



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Educação e Humanidades

Faculdade de Formação de Professores

Arthur Alves Bispo dos Santos

Análise da paisagem da bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu - RJ, sob os enfoques estruturais e funcionais da cobertura vegetal, a partir de perspectivas geológicas da paisagem

São Gonçalo

2020

Arthur Alves Bispo dos Santos

Análise da paisagem da bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu - RJ, sob os enfoques estruturais e funcionais da cobertura vegetal, a partir de perspectivas geocológicas da paisagem

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Faculdade de Formação de Professores da UERJ. Área de Concentração: Produção Social do Espaço. Linha de pesquisa: Natureza e Dinâmica da Paisagem.

Orientador: Prof. Dr. Vinicius da Silva Seabra

São Gonçalo

2020

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ/REDE SIRIUS/BIBLIOTECA CEH/D

S237 Santos, Arthur Alves Bispo dos.
Análise da paisagem da bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu - RJ, sob os enfoques estruturais e funcionais da cobertura vegetal, a partir de perspectivas geoecológicas da paisagem / Arthur Alves Bispo dos Santos. – 2020.
115f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Vinicius da Silva Seabra.
Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Formação de Professores.

1. Bacias hidrográficas – Macacu, Rio (RJ) – Teses. 2. Engenharia geotécnica – Teses. Vegetação – Mapeamento – Teses. I. Seabra, Vinicius da Silva. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Formação de Professores. III. Título.

CRB/7 - 4994 CDU 556.51(815.3)

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Arthur Alves Bispo dos Santos

Análise da paisagem da bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu - RJ, sob os enfoques estruturais e funcionais da cobertura vegetal, a partir de perspectivas geocológicas da paisagem

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Faculdade de Formação de Professores da UERJ. Linha de pesquisa: Natureza e Dinâmica da Paisagem.

Aprovado em 13 de agosto de 2020.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Vinicius da Silva Seabra (Orientador)
Faculdade de Formação de Professores – UERJ

Prof. Dr. Otávio Miguez da Rocha Leão
Faculdade de Formação de Professores – UERJ

Prof. Dr. Raúl Sánchez Vicens
Universidade Federal Fluminense

São Gonçalo

2020

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, à minha companheira e amigos, assim como àqueles que de alguma forma possam ter contribuído para a conclusão dessa etapa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me concedido a oportunidade de cursar e concluir o mestrado.

Aos meus pais, Marco e Lúcia, por terem me criado da melhor forma possível e pelo esforço para garantir que eu pudesse escolher meu caminho. Eles fizeram com que este sonho fosse possível.

A toda minha família, em especial meus irmãos, Gabriel e Rafael, por estarem ao meu lado em qualquer momento.

A minha companheira, Rafaella Sousa, pela compreensão, apoio e por todas as palavras positivas e de encorajamento. Obrigado por todo carinho, amor, paciência e companheirismo!

Aos amigos presentes nessa trajetória, pela ajuda, força e colaboração, compartilhando aprendizados, angústias e alegrias, gerando momentos de descontração e de debates que contribuíram para mais essa etapa.

Ao professor e amigo Vinicius Seabra, que me orienta desde os tempos de graduação e iniciou minha formação na área em que escolhi e que sempre acreditou em meu potencial.

A todos os colegas, funcionários e professores do programa de Pós-Graduação em Geografia da UERJ-FFP, os quais contribuíram muito com minha evolução pessoal e profissional.

A FAPERJ, pelo apoio financeiro mensal durante o tempo do mestrado, e que tornou possível a realização desta pesquisa.

O meu muito obrigado a todos que de alguma forma contribuíram com a minha trajetória!

RESUMO

SANTOS, Arthur Alves Bispo dos. *Análise da paisagem da bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu – RJ, sob os enfoques estruturais e funcionais da cobertura vegetal, a partir de perspectivas geoecológicas da paisagem*. 2020. 115f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Formação de Professores, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, São Gonçalo, 2020.

O estudo da paisagem, a partir de uma visão geossistêmica, ou seja, integrada, é de grande importância, principalmente devido às ações contínuas do homem na superfície terrestre. Dentre os elementos que compõem a paisagem, a vegetação, em especial, exerce uma função determinante no equilíbrio dos sistemas naturais. Assim, os estudos referentes à cobertura vegetal permitem entender o quão equilibrado está uma área e como ela consegue manter suas funções geossistêmicas, como por exemplo, a manutenção de recursos hídricos, biodiversidade e mitigação de processos erosivos. A bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu é uma das áreas do estado do Rio de Janeiro que apresenta grande importância. Essa bacia é responsável pelo abastecimento de água de cerca de 2 milhões de habitantes nos municípios de Cachoeiras de Macacu, Guapimirim, Itaboraí, São Gonçalo e Niterói. Portanto, o presente trabalho possui por objetivo a análise da paisagem da bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu - RJ, a partir dos enfoques estruturais e funcionais da cobertura vegetal, através da utilização de métricas da paisagem e classificação morfológica de padrões espaciais de remanescentes florestais, respectivamente. Essas análises derivam de um mapa de uso e cobertura da terra, produto decorrente do processo de mapeamento de uso e cobertura da terra, realizado a partir de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, por meio da classificação baseada em objetos (GEOBIA), de imagens Sentinel 2 (sensor MSI), utilizando índices radiométricos, em escala de 1:50.000. As métricas da paisagem foram geradas a partir do software *ArcGis 10.4*, com as extensões *V-Late* e *Patch Analyst*, além do software *Conefor 2.6*. Para a geração da análise morfológica do padrão espacial de remanescentes florestais, foi utilizado o software *Guidos Toolbox*. As análises englobam toda a área da bacia, e também os domínios geomorfológicos, permitindo uma caracterização do quantitativo e do padrão da cobertura vegetal no interior da área de estudo. Os resultados apontaram um perfil diferenciado de agregação da cobertura vegetal, evidenciando maior proporção de matriz no domínio geomorfológico de planície e remanescentes florestais maiores concentrados no domínio de montanhas. Outros dados também referendam isso, como por exemplo, a alta quantidade de fragmentos florestais nas planícies, colinas e morrotes, que indica um alto grau de fragmentação, e inversamente, um quantitativo reduzido de remanescentes nos morros e montanhas, que indica uma maior conservação. Esse tipo de estudo permite análises que poderão se tornar de grande utilidade e interesse para prefeituras, órgãos fiscalizadores, gestão ambiental e de planejamento, como subsídio à tomada de decisões. Com isso, pode-se ter um melhor planejamento e gestão ambiental, de forma a preservar os fragmentos florestais da bacia hidrográfica e, por conseguinte, contribuir para a preservação de espécies nativas de fauna e flora, e na manutenção do abastecimento de água à sociedade civil.

Palavras-chave: Remanescentes florestais. Geotecnologias. Bacia do rio Guapi-Macacu.

ABSTRACT

SANTOS, Arthur Alves Bispo dos. *Analysis of the landscape of the hydrographic basin of the Guapi-Macacu River - RJ, under the structural and functional approaches of vegetation cover, from geoecological perspectives of the landscape*. 2020. 115f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Formação de Professores, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, São Gonçalo, 2020.

The study of the landscape, from a geosystemic view, that is, integrated, is of great importance, mainly due to the continuous actions of man on the earth's surface. Among the elements that make up the landscape, vegetation, in particular, plays a determining role in the balance of natural systems. Thus, studies referring to vegetation cover allow us to understand how balanced an area is and how it manages to maintain its geosystemic functions, such as, for example, the maintenance of water resources, biodiversity and mitigation of erosion processes. The hydrographic basin of the Guapi-Macacu River is one of the areas of the state of Rio de Janeiro that has great importance. This basin is responsible for the water supply of about 2 million inhabitants in the municipalities of Cachoeiras de Macacu, Guapimirim, Itaboraí, São Gonçalo and Niterói. Therefore, this work aims to analyze the landscape of the hydrographic basin of the Guapi-Macacu River - RJ, from the structural and functional approaches of the vegetation cover, through the use of landscape metrics and morphological classification of spatial patterns of forest remnants, respectively. These analyzes are derived from a land use and land cover map, a product resulting from the land use and land mapping process, carried out using geoprocessing and remote sensing techniques, using object-based classification (GEOBIA), images Sentinel 2 (MSI sensor), using radiometric indices, on a scale of 1:50,000. The metrics of the landscape were generated from the *ArcGis 10.4* software, with the extensions *V-Late* and *Patch Analyst*, in addition to the software *Conefor 2.6*. To generate the morphological analysis of the spatial pattern of forest remnants, the software *Guidos Toolbox* was used. The analyzes encompass the entire area of the basin, as well as the geomorphological domains, allowing a characterization of the quantity and the pattern of vegetation cover within the study area. The results showed a differentiated profile of vegetation cover aggregation, showing a higher proportion of matrix in the lowland geomorphological domain and larger forest remnants concentrated in the mountain domain. Other data also support this, such as, for example, the high amount of forest fragments in the plains, hill and morrotes, which indicates a high degree of fragmentation, and conversely, a reduced amount of remnants in the hills and mountains, which indicates greater conservation. This type of study allows analyzes that may become of great use and interest for city halls, supervisory bodies, environmental and planning management, as a subsidy for decision making. With this, it is possible to have a better planning and environmental management, in order to preserve the forest fragments of the hydrographic basin and, therefore, contribute to the preservation of native species of fauna and flora, and in maintaining the water supply to society civil.

Keywords: Forest remnants. Geotechnologies. Basin of the Guapi-Macacu River.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Mapa de localização da BHRGM - RJ	15
Figura 2 –	Mapa de Municípios da BHRGM - RJ	19
Figura 3 –	Mapa de domínios geomorfológicos da BHRGM - RJ	20
Figura 4 –	Mapa de drenagem fluvial da BHRGM – RJ	22
Figura 5 –	Mapa de unidades de conservação da BHRGM – RJ	26
Figura 6 –	Manchas de uma paisagem	36
Figura 7 –	Relação entre as áreas interiores e as margens de acordo com diferentes formas e tamanhos de manchas	38
Figura 8 –	O modelo Mancha-Corredor-Matriz	41
Figura 9 –	Bacia hidrográfica	43
Figura 10 –	Obtenção de imagens por sensoriamento remoto	47
Figura 11 –	Espectro Eletromagnético	48
Figura 12 –	Camada matricial	49
Figura 13 –	Fluxograma metodológico	54
Figura 14 –	Fluxograma da classificação de uso e cobertura da terra	56
Figura 15 –	Composição RGB da imagem original (a) e da imagem corrigida (b) .	57
Figura 16 –	Exemplo de imagem segmentada	58
Figura 17 –	Fluxograma da rede semântica de mapeamento	59
Figura 18 –	Modelagem booleana de classes utilizando descritores	60
Figura 19 –	Imagens da composição dos índices radiométricos (NDVI e NDWI) ..	63
Figura 20 –	Imagens da composição dos índices radiométricos (SAVI 1 e RENDWI)	63
Figura 21 –	Amostras de validação da classe de floresta e água	65

Figura 22 –	Mapa de uso e cobertura da terra da BHRGM – RJ	75
Figura 23 –	Gráfico do percentual de cobertura vegetal na BHRGM – RJ	77
Figura 24 –	Gráfico de classes de tamanho dos fragmentos florestais da BHRGM – RJ	79
Figura 25 –	Mapa de classes de tamanho dos fragmentos florestais da BHRGM - RJ	80
Figura 26 –	Gráfico de classes segundo a distância do vizinho mais próximo (NNDist) dos fragmentos florestais da BHRGM - RJ	82
Figura 27 –	Mapa de classes segundo a distância do vizinho mais próximo (NNDist) dos fragmentos florestais da BHRGM - RJ	83
Figura 28 –	Métricas relativas a área e número de manchas para os domínios geomorfológicos da BHRGM - RJ	85
Figura 29 –	Métricas relativas a borda para os domínios geomorfológicos da BHRGM - RJ	86
Figura 30 –	Métricas relativas a forma para os domínios geomorfológicos da BHRGM - RJ	88
Figura 31 –	Mapa de padrões espaciais dos fragmentos florestais da BHRGM - RJ .	89
Figura 32 –	Gráfico do percentual de padrões espaciais dos fragmentos florestais para o domínio de planícies na BHRGM - RJ	92
Figura 33 –	Mapa de padrões espaciais dos fragmentos florestais para o domínio de planície na BHRGM - RJ	93
Figura 34 –	Gráfico do percentual de padrões espaciais dos fragmentos florestais para o domínio de colinas na BHRGM - RJ	95
Figura 35 –	Gráfico do percentual de padrões espaciais dos fragmentos florestais para o domínio de morrotes na BHRGM - RJ	96
Figura 36 –	Gráfico do percentual de padrões espaciais dos fragmentos florestais para o domínio de morros na BHRGM - RJ	98
Figura 37 –	Mapa de padrões espaciais dos fragmentos florestais para o domínio de morros na BHRGM - RJ	99
Figura 38 –	Gráfico do percentual de padrões espaciais dos fragmentos florestais para o domínio de montanhas na BHRGM - RJ	100
Figura 39 –	Mapa de padrões espaciais dos fragmentos florestais para o domínio	

