territorial. 2018. Monografia (Bacharelado em Geologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2018.

GRAY, M. **Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature**. England: Wiley-Blackwell, 2004.

GRAY, M. Other nature: geodiversity and geosystem services. **Environmental Conservation**, v.38, p. 271–274, 2011.

GRAY, M., GORDON, J. E., & BROWN, E. J. Geodiversity and ecosystem approach: The contribution of geosciences in delivering integrated environmental management. **Proceedings of the Geologists' Association**, v.124, n.4, p. 659-673, 2013.

HENRIQUES, M. H.; REIS, R. P.; BRILHA, J.; MOTA, T. Geoconservation as an emerging geoscience. **Geoheritage**, v.3, n.2, p. 117-128, 2011.

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

IAC - INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Solos do Estado de São Paulo**. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/solosp/>>. Acesso em: 29 nov. 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades. [Brasília, DF], 2018. Site Institucional. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 23 Nov. 2020.

IPEF - INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. Plano Diretor.2002. Piracicaba, SP: Vitor's Design, 2002.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. Monografias, 1981.

KELLER, E.A. **Environmental geology**. 3ª ed. Columbus: Charles E. Merrill Pub. Company, p.526, 1982.

KOLYA, André de Andrade. Inventário, quantificação e valorização do geopatrimônio na Bacia do Rio Corumbataí (SP): subsídios ao Projeto Geoparque Corumbataí. 2019. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2019.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

LIVERMAN, D. G. Environmental geoscience; communication challenges. **Geological Society**, London, Special Publications, v.305, n.1, p. 197-209, 2008.

MAFRA, F.; SILVA, J. A. Planejamento e Gestão do território. Sociedade Portuguesa de Inovação. Porto (Portugal): Sociedade Portuguesa de Inovação, 2004.

MANOSSO, F. C.; PELLITERO, R. Geodiversidade: Considerações Sobre Quantificação e Avaliação da Distribuição Espacial. In: Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ. Rio de Janeiro: UFRJ. p. 90-100, 2012.

MELO, M. S. de; COIMBRA, A. M.; CUCHIERATO, G. Fácies sedimentares da Formação Rio Claro, neocenoico da depressão periférica paulista. *Revista do Instituto Geológico*, São Paulo, v. 18, n. ½, p. 51-65, 1997.

MILANI, E. Comentários sobre a origem e a evolução tectônica da Bacia do Paraná. **Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo. p. 265-279, 2004.

MILANI, E. J.; MELO, J. H. G.; SOUZA, P. A.; FERNANDES, L. A.; FRANÇA, A. B. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 15, n. 2, p. 265-287, 2007.

MILANI, E.J. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental. Porto Alegre, 255 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1997.

PACHECO J. Relatório elucidativo do esboço geológico da região compreendida entre o meridiano 4º, rio Itararé e os paralelos 23º 34' e 24º 38'. In: Comissão Geográfica e Geológica do Estado de São Paulo, Exploração da região compreendida pelas folhas topográficas Sorocaba... São Paulo, p. 9-12, 1927.

PELLITERO, R.; MANOSSO, F. C.; SERRANO, E. Mid-and large-scale geodiversity calculation in fuentes carrionas (nw Spain) and serra do cadeado (Paraná, Brazil): methodology and application for land management. **Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography**, v. 97, n. 2, p. 219-235, 2015.

PEMBERTON, M. Conserving geodiversity, the importance of valuing our geological heritage. In **Geological Society of Australia Abstracts**. Geological Society of Australia, v.59, 2000.

PENTEADO, M. M. **Geomorfologia do Setor Centro-Occidental da Depressão Periférica Paulista**. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Rio Claro, SP, 1976.

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

PERINOTTO, J. A. J.; ZAINÉ, M. F. Patrimônios naturais e história geológica da região de Rio Claro-SP. **Rio Claro: Arquivo Público e Histórico do Município de Rio Claro**, v. 1, 2008.