	de montanhas na BHRGM - RJ	101
Figura 40 –	Mapa de áreas prioritárias para conservação e recuperação florestal da BHRGM - RJ	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Bandas da imagem Sentinel 2, sensor MSI	55
Tabela 2 –	Fórmulas dos índices utilizados	61
Tabela 3 –	Pontos amostrais extraídos para realizar o processo de validação do mapeamento de uso e cobertura da terra	64
Tabela 4 –	Matriz de confusão obtida a partir da validação no Google Earth	65
Tabela 5 –	Qualidade da classificação associado aos valores do índice Kappa	66
Tabela 6 –	Métricas empregadas para a análise da estrutura da paisagem, a nível de mancha	67
Tabela 7 –	Métricas empregadas para a análise da estrutura da paisagem, a nível de classe	68
Tabela 8 –	Classes de domínios geomorfológicos	72
Tabela 9 –	Área e total percentual dos domínios geomorfológicos na BHRGM – RJ	72
Tabela 10 –	Área e total percentual das classes de uso e cobertura da terra da BHRGM - RJ	72
Tabela 11 –	Quantitativo de matriz e vegetação da BHRGM - RJ	77
Tabela 12 –	Parâmetros do tamanho dos fragmentos na BHRGM - RJ	78
Tabela 13 –	Classes de tamanho dos fragmentos florestais da BHRGM - RJ	78
Tabela 14 –	Métricas relativas à Distância do Vizinho mais próximo da BHRGM - RJ	81
Tabela 15 –	Métricas relativas a área e o número de manchas dos domínios da BHRGM - RJ	84
Tabela 16 –	Métricas relativas a borda dos domínios da BHRGM - RJ	86
Tabela 17 –	Métricas relativas a forma dos domínios da BHRGM - RJ	87
Tabela 18 –	Padrões espaciais dos fragmentos florestais da BHRGM – RJ	90
Tabela 19 –	Padrões espaciais dos fragmentos florestais para o domínio de	

planícies na BHRGM - RJ	92
Tabela 20 – Padrões espaciais dos fragmentos florestais para o domínio de colinas na BHRGM - RJ	94
Tabela 21 – Padrões espaciais dos fragmentos florestais para o domínio de morrotes na BHRGM - RJ	96
Tabela 22 – Padrões espaciais dos fragmentos florestais para o domínio de morros na BHRGM - RJ	97
Tabela 23 – Padrões espaciais dos fragmentos florestais para o domínio de montanhas na BHRGM - RJ	99

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	14
1	OBJETIVOS	17
1.1	Objetivo Geral	17
1.1.1	<u>Objetivos Específicos</u>	17
1.2	Justificativa	17
2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	19
3	REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL	28
3.1	Paisagem em perspectiva geossistêmica	28
3.2	Análise geocológica da paisagem	31
3.2.1	<u>Cobertura vegetal e fragmentação florestal</u>	33
3.2.1.1	Enfoque estrutural da cobertura vegetal	35
3.2.1.2	Enfoque funcional da cobertura vegetal	40
3.3	Bacia hidrográfica como recorte geossistêmico	43
3.4	O geoprocessamento e o sensoriamento remoto como ferramentas de análise da paisagem	45
3.4.1	<u>Sistemas de classificação</u>	50
3.4.2	<u>Classificação de imagem baseada em objetos (GEOBIA)</u>	52
4	MATERIAIS E MÉTODOS	54
4.1	Classificação de uso e cobertura da terra	55
4.2	Métricas da paisagem	67
4.3	Análise Morfológica do padrão espacial (Morphological Spatial Pattern Analysis - MSPA)	69
4.4	Aquisição de dados	71

4.4.1	<u>Domínios geomorfológicos</u>	71
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	74
5.1	Análise do uso e cobertura da terra	74
5.2	Análise do enfoque estrutural da cobertura vegetal	77
5.2.1	<u>Análise do enfoque estrutural da cobertura vegetal por domínios geomorfológicos</u>	84
5.3	Análise do enfoque funcional da cobertura vegetal	88
5.3.1	<u>Análise do enfoque funcional da cobertura vegetal por domínios geomorfológicos</u>	91
5.4	Definição de área prioritárias para conservação e recuperação	101
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	105
	REFERÊNCIAS	108

INTRODUÇÃO

A preocupação social com o ambiente vem ganhando cada vez mais importância devido às ações contínuas do homem na superfície terrestre. A paisagem, um dos conceitos balizadores da geografia, é caracterizada pelo relevo, vegetação, hidrologia, clima, solos e atividades antrópicas, sendo fundamental a compreensão da integração destes elementos para um conhecimento mais completo, que possa gerar iniciativas de planejamento ambiental ou ordenamentos urbanos e rurais (AUGUSTO, 2016).

Dentre estes elementos, a vegetação, em especial, exerce uma função determinante no equilíbrio dos sistemas naturais. Desta forma, a análise do padrão espacial e da distribuição da vegetação em diferentes escalas e recortes espaciais é de fundamental importância, principalmente para fins de proteção e recuperação ambiental. Os estudos sobre a distribuição e o padrão da vegetação permitem também entender o quão equilibrado está uma área, e como essa área consegue manter suas funções geossistêmicas, como por exemplo, a manutenção de mananciais hídricos, biodiversidade e mitigação de processos erosivos.

Como exemplo, a retirada ou redução da vegetação — causando a fragmentação da mesma —, uma consequência da ampliação de atividades antrópicas, pode comprometer o volume do fluxo d'água dos rios, alterar a dinâmica natural de remoção, transporte e deposição de sedimentos, podendo causar a supressão ou o assoreamento do canal fluvial, alterando a forma, a largura e a profundidade do curso d'água, e comprometendo o suprimento para as populações que se encontram à jusante (CHRISTOFOLETTI, 2015).

A conversão de grandes remanescentes de florestas em fragmentos dispersos e isolados reduz a prestação de funções geossistêmicas. A manutenção da cobertura vegetal é de extrema importância para garantir a provisão e regulação da água, aumentando a infiltração desta no solo, reduzindo o escoamento superficial e os processos erosivos (CASSIANO, 2013). Assim, avaliar o estado da cobertura vegetal — principalmente se baseando em diferentes enfoques, como por exemplo o estrutural e o funcional —, analisando o grau de conectividade e fragmentação, configurasse como uma tarefa muito relevante para estudos voltados para a área ambiental.

A bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu (BHRGM) é de grande importância para o estado do Rio de Janeiro. Essa bacia engloba os municípios de Cachoeiras de Macacu, Guapimirim e uma pequena área de Itaboraí e Magé (Figura 1). Além disso, é de suma relevância para o contexto da região Leste Metropolitana, pois é responsável pelo

abastecimento de água de cerca de 2 milhões de habitantes nos municípios de Cachoeiras de Macacu, Guapimirim, Itaboraí, São Gonçalo e Niterói. Possui em seu interior unidades de conservação, das quais destacam-se o Parque Nacional da Serra dos Órgãos, o Parque Estadual dos Três Picos, a Área de Proteção Ambiental (APA) da bacia do rio Macacu e a APA de Guapimirim.

Figura 1 — Mapa de localização da BHRGM - RJ



Fonte: O autor, 2019.

Por trabalhar com um conjunto de variáveis, os estudos ambientais necessitam de metodologias e ferramentas que possibilitem a realização de análises espaciais. Portanto, o uso de geotecnologias torna-se de grande auxílio nessa função. O geoprocessamento, envolvendo os sistemas de informação geográfica (SIG) e o processamento de imagens de sensoriamento remoto, são capazes de realizar esta função, através do tratamento de dados até a geração de informações georreferenciadas que auxiliam na busca de objetivos em diversos estudos (FLORENZANO, 2011).

O uso dos recursos das geotecnologias possui grande potencialidade para o estudo da paisagem, permitindo diferentes estudos, como por exemplo a identificação de pressões socioambientais, proporcionando análises e fiscalizações eficientes à conservação e

recuperação ambiental. Assim, o geoprocessamento e o sensoriamento remoto se configuram como ferramentas muito úteis para análises espaciais e estudos acerca da paisagem.

1 OBJETIVOS

1.1 Objetivo Geral

Realizar a análise da paisagem da bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu - RJ, a partir dos enfoques estruturais e funcionais da cobertura vegetal, utilizando perspectivas geológicas. Sob o enfoque estrutural, através da estrutura horizontal da cobertura vegetal, com a utilização de métricas da paisagem; sob o enfoque funcional, através da estrutura funcional (função) da cobertura vegetal, com a classificação morfológica de padrões espaciais dos remanescentes florestais.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Analisar o uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu - RJ;
- Analisar a cobertura vegetal por domínios geomorfológicos da bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu - RJ;
- Definir áreas prioritárias para conservação e recuperação ambiental.

1.2 Justificativa

Os remanescentes florestais possuem importância em todo o sistema da bacia hidrográfica. A retirada da vegetação natural das áreas no interior de uma mesma possui impacto direto na vazão dos rios, ou seja, na oferta de água para a bacia. Por esses motivos, e levando em consideração a importância da água como um bem comum e muitas vezes escasso, deve-se haver uma preocupação com o estado de conservação das áreas de vegetação da bacia hidrográfica.

A bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu possui três rios principais – Guapiaçu, Macacu e Guapimirim -, que estão entre os principais da porção leste da Região

Metropolitana do Rio de Janeiro. Nela, estão inclusos o Parque Nacional da Serra dos Órgãos, o Parque Estadual dos Três Picos, a APA do rio Macacu e a APA de Guapimirim, além de estar próximo do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ). O curso de seus canais desagua na Baía de Guanabara, sendo um de seus principais contribuintes em volume d'água, além de ser responsável pelo abastecimento hídrico de quase dois milhões de habitantes nos municípios de Cachoeiras de Macacu, Guapimirim, Itaboraí, São Gonçalo e Niterói.

Portanto, as análises realizadas neste trabalho poderão se tornar de grande utilidade e interesse para prefeituras, órgãos fiscalizadores, de gestão ambiental e de planejamento, como subsídio à tomada de decisões, além de poder vir a apontar as áreas que estejam sofrendo maiores pressões ambientais. Com isso, pode-se ter um melhor planejamento e gestão ambiental, de forma a preservar e recuperar os remanescentes florestais da bacia hidrográfica e, por conseguinte, contribuir para a preservação de espécies nativas de fauna e flora, com a manutenção do abastecimento de água à sociedade civil.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A BHRGM limita-se ao norte pela escarpa da Serra do Mar, onde se encontra as suas principais nascentes. Em suas porções leste e sudeste, esta bacia tem como limites formações montanhosas dos patamares residuais, também da Serra do Mar, e de maciços alcalinos do Tinguá e Rio Bonito. A área de drenagem da bacia pertence aos municípios de Cachoeiras de Macacu, Guapimirim e uma pequena área de Itaboraí e Magé (Figura 2). A água drenada flui pelo Canal de Imunana, construído pelo extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS), até chegar na Baía de Guanabara.

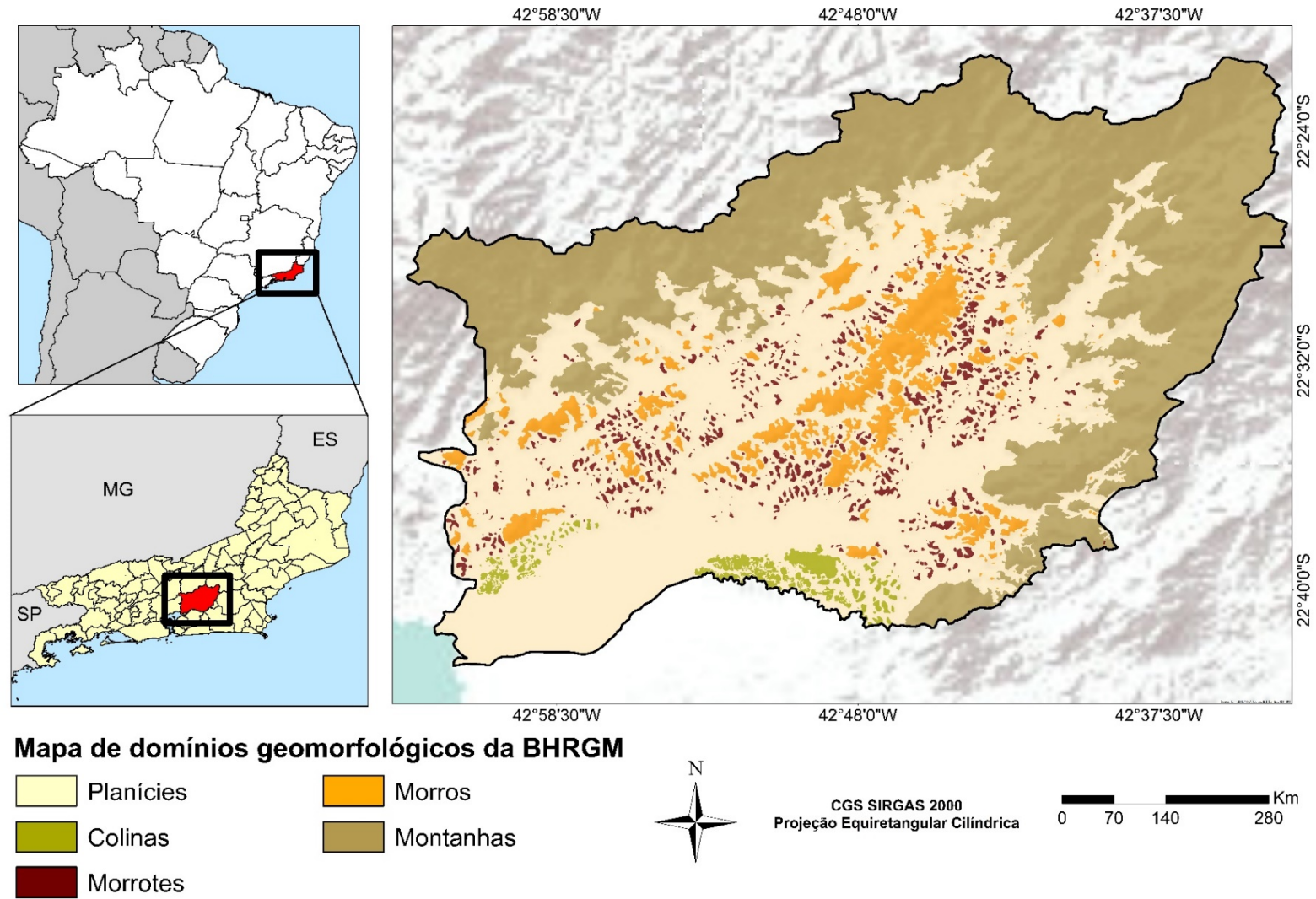
Figura 2 — Mapa de Municípios da BHRGM - RJ



Fonte: O autor, 2018.

A BHRGM abrange uma grande diversidade de domínios geomorfológicos, se estendendo das escarpas serranas — do domínio de montanhas — às planícies fluviais, passando por domínios de colinas, morrotes e morros, conforme pode ser visto na figura 3, no mapeamento dos domínios geomorfológicos realizado por Augusto e Seabra (2017).

Figura 3 - Mapa de domínios geomorfológicos da BHRGM - RJ



Fonte: O autor, 2019.

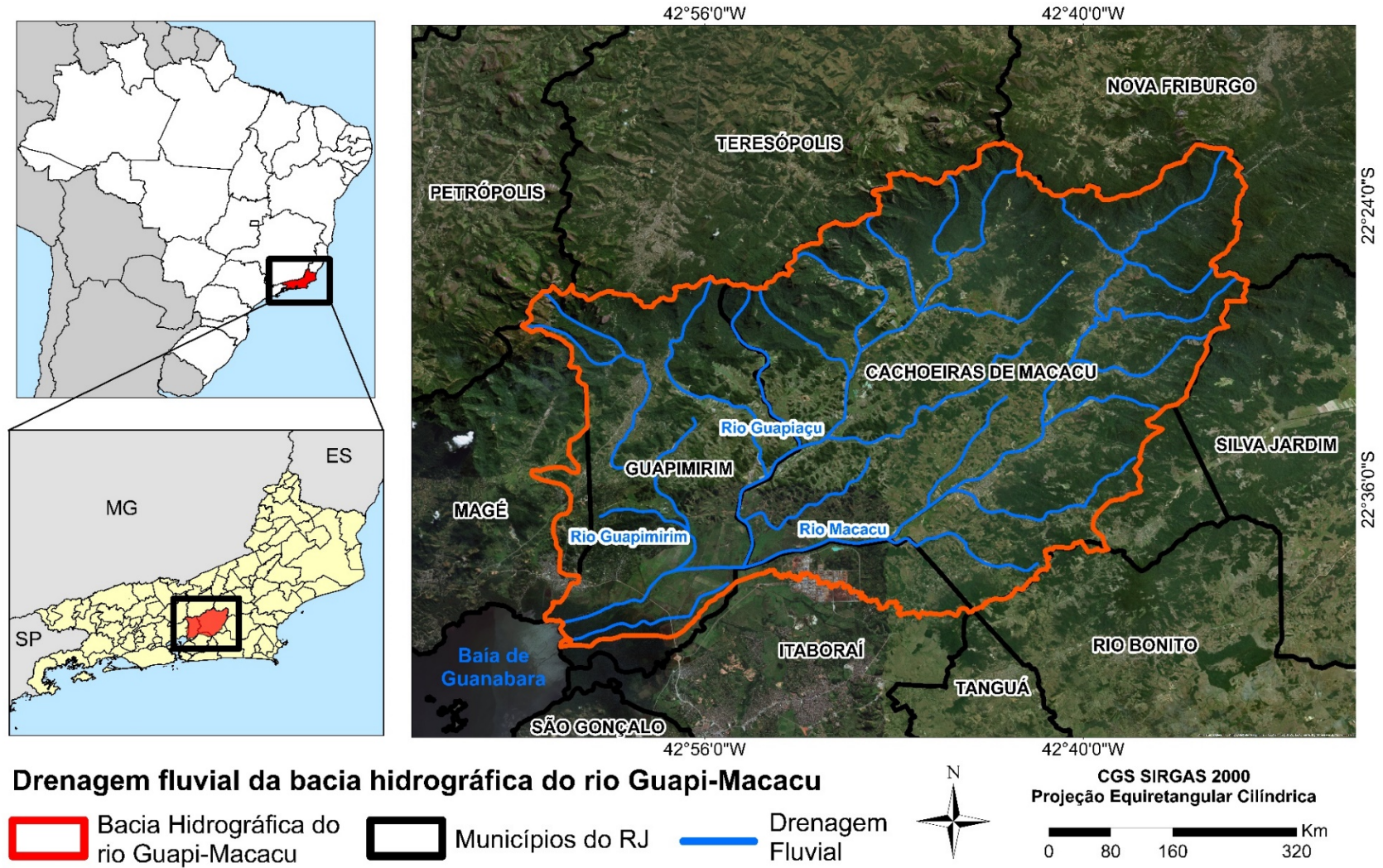
As planícies se localizam na porção sul e central da bacia, onde encontra-se a planície fluvial do canal principal e sua foz, além dos vales e fundos de vales dos afluentes e tributários dispersos por toda a bacia. As colinas têm presença na parte sul da bacia, como suaves elevações em áreas dominadas por planícies. O domínio de morrotes se apresenta despendido por toda a área de estudo, apresentando uma morfologia de transição entre as áreas mais altas e as planícies. O domínio de morros se encontra presente em porções mais altas em áreas com predominância de morrotes, principalmente na porção central da bacia. Por sua vez, a classe de montanhas se concentra em sua maior parte na porção norte da bacia.

A região que abrange os domínios das planícies, colinas, morrotes e morros apresentam as maiores alterações na configuração original da cobertura vegetal, influenciado principalmente pela expansão urbana da região Metropolitana do Rio de Janeiro, mas também devido às obras de drenagens e aterramentos que modificaram o curso dos seus rios. Nas escarpas serranas, há a presença de áreas contínuas de floresta, atualmente protegidas sob diferentes unidades de conservação, devido principalmente às maiores altitudes e o relevo acidentado, que funcionaram como barreira à ocupação e ao desenvolvimento de atividades humanas.

A fisiografia dos principais rios da BHRGM é dividida em três segmentos distintos: um primeiro que desce a encosta da serra do Mar sob a forma de corredeiras e cachoeiras, tendo as margens cobertas por Mata Atlântica. Um segundo, curto, percorre uma área de transição entre as escarpas e as planícies, com formação menos acidentadas. Neste trecho, os rios contornam maciços com altitudes inferiores a 1.000 m, com vegetação das margens composta por árvores da floresta das terras baixas e espécies adaptadas a terrenos mais úmidos. E, um terceiro, formado pelo baixo curso, é mais longo e percorre áreas de baixada, com terrenos planos e desníveis mínimos, facilmente inundáveis e sujeitos às influências da maré. A vegetação do trecho inferior é composta por pastos, mangues e pequenos arbustos (COSTA, 1999 apud BENAVIDES et al., 2009).

A BHRGM é resultado da união artificial dos rios Macacu, Guapiaçu e Guapimirim (Figura 4). Abrange em torno de 1.260 km², correspondente a quase um terço do total da área de contribuição à baía de Guanabara, no Estado do Rio de Janeiro, e é responsável pelo abastecimento de água de quase dois milhões de pessoas (BENAVIDES et al., 2009).

Figura 4 — Mapa de drenagem fluvial da BHRGM - RJ



Fonte: O autor, 2019.

O rio Macacu, situado no município de Cachoeiras de Macacu, é o maior desta bacia hidrográfica e é o principal da região. Ele tem a nascente principal na Serra do Mar, dentro do parque estadual de Três Picos, a cerca de 1.700 m de altitude e percorre aproximadamente 74 km até a sua junção com o rio Guapimirim. Sua foz, juntamente com a de outros rios, encontra-se na APA de Guapimirim, criada em 1984 tendo em vista proteger os manguezais remanescentes da baía de Guanabara (CONSÓRCIO ECOLOGUS-AGRAR, 2005 apud BENAVIDES et al., 2009).

O rio Guapiaçu também tem suas nascentes na Serra do Mar, no município de Cachoeiras de Macacu, a 1.200 m de altitude e corre mais ou menos paralelo ao rio Macacu, até se encontrar com ele no início do canal Imunana. Já o rio Guapimirim tem suas nascentes em altitudes em torno de 2.000 m e sua área de captação encontra-se quase toda situada dentro do município de Guapimirim. Ele recebe as águas do Macacu e do Guapiaçu ao final do canal de Imunana. Após essa junção, as águas atravessam a área do manguezal de Guapimirim, desaguando na baía de Guanabara (BENAVIDES et al., 2009).

Além disso, o rio Caceribu era originalmente afluente do rio Macacu pela margem esquerda e, a partir da construção do canal de Imunana, deixou de unir-se às águas do Macacu, mas permaneceu no seu antigo baixo leito e foz. Com isso, tornou-se uma bacia hidrográfica independente (BENAVIDES et al., 2009).

A bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu foi submetida, desde o século XVI, a sucessivas transformações de suas paisagens naturais causadas por intervenções antropogênicas. Lamego (1964 apud DANTAS et al., 2012) apontam que nos séculos XVI e XVII, esta região consistiu na principal zona produtora de madeira; nos séculos XVII e XVIII, tornou-se uma importante zona produtora de açúcar; e no século XIX, tornou-se em uma zona secundária de café. O resultado desses sucessivos ciclos resulta na promoção de um cenário de intensa devastação da floresta nativa nas baixadas e depressões colinosas, associada com a erosão das vertentes e entulhamento dos fundos de vales.

Neste contexto histórico, a rede de canais principais apresentou um valor estratégico para a ocupação do interior da bacia de drenagem, pois representou os vetores de penetração, povoamento e transporte de mercadorias via navegação fluvial para o Rio de Janeiro, assim como a implantação dos primeiros núcleos urbanos (DANTAS et al., 2012). Ao final do século XIX, com a intensificação do assoreamento dos canais, e também com a implantação de ferrovias e outras vias terrestres, a navegação fluvial entrou em colapso.

A partir da década de 1930, o Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS) realizou intervenções na BHRGM, acarretando em uma grande transformação

ambiental baseada na retificação dos canais principais, que estavam assoreados, e o consequente rebaixamento do nível freático regional e drenagem das baixadas, encurtando em até três vezes o percurso natural dos rios. Essa intervenção, motivada visando à erradicação da malária e à recuperação de terras para a agricultura, gerou o saneamento das áreas de baixada da bacia hidrográfica, mas também causou um aumento do gradiente dos canais e a elevação da competência de rios para transportar sedimentos, o que ocasionou um grande aumento da descarga de sedimentos na baía de Guanabara.

Em 1947, iniciou-se a construção do canal de Imunana, interligando artificialmente o curso do rio Macacu, logo a jusante da confluência com o Guapiaçu, com o rio Guapimirim, descaracterizando a drenagem natural da parte baixa da bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu e Caceribu, que até então eram afluentes. Costa (1999 apud BENAVIDES et al., 2009) indica que todas estas obras causaram um grande impacto na fauna e flora originais da região, tendo levado ao desaparecimento de brejos, pântanos e grande parte dos manguezais.

Na segunda metade do século XX, ocorreu com mais intensidade a expansão urbana da Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro, causando um adensamento populacional sobre áreas de baixadas mais bem drenadas, como por exemplo, núcleos urbanos em São Gonçalo, Magé, Itaboraí e Cachoeiras de Macacu, que experimentaram uma expansão acelerada da malha urbana. Com essa urbanização, os problemas ambientais, causados anteriormente pelas obras de engenharia realizadas na bacia, se intensificaram.