PERINOTTO, J. A.; LINO, I. C. Geologia, recursos minerais e passivos ambientais. **Atlas Ambiental da Bacia do Rio Corumbataí**, Centro de Análise e Planejamento Ambiental (CEAPLA), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP/Campus de Rio Claro. Disponível em: < <http://ceapla.rc.unesp.br/atlas/geologia.html> >. Acesso em: 24 Nov. 2020.

PORTAL CIDADES PAULISTAS - Região de Campinas. Disponível em: <<http://www.cidadespaulistas.com.br/prt/cnt/05-campinas.htm>>. Acesso em: 23 Nov. 2020.

PORTAL CIDADES PAULISTAS - Regiões Administrativas. Disponível em: <<http://www.cidadespaulistas.com.br/prt/cnt/mp-reg-gov.htm>>. Acesso em: 23 Nov. 2020.

PROSSER, C.D. Our rich and varied geoconservation portfolio: the foundation for the future. **Proceedings of the Geologists Association**, v. 124, p. 568–580, 2013.

RICCOMINI, C. Considerações sobre a posição estratigráfica e tectonismo deformador da Formação Itaqueri na porção centro-leste do Estado de São Paulo. **Revista do Instituto Geológico**, v. 18, n. 1-2, p. 41-48, 1997.

RODRIGUES, A. M. A questão ambiental e a (re)descoberta do espaço: uma nova relação sociedade/natureza? **Boletim Paulista de Geografia**, n. 73, p. 35-72, 2017.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. Mapa geomorfológico do estado de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 10, p. 41-58, 1996.

ROSSI, M. Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado. São Paulo, SP: Instituto Florestal, v.1, 118p, 2017.

SANTOS, D.S.; MANSUR, K.L.; GONÇALVES, J.B.; ARRUDA JR, E.R.; MANOSSO, F.C. Quantitative assessment of geodiversity and urban growth impacts in Armação dos Búzios, Rio de Janeiro, Brazil. **Applied Geography**, v. 85, p. 184-195, 2017.

SCHNEIDER, R. L.; MÜHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R. A.; DAEMON, R. F.; NOGUEIRA, A. A. Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28. Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974, v. 1, p. 41-65. 1974.

SERRANO, E. & RUIZ-FLAÑO, P. Geodiversity: A theoretical and applied concept. **Geographica Helvetica**, v. 62, p. 140-147, 2007.

SHARPLES, C. **A Methodology for the identification of significant landforms and geological sites for geoconservation purposes**. Tasmania: Forestry Commission, 1993.

SHARPLES, C. **Concepts and Principles of Geoconservation**. Horbat, Austrália: Parks & Wildlife Service, 2002.

SILVA, C. R. (Ed.). **Geodiversidade do Brasil**. Rio de Janeiro, RJ: CPRM, 2008.

SILVA, C. R., DANTAS, M. E., Mapas Geoambientais. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 7. 08 a 12 de agosto de 2012, Curitiba. **Anais ...** Curitiba: ABGE, 2012.

SILVA, J. P.; RODRIGUES, C.; PEREIRA, D. I. Mapping and Analysis of Geodiversity Indices in the Xingu River Basin, Amazonia, Brazil. **Geoheritage**, v.7, n.4, p. 337–350, 2015.

SILVA, M. L. N.; NASCIMENTO, M. A. L.; MANSUR, K. L. Geoprocessamento aplicado à avaliação quantitativa da geodiversidade na área do Geoparque Aspirante Seridó–RN. *Revista Geociências Unesp*, 2020.

SOARES, P. C. O limite glacial/pós-glacial do Grupo Tubarão no Estado de São Paulo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. v. 44, p. 333-342, 1972.