Como visto, a história de ocupação da BHRGM é antiga e ocorreu sem um planejamento adequado, ocasionando diversos tipos de degradação, como as inúmeras áreas de erosão e assoreamento de rios, em consequência da remoção de grande parte da cobertura vegetal original, associada ao uso inadequado das terras. Conforme Benavides et al. (2009), a destruição das matas ciliares, a expansão urbana sem planejamento, a falta de tratamento de esgotos sanitários e a instalação de atividades industriais vêm acarretando uma piora da qualidade da água e principalmente a diminuição da capacidade de armazenamento dessa bacia hidrográfica.

Contudo, destaca-se que esta bacia têm uma grande importância estratégica para o Estado do Rio de Janeiro, sobretudo para o leste metropolitano, uma vez que as suas águas abastecem grande parte da população da segunda maior metrópole do Brasil. Além de serem responsáveis pelo abastecimento de cerca de 2 milhões de habitantes nos municípios de Cachoeiras de Macacu, Guapimirim, Itaboraí, São Gonçalo e Niterói, tem-se ainda uma série de intervenções ocorrendo nas bacias dos rios Macacu e Guapiaçu, em virtude da construção do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ).

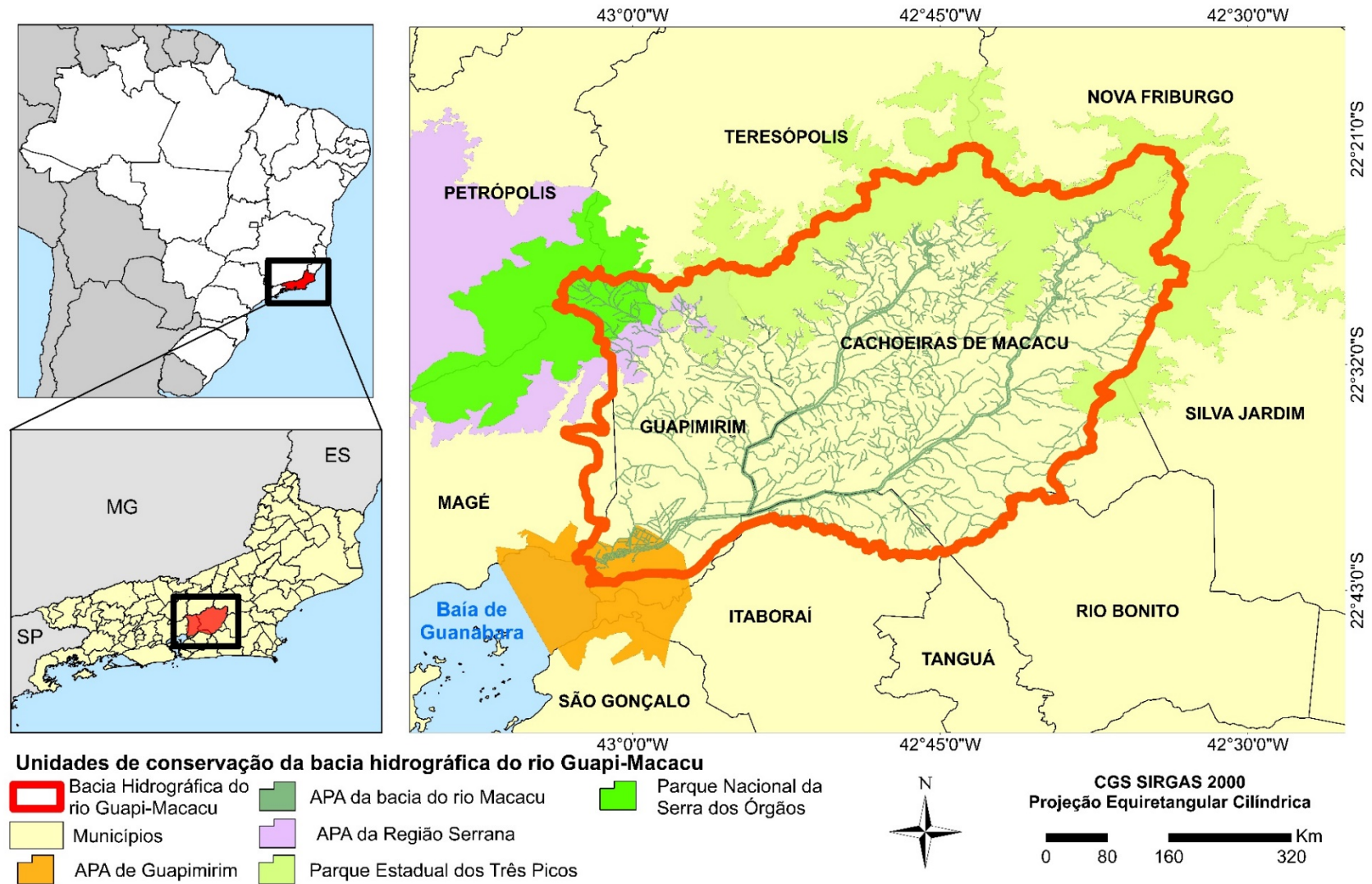
A construção do COMPERJ, no município de Itaboraí, proporciona uma série de intervenções nessas áreas, tais como, especulação imobiliária, aumento do contingente populacional, grande fluxo de pessoas e materiais, entre outros fatores que contribuem com a pressão e impactos sobre a biodiversidade da bacia.

Outra questão que também deve ser levada em consideração são os conflitos por água e a tensão hídrica na área de estudo, principalmente o que envolve a construção da barragem do Guapiaçu. A barragem é defendida pela Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDAE) como a melhor solução para a regularização do abastecimento de água na região leste da baía de Guanabara. Entretanto, estima-se que os impactos ambientais e socioeconômicos associados à construção desta barragem são bastante relevantes. Levantamentos indicam que a região a ser inundada abriga significativa área de floresta secundária de baixada, corredores ecológicos e área produtiva habitada por centenas de famílias.

Por ter uma considerável importância no suprimento de água de grande parte dos municípios da porção leste da baía de Guanabara, a BHRGM possui em seu interior unidades de conservação de uso sustentável, permitindo atividades antrópicas e alterações na paisagem, e de proteção integral, que restringem a alteração das características originais da área. Essas unidades de conservação são geridas em níveis municipal, estadual e federal, e são fundamentais para a conservação da biodiversidade e dos recursos hídricos (Figura 5).

O Parque Nacional da Serra dos Órgãos é a unidade de conservação mais antiga, criado em 1939, com objetivos de conservar e proteger uma amostra do ecossistema de floresta primitiva da serra do Mar e de campos de altitude. O Parque Estadual dos Três Picos é a maior área de proteção da área de estudo, com mais de 46 mil hectares, dos quais 24.352,6 ha estão inseridos na BHRGM. Foi criado para preservar as matas em excelente estado de conservação na região serrana. Segundo Benavides et al. (2009), as áreas na parte norte da bacia correspondem às áreas de mata inseridas em áreas protegidas, formando uma área contínua que vai da área norte do município de Guapimirim, inserida no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, e chegando ao Parque Estadual dos Três Picos, que “circunda” a sede do município de Cachoeiras de Macacu.

Figura 5 — Mapa de unidades de conservação da BHRGM - RJ



Fonte: O autor, 2019.

A APA da Bacia do Rio Macacu foi criada em 2002, com o objetivo de proteger os mananciais que abastecem os municípios do Leste Metropolitano do Estado do Rio de Janeiro. Esta unidade de conservação estadual compreende uma faixa de 150 metros de ambas as margens do rio Macacu em toda sua extensão, desde a nascente até a APA Guapimirim – na sua desembocadura –, assim como a mesma faixa de 150 metros do rio Guapiaçu – seu principal afluente –, e ainda uma faixa de 50 metros de ambas as margens dos demais afluentes.

A APA Guapimirim engloba os manguezais da porção oriental da baía de Guanabara, nos municípios de Magé, Guapimirim, Itaboraí e São Gonçalo. Foi a primeira unidade de conservação específica de manguezais e compreende também regiões ocupadas por pequenos núcleos de pescadores, atividades agrícolas e zonas urbanas com população de baixa renda (BENAVIDES et al, 2009).

Essas unidades de conservação são de grande relevância para os municípios do leste fluminense, pois além de manter a vasta biodiversidade de fauna e flora do Estado do Rio de Janeiro, protegem recursos naturais fundamentais para a população da região metropolitana. Entretanto, não impedem que a BHRGM seja progressivamente degradada, fator que se acentua com a intensificação da dinâmica urbano-ambiental desta.

3 REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL

3.1 Paisagem em perspectiva geossistêmica

Pode-se afirmar que o termo “paisagem” assume uma considerável importância dentro da análise espacial, constituindo-se como um conceito fundamental da Geografia. Dessa forma, o estudo da paisagem configura-se, em sua essência, em um estudo genuinamente geográfico, possuindo um papel relevante para a evolução desta ciência (SEABRA, 2012).

Vitte (2008), sobre o conceito de paisagem, destaca a sua “complexização”, decorrente de como o mesmo foi tratado pelas várias correntes da geografia ao longo do tempo. Assim, para o autor, discutir sobre o conceito de paisagem remete-se ao processo de institucionalização da geografia como ciência, que elege a superfície da terra em seus aspectos físicos e humanos como campo de estudo.

Segundo Sansolo (2007), foi durante o século XIX que a geografia assume o caráter de ciência e de disciplina acadêmica, além de ser também dessa época o surgimento e a evolução do conceito geográfico de paisagem, iniciados por Humboldt na escola alemã, e Lomonosov e Dokuchaev na escola russo-soviética. As escolas russa, alemã e francesa se destacam pelo estudo geográfico de paisagem, com importantes pensadores, como Passarge, Troll, Riábchicov, Sotchava, entre outros.

Sansolo (2007) destaca também, no século XIX, o geógrafo francês Vidal de La Blache. A paisagem para Vidal de La Blache possui noções de forma e fisionomia, além de ser responsável pelo encadeamento e correlação dos fenômenos de uma região. Ainda na escola francesa, Tricart (1950) também contribuiu com a evolução do conceito, pois propôs uma análise da interação ambiental de forma integrada, através da ecodinâmica, com o objetivo de se estudar os ecótopos. Outro autor importante no estudo da paisagem é Sauer (1925), na escola anglo-saxônica. A partir de seus estudos e do clássico livro “*The morphology of landscape*”, surge o conceito de morfologia da paisagem como estudo da composição, forma e arranjo espacial destas. Segundo o autor, a paisagem não é de modo algum visto apenas como físico. Ela é definida como uma área composta por uma associação distinta de formas, ao mesmo tempo físicas e culturais.

Esses autores conceituaram a paisagem levando em consideração somente a forma, fundamentando-se em perspectivas fenomenológicas e dialéticas. Com o passar do tempo,

diversos autores passam a conceituá-la para além da forma. Sansolo (2007) cita Bobek e Smithüsen, que argumentam que a paisagem possui dimensões perceptíveis e outras não acessíveis à percepção imediata. Isso se deve ao fato da mesma possuir elementos resultantes de processos que ocorrem em diversas escalas temporo-espaciais.

Nesse mesmo sentido, Troll (1997) propôs a criação da Geoecologia da Paisagem, a partir de estudos de aspectos fisionômico e funcional. O primeiro refere-se à integração de diversos fatores biofísicos e sociais, incidindo em uma totalidade aparente perceptível à distância. O segundo seria resultante do exame dos diversos geofatores (SANSOLO, 2007).

Nos anos 1960, emerge com intensidade a preocupação com o meio ambiente, sendo estimulado pelas advertências acerca do impacto da atividade humana, e pelos debates a respeito do grau de finitude dos recursos terrestres. Diante disso, os ramos da Geografia Física passaram a reconhecer a necessidade de estudos dos processos, que incluía fundamentalmente a integração do homem como um dos principais elementos que atuam no ambiente (GREGORY, 1992).

A partir dessa preocupação, o método sistêmico difundiu-se amplamente. A concepção sistêmica consiste em uma abordagem em que qualquer realidade estudada (objetos, propriedades, fenômenos, relações, problemas, situações, etc.) pode ser considerada como uma unidade (um sistema) regulada, que se manifesta mediante algumas categorias sistêmicas, tais como: estrutura, elemento, meio, relações, intensidade, etc (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017).

Para Christofolletti (1999), o vocábulo sistema representa um conjunto de elementos e de interações entre os mesmos. Segundo o autor, os sistemas são um conjunto estruturado de objetos e atributos, que exibem relações como um todo complexo. A organização e a funcionalidade são as normas básicas que caracterizam os sistemas. Outras propriedades importantes dos sistemas são os fluxos de energia e matéria e a hierarquização dos mesmos, que fazem parte de um todo maior, e que através de mudanças e dinamismos exerce influência nos sistemas interiores. A visão holista se torna de grande importância, com a análise do sistema e suas propriedades ocorrendo não em termos de seus constituintes individuais, mas sim nas relações e no todo integrado.

Bertalanfy (1973) é o autor da primeira formulação de um arcabouço teórico sobre sistemas, conhecido como a teoria geral dos sistemas. Essa teoria é organizada e pensada para a geografia física pelo geógrafo russo Sotchava (1977), que influenciado também pela geoecologia da paisagem, formulou e propôs o conceito de geossistemas, incorporando-o ao estudo da paisagem. O autor argumenta que a geografia física deve ser abordada a partir das

perspectivas geossistêmicas, e que o foco dos estudos se baseia nas conexões entre os componentes e elementos da paisagem.

Para Sotchava (1977), a principal concepção do geossistema é a conexão da natureza com a sociedade, pois embora os geossistemas sejam fenômenos naturais, os fatores econômicos e sociais influenciam em sua estrutura. Bertrand (2004) também considerava estes fatores, quando definiu que o geossistema é a combinação, numa determinada porção do espaço, de elementos dinâmicos e instáveis que envolvem os fatores físicos, biológicos e antrópicos.

Monteiro (1978) definiu o geossistema como um sistema singular, complexo, em que interagem os elementos físicos, químicos, biológicos e onde os elementos socioeconômicos não constituem um elemento antagônico e oponente, mas sim estão incluídos no funcionamento do sistema. Troppmair e Galina (2008), concluem que o geossistema é um sistema natural, complexo e integrado onde há a circulação de energia e matéria e que ocorre exploração biológica, inclusive aquela praticada pelo homem.

Troppmair e Galina (2008) complementam ainda argumentando que o geossistema se caracteriza por certa homogeneidade de seus componentes, estruturas, fluxos e relações que, integrados, formam o ambiente físico onde há exploração biológica. Por fim, os autores concluem que a estrutura, as inter-relações e a dinâmica que ocorrem em determinada área formando um geossistema, dão a feição, a fisionomia daquele espaço, que é a própria paisagem vista como sistema, como unidade real e integrada.

A partir das definições de geossistemas, diversos autores começaram a conceituar e analisar a paisagem sob essa perspectiva. Castro (1995) aponta que olhar para a paisagem de forma sistêmica significa considerar a possibilidade de se identificar um conjunto de elementos em interação e respectivas complementariedades e antagonismos, assim como as relações que o sistema delimitado mantém com o ambiente em que se situa.

Segundo Fernandes (2009), a partir da visão geossistêmica é possível conceber a paisagem como um sistema integrado, no qual, cada componente isolado não possui propriedades integradoras, pois estas propriedades somente se desenvolvem quando se estuda a paisagem como um sistema total. Ross (2006) ressalta a paisagem como sendo uma unidade homogênea dotada de dinâmica própria, destacando a necessidade de sua análise integrada para auxiliar a aplicação à um planejamento ambiental e territorial.

Bertrand (2004) complementa definindo que a paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. É, em uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que,

reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução.

Cavalcanti (2014) define as paisagens como sendo unidades geocológicas resultantes da interação complexa de processos naturais e culturais. Ou seja, para o autor, as paisagens agregam elementos e processos com diferentes naturezas, dimensões e durações que, relacionando-se numa determinada área da superfície terrestre, dão origem a uma unidade.

Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2017) argumentam que a paisagem é vista como um sistema territorial composto por elementos naturais e antrópicos, envolvendo nestes os aspectos econômicos, sociais e culturais. Assim, os autores elegem algumas propriedades principais que formam a paisagem, que são: comunidade territorial, caracterizada pela relativa homogeneidade na composição dos elementos que a integram, e no caráter de suas interações e inter-relações; caráter sistêmico e complexo, que determinam sua integridade e sua unidade; concepção dialética, com interação entre as condições naturais e a produção social, através de uma análise histórico-natural-social; intercâmbio de fluxos de energia, matéria e informação (EMI), que determinam seu metabolismo e funcionamento.

Estas propriedades determinam que, como objeto de investigação científica, as paisagens são formações complexas caracterizadas pela estrutura e heterogeneidade na composição dos elementos que a integram (seres vivos e não-vivos); pelas múltiplas relações, tanto internas como externas; pela variação dos estados e pela diversidade hierárquica, tipológica e individual (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017).

3.2 Análise geocológica da paisagem

A Geoecologia da Paisagem tem sua gênese nos trabalhos realizados no século XIX por Humboldt, Lomonosov e Dokuchaev. Durante o século XX, com a contribuição de diversos pesquisadores e autores, esse ramo da ciência alcançou um corpo teórico e metodológico coerente. Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2017) definem a Geoecologia da Paisagem como uma ciência ambiental, que oferece uma contribuição essencial no conhecimento da base natural do meio ambiente para o planejamento ecológico do território.

Ainda segundo os autores, esse ramo da ciência possui por princípio fundamental a noção de paisagem natural como conceito básico, cujos elementos possuem conexões harmônicas de estrutura e função, além de integrar-se com a sociedade em um binômio

sociedade/natureza. Ou seja, essa paisagem natural é concebida como um geossistema, em que os componentes da natureza encontram-se em relações sistêmicas uns com os outros e com a sociedade, formando inter-relações entre as partes do sistema.

O surgimento desse campo da ciência tem suas bases na Ecologia. De acordo com Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2017), o conceito central da Ecologia é a noção de ecossistema, tendo como centro do sistema os organismos biológicos, e considerando sua relação com o entorno. Seu foco principal é a análise dos intercâmbios de fluxo de energia, matéria e informação, entre o biocentro do sistema e seu entorno e as relações funcionais.

Da necessidade de incorporação de fundamentos teóricos que envolvessem a Ecologia, o planejamento e a gestão territorial e ambiental, partiu a abstração do biocentrismo e, especialmente, a incorporação da dimensão espacial, através do conceito de paisagem (elaborado pela Geografia no século XIX).

A partir da reconceitualização da Ecologia, incorporando a dimensão espacial através do conceito de paisagem, desenvolveu-se assim a Ecologia da Paisagem, fundamentado em uma sinecologia geográfica de estudo das relações entre os organismos, e o entorno e seus fatores ambientais.

A Geografia, ao analisar a paisagem natural, evoluiu em duas direções, uma predominantemente biofísica e outra sociocultural. A abordagem de interesse para o presente trabalho é a biofísica, que evoluiu a partir dos estudos de Humboldt e Dokuchaev, e que formou as escolas alemã e russo-soviética, que concebia a paisagem como um complexo natural integral.

Desde a primeira metade do século XX, Troll (1950) havia proposto a criação da Geoecologia da Paisagem, centralizada no estudo dos aspectos espaço-funcionais (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2007). A partir dos anos 1960, o aparecimento do conceito de geossistema integrou de vez as esferas espacial (geográfica) e funcional-ecológica (biológica) para a compreensão da dinâmica da paisagem, através de Sotchava (1977). A análise dos elementos que compõem o espaço geográfico, e de suas inter-relações e funções ecológicas, dão origem à Geoecologia da Paisagem (SEABRA, 2012).

Outros autores também abordam sobre o conceito de Ecologia da Paisagem. Para Turner, Gardner e O'Neil (2001), a ecologia da paisagem é a ciência que vai tratar sobre o estudo da paisagem de forma geossistêmica, principalmente em seu aspecto espacial, pois essa ciência oferece novos conceitos, teorias e métodos que revelam a importância da padronização espacial na dinâmica da interação dos elementos da paisagem.

De forma geral, para os autores, as definições de ecologia da paisagem enfatizam dois atributos principais desse ramo da ciência. O primeiro é a abordagem que reconhece a importância da configuração espacial para os processos que ocorrem na paisagem. Assim, a ecologia da paisagem não está apenas preocupada com o quanto há de componentes específicos, mas também com a forma de como esses componentes estão distribuídos e organizados. A premissa para esse tipo de abordagem é que a composição e a forma espacial de um mosaico de paisagem afetam processos de formas que seriam diferentes se a composição ou o arranjo do mosaico de paisagem fossem de outro jeito (TURNER; GARDNER; O'NEIL, 2001).

O segundo diz respeito às extensões espaciais em que se realizam estudos e análises, que são muito maiores do que aqueles tradicionalmente estudados na ecologia. Entretanto, Turner, Gardner e O'Neil (2001) apontam que a ecologia da paisagem não define, a priori, escalas espaciais específicas que podem ser aplicadas universalmente. Há bastante ênfase em identificar escalas que melhor caracterizam as relações entre o espaço de heterogeneidade e os processos de interesse.

Dito isso, a partir de Soares Filho (1998), pode-se afirmar que a ecologia da paisagem é uma disciplina que pode trazer grandes contribuições aos estudos de sistemas ambientais, pois possui um enfoque na heterogeneidade espacial como força motriz nos padrões e processos ecológicos. Para ele, a ecologia da paisagem busca a compreensão da heterogeneidade espacial e do efeito antrópico como fatores da organização da mesma.

Segundo o autor, a ecologia da paisagem abrange a abordagem horizontal do geógrafo, através da investigação das inter-relações espaciais de um fenômeno, com a abordagem vertical de um ecologista. Assim, há uma interface entre as duas ciências, com o foco central na paisagem.

3.2.1 Cobertura vegetal e fragmentação florestal

Segundo Santos (2004), a vegetação é um elemento do meio natural com um grande potencial como indicador, pois é bastante sensível às condições e tendências da paisagem. Seu estudo possibilita o reconhecimento das condições naturais de uma área, assim como as influências antrópicas recebidas, permitindo a visualização da qualidade do meio. De forma geral, permite descrever o estado e deduzir vetores de pressão que estejam ocorrendo.

No planejamento ambiental sob o enfoque da vegetação, as perspectivas geoecológicas da paisagem são bastante importantes, permitindo procedimentos analíticos que conduzem à observação, sistematização e análise dos seus elementos. Isso permite a compreensão da heterogeneidade e das relações ou processos ativos na paisagem. Dessa forma, reflete melhor a dinâmica das áreas estudadas e resulta em ações e estratégias de manejo orientadas por tais elementos, levando à um melhor aproveitamento e conservação dos recursos da terra.

O mapeamento da vegetação é a forma mais comum encontrada no planejamento ambiental para as tomadas de decisão relativas à conservação de ecossistemas naturais, expressando suas principais características importantes – a distribuição, grau de fragmentação, forma e heterogeneidade espacial dos remanescentes (SANTOS, 2004). A partir do mapeamento, é gerado um mapa em que é possível destacar os efeitos provocados e a nova ordem estabelecida na área, ocorrida pelas ações humanas.

Diante disso, surge a preocupação com o estado da vegetação, e de como a dinâmica da paisagem é afetada, visto que o maior desafio é a conservação e a manutenção da biodiversidade, principalmente por conta do elevado nível de perturbações antrópicas. Viana (1992) aponta que uma das principais consequências dessas perturbações é a fragmentação de ecossistemas naturais, e que a maior parte dos remanescentes florestais se encontra na forma de fragmentos florestais. Considera-se fragmentação o processo de cortar áreas grandes e contíguas de tipos similares de vegetação nativa em numerosos segmentos menores separados por tipos de vegetação relacionados à atividade humana intensiva. (VOGELMANN, 1995).

Um fragmento florestal pode ser definido como qualquer área de vegetação natural contínua interrompida por barreiras naturais, como lagos, rios, rochas ou solos; e antrópicas, como culturas agropecuárias e ocupações urbanas (VIANA, 1992). Odum (2004) aborda o processo de perda ou fragmentação de habitats, em que uma grande área é reduzida em sua extensão e dividida em alguns ou vários fragmentos, formando ilhas isoladas. Levando-se em consideração que o hábitat nativo corresponda a fragmentos florestais, estas ilhas isoladas passam a contar com um menor número de espécies nativas da fauna e flora, além de representarem uma área reduzida de vegetação diante das dinâmicas hidrológicas em solos e encostas nas bacias hidrográficas.

A fragmentação é um processo comum relacionado com a alteração da paisagem e afeta tanto a sua estrutura como função (CRUZ; MADUREIRA; MARQUEZ, 2013), logo, o termo fragmentação é utilizado para descrever um estado ou um processo de alteração. O estado se refere a separação de remanescentes florestais inicialmente ligados, o processo resulta de uma alteração da disposição espacial dos remanescentes florestais.

Dentre as consequências mais importantes do processo de fragmentação, destacam-se a diminuição da diversidade biológica, o distúrbio do regime hidrológico das bacias hidrográficas, as mudanças climáticas, a degradação dos recursos naturais e a deterioração da qualidade de vida das populações tradicionais (VIANA, 1990).

Sendo assim, o planejamento do uso da terra, considerando a distribuição espacial dos remanescentes florestais, tornou-se uma importante ferramenta para propostas que visam à minimização dos impactos causados pela fragmentação (BEZERRA, 2010).

3.2.1.1 Enfoque estrutural da cobertura vegetal

Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2017) conceituam a estrutura como o conteúdo de elementos de um sistema e de um certo tipo de relações entre tais elementos. A estrutura espacial está relacionada as agrupações territoriais das formações naturais que se repetem ou transformam-se de forma regular, formando uma integridade. Ou seja, a estrutura espacial constitui a forma de ordenamento espacial dos objetos geográficos, e esse conhecimento pode ser útil para a avaliação quantitativa do grau de complexidade da estrutura paisagística, que pode ser usado de forma prática para o planejamento regional, por exemplo.

Segundo Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2017), a estrutura pode ser diferenciada (qualificada e quantificada) a partir da sua organização horizontal (estrutura horizontal), por sua organização vertical (estrutura vertical), ou ainda a partir de sua estrutura vetorial.