SOARES, P.C., LANDIM, P.M.B., Fulfaro V.J. Avaliação preliminar da evolução geotectônica das bacias intracratônicas brasileiras. In: Congr. Bras. Geol., 28, Porto Alegre, 1974. *Anais...*, Porto Alegre: SBG. v. 4, p.61-83. 1974.

TANSLEY, A.G. **The use and abuse of vegetational terms and concepts**. *Ecology*, v.16, p. 284–307, 1935.

VEDOVELLO, R (relator). Aplicações da Cartografia Geotécnica e Geoambiental. 5º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, Mesa Redonda, Tema 6, 2004. São Carlos, SP, In: PEJON, O. J.; ZUQUETTE, L. V. (ed.) **Conhecimento do Meio Físico: Base para a Sustentabilidade**. São Carlos, SP: Suprema Gráfica Editora Ltda., p. 337 – 342, 2004.

WARREN, L. V.; ASSINE, M. L.; SIMÕES, M. G.; RICCOMINI, C.; ANELLI, L. E. A Formação Serra Alta, Permiano, no Centro-Leste do Estado de São Paulo, Bacia do Paraná, Brasil. *Brazilian Journal of Geology*, v. 45, n.1, p. 109-126, 2015.

ZAINE, J.E. Geologia da Formação Rio Claro na folha Rio Claro (SP). Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP, Campus de Rio Claro, 90 p. 1994.

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

ANEXOS

ANEXO A – Quadro comparativo entre os estudos quantitativos realizados no Brasil e consultados na elaboração deste trabalho.

TRABALHO	ESCALA DE TRABALHO	DIMENSÕES DO GRID	ATRIBUTOS QUANTIFICADOS	OBSERVAÇÕES
Silva et al. (2014) - Mapping and Analysis of geodiversity Indices in Xingu Rivers Basin, Amazonia, Brazil	Bacia do Rio Xingu; Área total de 51 milhões de Hectares; Escala 1:5.500.000 Os mapas utilizados na quantificação apresentavam maior detalhe que os mapas gerados no trabalho.	Células do grid com área de 13,8 km ² cada.	- Geologia (unidades geológicas); - Geomorfologia (unidades geomorfológicas + contato estrutural da hidrografia + hierarquia fluvial + alterações no padrão do canal); - Paleontologia (números de registros fossilíferos); - Pedologia (tipos de solo); - Ocorrências Minerais (números de ocorrências minerais);	Os subíndices referentes à geologia, geomorfologia, pedologia, ocorrências minerais e paleontológicas foram quantificadas a partir da contagem de feições. Todos os mapas gerados foram classificados em cinco classes (Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto).
Dias et al.(2021) - Geodiversity Index Map of Rio Grande do Norte State, Northeast Brazil: Cartography and Quantitative Assessment	Estado do Rio Grande do Norte; Área total de 52.810 km²; Escala 1:500.000 A escala foi definida a partir do mapa de menor detalhe.	Células do grid com área de 30,25 km ² (5,5 x 5,5 km);	- Geologia (unidades litológicas); - Geomorfologia (unidades geomorfológicas); - Pedologia (classes de solos); - Hidrografia (número de corpos d'água); - Ocorrências Minerais (classificados por pesos, em ordem de relevância: depósitos [1], ocorrências [0,5] e indicadores [0,25]);	Os subíndices referentes à geologia, geomorfologia, pedologia, hidrografia, ocorrências minerais (classificadas) foram quantificados a partir da contagem de feições. Os mapas de subíndices e o mapa de índice de geodiversidade foram classificados em até 7 classes, apenas o mapa de índice de geodiversidade interpolado foi classificado em cinco classes pelo método de Quebra Natural de Jenks.