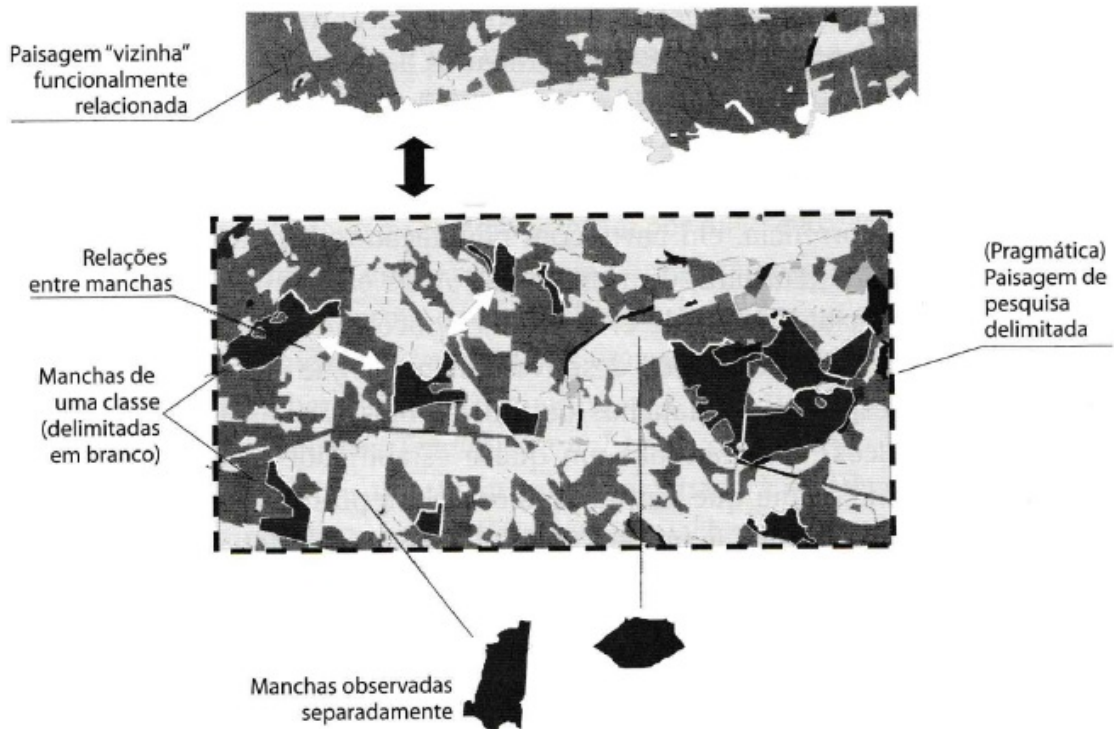
A análise da estrutura horizontal, de acordo com Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2017), dá uma atenção especial às suas particularidades geométricas (métricas), que são o conjunto de propriedades que incluem apenas as características geométricas dos elementos, não se referindo ao conteúdo físico-geográfico. Nesta análise, incluem-se a composição da estrutura (número e área de componentes e contornos); peculiaridades das formas do contorno (análise da forma dos contornos); peculiaridades da orientação dos contornos, peculiaridades da situação dos contornos, relações de posição e de contrastes (caráter de vizinhança, topologias).

Lang e Blaschke (2009) abordam a ordenação espacial da estrutura horizontal através do conceito de mancha, matriz e corredor. Esse conceito refere-se não somente ao arranjo, ou seja, ao padrão de distribuição de um agregado de classes, mas considera também os atributos espaciais e geométricos das manchas individuais. A partir da ordenação desses elementos de

estrutura horizontal, é que se originam padrões característicos (*patterns*), conhecidos também por mosaicos de manchas. Assim, uma paisagem é composta por esses elementos, formando um padrão de manchas (*patchiness* ou *patternness*).

Uma mancha pode ser definida como uma superfície não linear que difere em aparência de seu entorno (Figura 6). As manchas variam em tamanho, forma, tipo, heterogeneidade e característica de borda. Em adição, as manchas se encontram sempre embebidas numa matriz, uma área de entorno com diferente estrutura e composição (FORMAN; GODRON, 1986).

Figura 6 — Manchas de uma paisagem.



Fonte: LANG; BLASCHKE, 2009, p. 115.

De forma geral, em termos de manchas, um importante pressuposto básico é que as mudanças de uso do solo, desde as atividades agrícolas, inicialmente, até a um processo efetivo de urbanização, modificam não só a dimensão e forma das manchas, mas também a distância entre elas, constituindo um processo de fragmentação (CASIMIRO, 2009).

Perturbação, heterogeneidade de recursos ambientais e introdução de ações antrópicas causam isto, e o resultado final são padrões altamente diversos de dinâmica de espécies, estabilidade e recuperação entre manchas (CASIMIRO, 2009).

A divisão e identificação das manchas é fundamental para todos os demais cálculos e análises, sendo fortemente determinada por ferramentas apoiadas em computador e por métodos do processamento de informações geográficas, bem como do processamento digital de imagens. Para a avaliação analítica das manchas e da estrutura horizontal da cobertura vegetal, desenvolveu-se um conjunto de métodos designado medidas de estrutura da paisagem (LANG; BLASCHKE, 2009), ou métricas de paisagem. Essas métricas são especialmente utilizadas para estudos voltados para a análise da cobertura vegetal, e caracterizam os fatores determinantes que influenciam a estrutura dos fragmentos florestais.

A análise com a utilização de métricas da paisagem ocorre em alguns níveis de agregação, dentre eles o nível de mancha e o nível de classe. As métricas relativas a manchas descrevem as características geométricas de manchas individuais. As análises desse tipo permitiram, no presente trabalho, a caracterização estrutural dos remanescentes florestais na bacia hidrográfica, além da sua utilização como parâmetro para definição de áreas prioritárias de conservação e recuperação. As métricas relativas a classes resumem todas as manchas de uma determinada classe. O grupo de métricas de classe estuda a configuração desse conjunto de manchas. No referido estudo, essas métricas caracterizam o conjunto de fragmentos florestais dos domínios geomorfológicos.

Portanto, a partir das manchas se faz possível a análise da estrutura da cobertura vegetal. Para isso, é necessário o estudo dos aspectos que influenciam e controlam essas manchas, que englobam: tamanho, forma, número, conectividade e distância entre as mesmas.

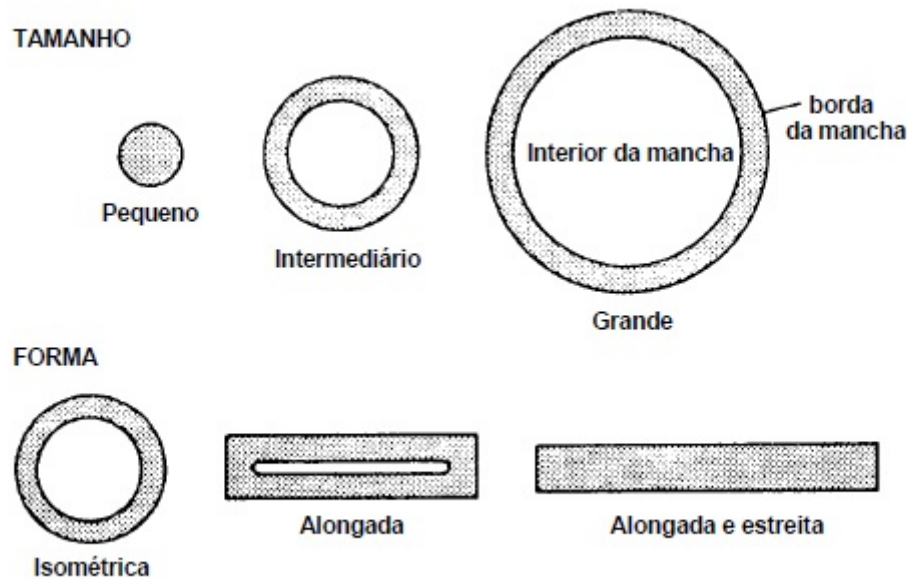
Segundo Viana e Pinheiro (1998), os principais fatores que afetam a estrutura dos fragmentos florestais são: tamanho, forma, grau de isolamento e histórico de perturbações. Refletem-se nestas características os padrões espaciais de fragmentação e conectividade dos fragmentos, que influenciam diretamente os processos da paisagem, bem como nas dinâmicas e processos hidrológicos nas vertentes. A análise desses fatores é fundamental para a realização de pesquisas com esse enfoque, assim como na identificação de áreas conservacionistas.

O primeiro fator é o tamanho dos fragmentos, que segundo Viana e Pinheiro (1998), é a relação entre a área dos fragmentos e seus atributos ecológicos, especialmente a diversidade de espécies. A distribuição das classes de tamanho dos fragmentos na paisagem é um elemento importante para a realização de pesquisas e o desenvolvimento de estratégias de conservação.

Segundo Casimiro (2009), o tamanho, ou a dimensão da área de cada mancha, influencia o nível de energia e materiais disponíveis, assim como a quantidade, tipo e fluxo de

espécies, no caso de manchas de vegetação. Isso porque há o efeito de borda, que atua inversamente com a razão da área de um fragmento em relação a seu interior. Assim, os fragmentos menores são compostos basicamente por ambientes de borda (Figura 7).

Figura 7 - Relação entre as áreas interiores e as margens de acordo com diferentes formas e tamanhos de manchas



Fonte: FORMAN; GODRON, 1986.

Área (*patch size, area*) é a medida da estrutura da paisagem mais próxima e mais difundida e, por isso, talvez a mais importante. Muitas outras medidas são construídas direta ou indiretamente sobre ela (FORMAN; GODRON, 1986).

Relacionado ao efeito de borda, também está o fator de forma, que é a relação entre a área de um fragmento florestal e o seu perímetro. É um parâmetro muito útil para análise da vulnerabilidade à perturbações, como por exemplo, o efeito de borda. Viana e Pinheiro (1998) se utilizam de um exemplo de análise de fragmentos florestais em uma determinada região, em que chegam a conclusão de que os fragmentos mais “arredondados” estão menos sujeitos ao efeito de borda, e que os fragmentos mais “alongados” estão mais sujeitos ao efeito de borda.

Ou seja, a forma dos fragmentos se associa com a vulnerabilidade desses fragmentos ao efeito de borda. Assim, além do tamanho do fragmento, a forma também é um fator importante, que influencia no quanto o fragmento vai sofrer o efeito de borda (Figura 7).

Uma métrica frequentemente utilizada para a descrição de formas é o *Shape Index* (índice de forma), que foi introduzido por Forman e Godron (1986) como medida de feição padronizada, na pesquisa de ecologia de paisagens. Esse índice opera caracterizando o desvio da forma de uma mancha, da forma otimizada de um círculo.

O índice avalia, portanto, a complexidade da forma de uma mancha por meio da comparação com uma feição padrão. Quanto mais a forma do elemento da paisagem desviar-se do padrão redondo, maior será o valor do índice de forma (LANG; BLASCHKE, 2009).

O efeito de borda é a influência que a porção do remanescente florestal sofre em consequência de sua fragmentação: quanto menor o tamanho do fragmento, maior será o efeito de borda (ODUM, 2004). Além dos fatores bióticos, que envolvem o diferente número e composição de espécies da fauna e da flora, o efeito de borda envolve também diversos fatores abióticos, como oscilações do vento, temperatura, interceptação da chuva pela vegetação, umidade, qualidade e estabilidade do solo, risco de incêndios, entre outros (BARROS, 2006).

Portanto, a parte externa de uma unidade de paisagem — nesse caso, as manchas de vegetação — que tem um ambiente significativamente diferente do interior é considerada a área de borda (FORMAN; GODRON, 1986). A fragmentação aumenta a quantidade relativa de área de borda e diminui a área de interior na paisagem. Para o cálculo de bordas, há métricas, como por exemplo, o comprimento e a densidade de bordas.

O grau de isolamento afeta o fluxo gênico entre os fragmentos florestais e, portanto, a sustentabilidade de populações naturais e dos próprios fragmentos. O grau de isolamento varia na paisagem, gerando a heterogeneidade nos seus atributos espaciais. A partir do grau de isolamento pode-se mensurar o grau de fragmentação e de conectividade de uma paisagem.

Uma métrica para mensurar o isolamento é a distância do vizinho mais próximo. Ela é medida a partir da distância euclidiana mais curta de uma mancha de saída ou focal para uma mancha de destino da mesma classe.

A distância ao vizinho mais próximo (*nearest-neighbor distance*) é o mínimo da quantidade de distâncias de uma mancha de saída para todas as manchas de destino. Assim sendo, ela corresponde à distância à mancha mais próxima da mesma classe (LANG; BLASCHKE, 2009).

Um outro fator que também explica a estrutura e a dinâmica de fragmentos florestais é o histórico de perturbações. Isso porque os fragmentos florestais não existem num vazio humano. Pelo contrário, os fragmentos apresentam uma profunda relação com a sociedade circundante. O histórico de perturbação é complexo e longo, em que o processo de

fragmentação florestal pode ser descrito como o resultado de processos, principalmente de tomada de decisão, pautados pelo uso econômico, do contexto social, cultural e institucional e da tecnologia disponível para o manejo florestal e agrícola.