TRABALHO	ESCALA DE TRABALHO	DIMENSÕES DO GRID	ATRIBUTOS QUANTIFICADOS	OBSERVAÇÕES
Gonçalves (2018) - Mapeamento da Geodiversidade do Município de Miguel Pereira - RJ: abordagens metodológicas e sua contribuição para a gestão territorial	Município de Miguel Pereira - RJ; Área Total de 289,183 km²; Escala 1:10.000 A escala foi definida a partir do mapa de menor detalhe.	Células do grid com área de 1 km² (1 x 1 km);	- Geologia (litologias e estruturas); - Geomorfologia (padrões de relevo); - Pedologia (subclasses de solo); - Hidrografia (densidade de drenagem);	Os subíndices referentes à geologia, geomorfologia e pedologia foram quantificados a partir da contagem de feições. O subíndice hidrográfico foi quantificado pelo método de densidade de drenagens. Os mapas de subíndices tiveram o número de classes definidos pelo maior número de feições obtido, ou seja, as classes foram individualizadas para cada valor. Somente o mapa de índice de geodiversidade foi classificado em cinco classes.
Pereira et al. (2013) - Geodiversity Assessment of Paraná State (Brazil): An Innovative Approach	Estado do Paraná; Área total de 199.570 km²; Escala 1:5.000.000 Os mapas utilizados na quantificação apresentavam maior detalhe que os mapas gerados no trabalho.	Células do grid com área de 625 km² (25 x 25 km);	- Geologia (unidades geológicas); - Geomorfologia (unidades geomorfológicas + hierarquia fluvial); - Hidrografia (hierarquia fluvial dividido por 2) - Paleontologia (números de registros fossilíferos); - Pedologia (super-grupos de solo); - Ocorrências Minerais (números de ocorrências minerais);	Os subíndices referentes à geologia, pedologia, paleontologia e ocorrências minerais foram quantificados a partir da contagem de feições. Os subíndices de geomorfologia e hidrografia foram feitos a partir de cálculos em ambiente SIG. O mapa de índice de geodiversidade foi classificado em cinco classes (Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto).

TRABALHO	ESCALA DE TRABALHO	DIMENSÕES DO GRID	ATRIBUTOS QUANTIFICADOS	OBSERVAÇÕES
Santos et al. (2017) - Quantitative assessment of geodiversity and urban growth impacts in Armação dos Búzios, Rio de Janeiro, Brazil	Município de Armação dos Búzios - RJ; Área total de 69,28 km ² ; Escala 1:50.000 A escala foi definida a partir do mapa de menor detalhe.	Células do grid com área de 0,25 km ² (500 x 500 m);	Geologia (litologias e estruturas); - Geomorfologia (padrões de relevo); - Pedologia (classes de solo); - Hidrografia (número de corpos d'água);	Os subíndices referentes à geologia, geomorfologia, pedologia e hidrografia foram quantificados a partir da contagem de feições. Os mapas de subíndices tiveram o número de classes definidos pelo maior número de feições obtido, ou seja, as classes foram individualizadas para cada valor. Somente o mapa de índice de geodiversidade foi classificado em cinco classes.
Silva et al. (2019) - Geoprocessamento Aplicado à Avaliação Quantitativa da Geodiversidade na Área do Geoparque Aspirante Seridó - RN	Território do Geoparque Aspirante Seridó - RN Área total de 2.802 km ² ; Escala 1:500.000 A escala foi definida a partir do mapa de menor detalhe.	Células do grid com área de 4 km ² (2 x 2 km);	Geologia (litologias e estruturas); - Geomorfologia (unidades morfoestruturais); - Pedologia (classes de solo); - Hidrografia (número de corpos d'água); - Ocorrências Minerais (classificados por pesos, em ordem de relevância: depósitos [1] e ocorrências [0,5]);	Os subíndices referentes à geologia, geomorfologia, pedologia, hidrografia e ocorrências minerais (classificados) foram quantificados a partir da contagem de feições. Os mapas de subíndices tiveram o número de classes definidos pelo maior número de feições obtido, ou seja, as classes foram individualizadas para cada valor. Somente o mapa de índice de geodiversidade foi classificado em cinco classes.