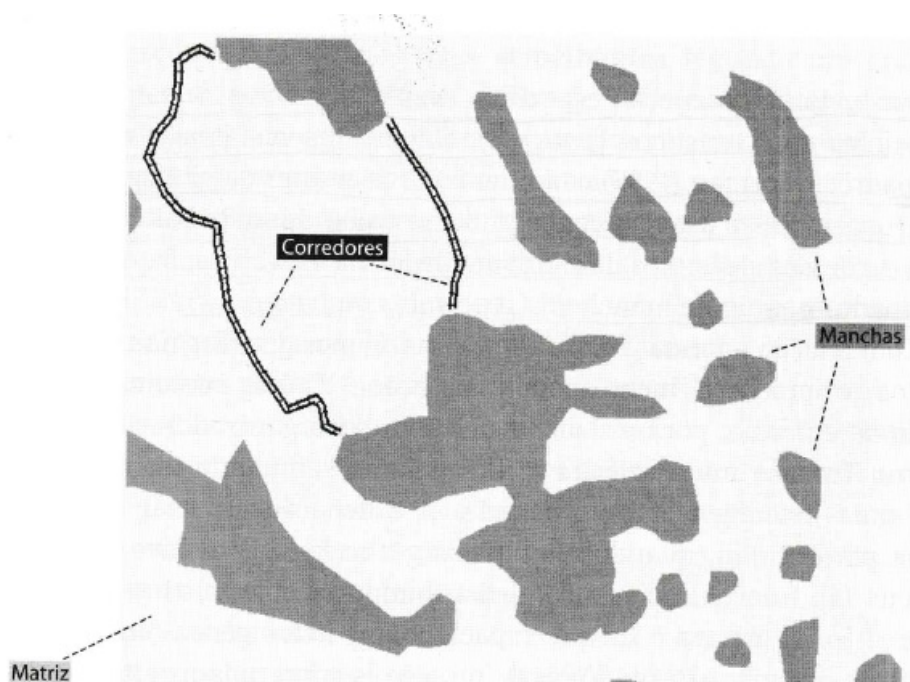
3.2.1.2 Enfoque funcional da cobertura vegetal

Segundo Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2017), o enfoque funcional da cobertura vegetal tem por finalidade esclarecer como ela está estruturada, ou seja, quais as relações funcionais de seus elementos, por que está estruturada de determinada maneira (relações genéticas ou casuais) e para que está estruturada de certa forma (quais são as suas funções naturais e sociais). A concepção de estrutura funcional é baseada na conexão dos processos, nos geofluxos laterais (horizontais) e nos complexos por eles formados.

De acordo com o modelo proposto por Forman e Godron (1986), os principais elementos de uma paisagem — especialmente sob a ótica da análise da cobertura vegetal — são a matriz, as manchas e os corredores (Figura 8).

Dessa forma, Soares Filho (1988) ressalta que a paisagem, especialmente sob o prisma da análise da cobertura vegetal, é vista como um padrão de manchas ou fragmentos, que são conectados através de uma rede de barreiras e passagens, conhecidas como corredores. A proximidade e a ligação entre fragmentos podem ser consideradas como um fator crucial, no tocante à eficiência de dispersão de energia, materiais e espécies através de uma paisagem.

Figura 8 — O modelo Mancha-Corredor-Matriz



Fonte: LANG; BLASCHKE, 2009, p. 120.

Segundo Metzger (2001), a partir de uma perspectiva mais ecológica, a matriz é o elemento da paisagem que controla a sua dinâmica. Para Turner, Gardner e O'Neil (2001), numa perspectiva geográfica, a matriz é a classe de uso predominante em uma paisagem, caracterizada pela cobertura extensiva e alta conectividade. Como numa visão de fragmentos embebidos em uma massa, a matriz de uma paisagem pode ser definida como o seu elemento mais extensivo e conectado e que possui o papel preponderante no funcionamento da paisagem (FORMAN; GODRON, 1986).

Os fragmentos, segundo Turner, Gardner e O'Neil (2001) são manchas geradas pela quebra de determinada classe de uso em parcelas menores e desconectadas. A ligação entre os elementos de uma mesma classe estabelece numa paisagem um fator de conectividade, função da configuração de redes, onde os corredores permitem o movimento e intercâmbio genético entre animais e plantas e as barreiras inibem tais trocas. Desse modo, algumas características dos corredores a serem estudadas incluem a largura, conectividade, complexidade e estreitamento (SOARES FILHO, 1998).

Os corredores são faixas relativamente estreitas e ininterruptas do mesmo fragmento ligando áreas nucleares anteriormente unidas (FORMAN; GODRON, 1986). São áreas homogêneas que se distinguem das unidades vizinhas e que apresentam disposição espacial linear, podendo ser estreitos ou largos, retilíneos ou meandantes (FORMAN, 1995).

Forman (1995) aponta alguns benefícios da presença de corredores em paisagens, como a proteção à biodiversidade, rotas de dispersão para a recolonização de áreas degradadas, melhoria da qualidade e controle de recursos hídricos, enriquecimento da produção agroflorestal fornecendo produtos madeiráveis, controle da erosão do solo, prevenção da desertificação, recreação, enriquecimento da coesão cultural e da comunidade, rotas de dispersão em face de mudanças climáticas e geológicas.

Corredores são barreiras ou filtros semipermeáveis em uma paisagem, permitindo a passagem de alguns objetos e inibindo outros. Em margens íngremes, a vegetação inibe a erosão, particularmente de pequenas partículas de argila, ricas em nutrientes. A vegetação em um corredor ciliar absorve parte destes nutrientes, retardando a entrada de substâncias particuladas que foram carreados de áreas mais elevadas. As interrupções podem facilitar fluxos de partículas e escoamento superficial provenientes de áreas mais elevadas, bem como o movimento de algumas espécies através do corredor que normalmente agiria como uma barreira para elas (FORMAN; GODRON, 1986).

Destaca-se a importância dos corredores ciliares, que são aqueles localizados ao entorno de corpos d'águas, pois promovem a interligação de remanescentes florestais tendo em vista o fato de conterem recursos d'água, indispensáveis a todos os organismos. Além disso, Luz (2002) destaca que a vegetação ciliar ou ripária — que compõem os corredores ciliares — tem diversos efeitos sobre os corpos d'água, incluindo sombreamento, entrada de matéria orgânica e sementes, queda de excrementos de insetos e animais, e queda de troncos. A presença de cobertura vegetal dificulta o carreamento de sedimentos e o escoamento superficial de áreas mais elevadas para o rio.

Falsos-corredores são ramificações de fragmentos com formato semelhante a corredores, que, no entanto, não interligam duas áreas distintas. Podem ser ramos (*branch*), ou seja, projeções de áreas não-nucleares conectadas a um único fragmento, ou laços (*loop*), que conectam o fragmento apenas a si mesmo (VOGT et al., 2009).

Finalmente, outros elementos que podem ser identificados em uma paisagem são as ilhas – áreas de vegetação geograficamente isoladas, dispersas na matriz e pequenas a ponto de não possuírem uma porção nuclear (VOGT et al., 2009).

3.3 Bacia hidrográfica como recorte geossistêmico

Segundo Becker (2008), a utilização da abordagem de bacia hidrográfica traz intrinsecamente a noção de espaço, ou seja, de que os padrões e processos que ocorrem dentro desta unidade espacial são fortemente determinados ou associados tanto à posição absoluta de entidades no espaço, quanto à sua posição relativa a outras entidades. Assim, bacia hidrográfica deve ser tratada como delimitação da área de pesquisa (o recorte espacial da análise), sendo a delimitação do sistema estudado.

Uma bacia hidrográfica consiste em uma área definida topograficamente (através dos desníveis dos terrenos que orientam os cursos d'água, sempre das áreas mais altas para as mais baixas), formada por vertentes e canais recebendo e distribuindo água, sedimentos e substâncias dissolvidas para um ponto comum (Figura 9).

Figura 9 — Bacia hidrográfica



Fonte: FREITAS et al., 2015, p. 9.

Segundo Morin (1977 apud MATTOS; PEREZ FILHO, 2004), as bacias hidrográficas, ou bacias de drenagem, caracterizam-se como uma unidade organizada complexa, formada por subsistemas, cujas interações resultam na organização do sistema como um todo integrado. As condições climáticas, a cobertura vegetal e a litologia são fatores que controlam a morfogênese das vertentes e, por sua vez, o tipo de carga de sedimentos a ser fornecida aos rios.

De acordo com Campos (2006), a bacia hidrográfica é considerada um sistema físico e dinâmico, e configura-se como uma unidade funcional básica de planejamento e gerenciamento ambiental, pois nela ocorre a integração das águas com o meio físico, o meio biótico e o meio social.

As bacias hidrográficas constituem-se como sistemas abertos, já que recebem inputs externos, como a entrada de chuvas, e perdas para o ambiente externo, os outputs, como os sedimentos que escoam para além da foz. Desta maneira, podemos afirmar que quaisquer impactos gerados em um ponto da bacia, resultarão em consequências que surtirão efeitos em toda bacia (COELHO NETTO, 2015).

O conceito de bacia hidrográfica está relacionado com a utilização de uma abordagem mais holística dos problemas ambientais, adotando uma visão sistêmica e integrada, que permite contemplar de modo satisfatório os estudos e análises da utilização, preservação e recuperação dos sistemas ambientais.

Guerra e Cunha (2000) citam a bacia hidrográfica como uma unidade integradora capaz de possibilitar a análise das dinâmicas e interações entre as variáveis ambientais e sociais que constituem a paisagem. Dessa forma, torna-se possível as compreensões dos processos nela desenvolvidos e suas alterações, permitindo ações de planejamento dos desequilíbrios antrópicos, como, por exemplo, a regulação ou alteração do uso e cobertura da terra.

Becker (2008) ressalta que a partir da implementação do uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), fortaleceu-se a proposta da análise integrada dos elementos em estudos de gestão de bacia hidrográfica, tendo como foco não apenas os recursos hídricos; como também outros aspectos ecológicos e ambientais, fluxos de energia e riscos ambientais.

Portanto, pode-se considerar que a bacia hidrográfica é uma unidade de análise, que está integrada com os estudos e análises referentes à paisagem e com a teoria geossistêmica. Além disso, a definição dos limites de uma bacia se baseia predominantemente em critérios geomorfológicos, ou seja, a partir das formas do relevo.

O relevo constitui o alicerce dos materiais bióticos e da atividade humana sobre a superfície terrestre, sendo de suma importância sua caracterização para o ordenamento do território, proteção ambiental, e uso racional do solo e dos recursos naturais (ARGENTO, 2015). Considerar as características morfométricas do relevo torna-se de grande importância para a tomada de decisões, e os produtos gerados com estas análises auxiliam na busca por soluções de problemas ambientais, e na detecção e análise de riscos e vulnerabilidades, tornando possível à sociedade organizar de forma adequada o espaço onde vive.

A maior preocupação com relação à identificação e mapeamento das formas de relevo, de acordo com Ross (1997), se deve ao tratamento taxonômico utilizado. A definição do que será considerado como forma de relevo é vinculada à escala, resolução e aos objetivos propostos. Outra apreensão do autor se refere ao fato de a geomorfologia não possuir uma taxonomia consagrada.

Uma padronização de critérios para identificação e mapeamento das formas de relevo é proposto por Argento (2015). O autor baseia-se na distinção de diferentes táxons, ou níveis hierárquicos, que vão desde os domínios geomorfológicos — escala mais abrangente, ligadas às morfoestruturas geológicas —, passando pelas regiões geomorfológicas — que possuem o clima como fator principal —, até as unidades geomorfológicas — escalas mais aproximadas, que constituem fisionomias semelhantes.

Entre os exemplos da proposta de táxons citada, estão os morros, planícies e colinas correspondendo aos domínios; os diferentes tipos de planícies, depósitos e terraços – como de várzea, fluvial, fluviomarinho, entre outros – correspondendo às regiões; e a escarpa, a linha de cumeada e a falésia correspondendo às unidades (ARGENTO, 2015). Para Christofolletti (2015), a identificação e mapeamento destas formas possui a função de auxiliar no planejamento ambiental e na tomada de decisão.

A interferência do homem na natureza exige a necessidade de estudos que levem a um diagnóstico, ou seja, ao conhecimento do quadro ambiental da área estudada (ROSS, 1997). A inserção da Geomorfologia nos estudos ambientais e as análises que levem em consideração as formas de relevo permitem a interpretação e compreensão dos processos de forma distinta e real para cada ponto de uma bacia hidrográfica.

3.4 O geoprocessamento e o sensoriamento remoto como ferramentas de análise da paisagem

Segundo Câmara (1993), o geoprocessamento é uma tecnologia interdisciplinar, que permite a convergência de diferentes disciplinas científicas para o estudo de fenômenos ambientais e urbanos. Para Florenzano (2011), o geoprocessamento pode ser definido como um conjunto de tecnologias voltadas ao tratamento de informações espaciais para um objetivo específico, do qual fazem parte desse conjunto de tecnologias, os sistemas de informação geográfica (SIG), o sensoriamento remoto, entre outros.

Menezes e Fernandes (2013) assumem os SIG como uma geotecnologia de geoprocessamento capaz de trabalhar com o grande volume e complexidade de dados requeridos em estudos integrativos, além de possibilitar a manipulação das informações geográficas nele armazenado, dando condições para atualizá-las, e capacitar o sistema para o monitoramento dos temas estudados com a implantação de uma base de dados.

Florenzano (2011) afirma que os SIG utilizam técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica. O SIG oferece ainda, a possibilidade de analisar a paisagem de forma integrada e eficiente. Dessa forma, os dados e informações obtidos através das geotecnologias geram conhecimento e dados importantes para tomadas de decisões e análises da paisagem.

Os SIG desempenham diversas funções, que incluem obtenção, arquivo, gestão, manipulação, análise e difusão de dados. Portanto, são usados para a documentação e visualização, bem como para a análise de fenômenos. Informações genéricas (dados brutos) podem ser transformadas em informações úteis e politicamente relevantes. Com a ajuda de um SIG, pode-se explicar e visualizar relações espaciais, podendo representá-las e apresentá-las em forma de mapas (LANG; BLASCHKE, 2009).

Segundo Menezes e Fernandes (2013), uma potencialidade dos SIG é a de recuperar, combinar e efetuar os mais variados tipos de análises. Isso possibilita o trabalho com um conjunto de questões numa escala necessária para que se possam solucionar problemas relativos à paisagem.

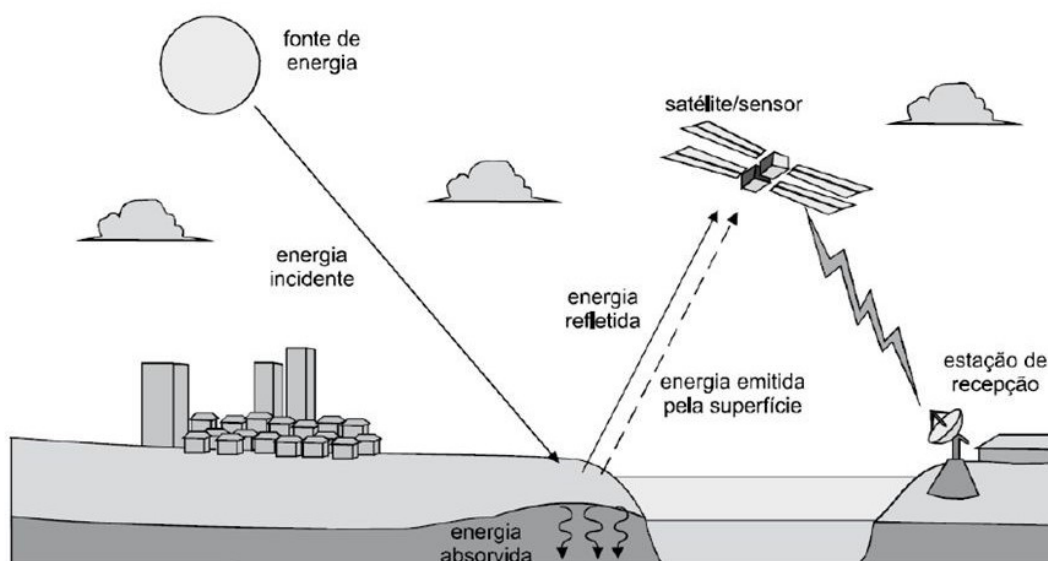
Os SIG possibilitam a criação e o manuseio de camadas matriciais e de camadas vetoriais, sendo estas as entidades geométricas: polígonos, pontos ou linhas. Com amplas possibilidades de trabalho nos SIG, as imagens digitais de satélites são exemplos de camadas matriciais. Também conhecido como *raster*, a camada matricial é definida pela construção da forma do objeto por um conjunto de células (pixel) em uma grade (*grid*), geralmente regular, em que, para cada célula, é atribuído um valor ou código (MENEZES; FERNANDES, 2013).

Segundo Florenzano (2011), a tecnologia que permite a obtenção de imagens – e outros tipos de dados – da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície, é objeto de estudo do sensoriamento remoto. A captação de dados ocorre a partir de sensores instalados em plataformas terrestres, aéreas (balões e aeronaves) e orbitais (satélites artificiais), e é realizada à distância, sem o contato físico entre o sensor e os objetos na superfície terrestre. Também fazem parte do sensoriamento remoto, o processamento, a análise e a interpretação desses dados, segundo Jensen (2009).

Segundo Sausen (2005), a utilização do sensoriamento remoto, e de ferramentas de geoprocessamento, permitem diagnósticos eficientes, propõem soluções de baixo custo e cria alternativas inteligentes para os desafios enfrentados face às mudanças aceleradas que observamos em nosso território. Além disso, o sensoriamento remoto surge como uma importante ferramenta para a obtenção de dados espaciais, como por exemplo o processamento digital de imagens de satélite.

Conforme a figura 10, o sol ilumina a superfície terrestre, e essa energia atinge a mesma e é refletida em direção ao sensor, onde é captada e registrada por este. A distância entre o sensor e a superfície produz efeitos, pois quanto mais distante, maior a interferência de nuvens. A energia refletida é captada pelos sensores e transmitida para estações de recepção na Terra. A partir disso, obtém-se os dados na forma de gráficos, tabelas ou imagens, que dirão respeito sobre a superfície terrestre.

Figura 10 — Obtenção de imagens por sensoriamento remoto

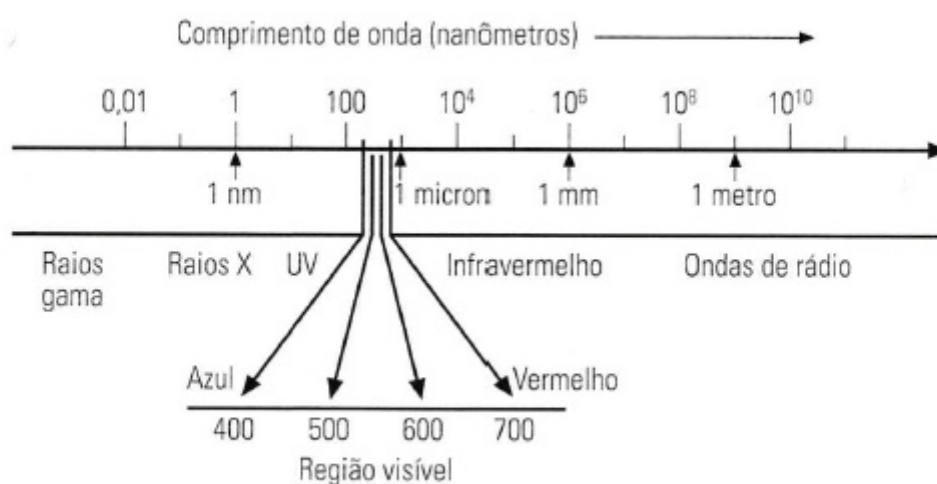


Fonte: FLORENZANO, 2011, p 09.

A obtenção de dados por sensoriamento remoto requer o uso de energia. Essa energia pode ser proveniente de uma fonte natural, como a luz solar e o calor emitido pela superfície da Terra, ou poder ser proveniente de uma fonte artificial, como o sinal produzido por um radar.

Para o sensoriamento remoto, a energia utilizada é a radiação eletromagnética (REM). Ela é medida em frequência e comprimento de onda, e pode ser entendida sobre uma perspectiva ondulatória, se propagando através de ondas formadas pela oscilação dos campos elétrico e magnético. A REM é subdividida por regiões, de acordo com a frequência e o comprimento de onda. As regiões perpassam desde curtos comprimentos de ondas, com alta frequência, como por exemplo, os raios gama e os raios x, até comprimentos de ondas mais longos, com baixa frequência, como por exemplo, as ondas de rádio. É importante ressaltar a região do espectro visível, em que o olho humano enxerga a energia (luz), das cores do violeta ao vermelho, e também a região do infravermelho, que é subdividido em três regiões – infravermelho próximo, médio e distante (Figura 11).

Figura 11 — Espectro Eletromagnético

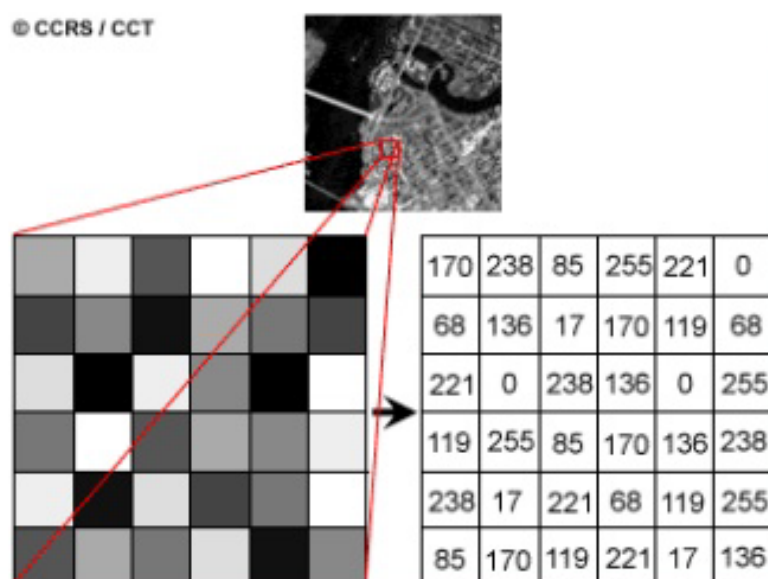


Fonte: NOVO, 2010, p. 41.

Os objetos da superfície terrestre – vegetação, água, solo, etc. – refletem, absorvem e transmitem radiação eletromagnética que variam de acordo com suas características biofísicas e químicas. Cada objeto ou alvo investigado se comportará de uma maneira específica em cada uma das faixas do espectro eletromagnético, fato este que permite a identificação de alvos para uma posterior classificação de imagens. Usando este raciocínio, um dossel vegetal de um fragmento florestal arbóreo apresenta valores de reflectância eletromagnética distintos de uma superfície de solo descampado, ou de campos de gramíneas, por exemplo, já que possui diferentes padrões de absorção, transmissão e reflexão da energia, baseado na sua tonalidade, forma, textura, densidade, entre outras características (FLORENZANO, 2011).

Desta forma, o sensoriamento remoto é capaz de fazer um processo de aquisição das diferentes informações sem que seja necessário o contato direto entre o sensor e o alvo que está sendo observado. Nas imagens digitais, valores de reflexão da superfície terrestre são captados por sensores e transferidos como níveis de cinza para um conjunto de dados *raster*. Assim, nas imagens digitais, cada célula (pixel), possui um nível de tom de cinza próprio, referente à reflexão de energia da superfície terrestre (Figura 12).

Figura 12 — Camada matricial



Fonte: FLORENZANO, 2011, p 71.

O sensoriamento remoto viabiliza também a realização do processamento digital das imagens obtidas, através, principalmente, da resposta espectral dos diferentes canais contidos na imagem. Estes canais, ou as bandas das imagens, correspondem à faixa espectral da energia refletida pela superfície terrestre que é captada pelos sensores orbitais.

As imagens digitais são destinadas, entre outras funções, à utilização nas ferramentas de SIG, que fazem o processamento dos dados, referenciados geograficamente, desde a sua coleta até a geração de saídas na forma de mapas convencionais, relatórios, gráficos e arquivos digitais, devendo prever recursos para estocagem, gerenciamento, manipulação e análise desses dados (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2001). O SIG, portanto, tem a possibilidade de qualificar e quantificar os dados de sensoriamento remoto, através de suas ferramentas, provendo a saída de mapas gerados por processos automáticos ou manuais.

As imagens digitais de satélite provenientes do sensoriamento remoto, como fonte de dados da superfície terrestre, são cada vez mais utilizadas para a elaboração de diferentes

tipos de mapas, pois apresentam facilidade de acesso, custos relativamente baixos, e uma sistemática satisfatória para estudos de diversos tipos. Bertrand (2004) já apontava que as imagens aéreas constituíam um apoio precioso por fornecer uma visão sintética e instantânea das paisagens.

A paisagem ocupa, cada vez mais, parte importante dos conteúdos de estudos e avaliações de impactos ambientais, planejamento urbano, rural e regional, iniciativas e propostas de legislação que visam à proteção da natureza e estratégias de definição de uma prática de gestão realmente sustentável do ambiente. Para tanto, os SIG constituem-se na ferramenta mais adequada para uma respectiva avaliação e análise adequada das paisagens (AUGUSTO, 2016).

3.4.1 Sistemas de classificação

A classificação digital é uma das funções prioritárias do processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Entende-se por classificação digital o processo de extração de informação em imagens com o objetivo de reconhecer padrões e objetos homogêneos (INPE, 2006). Os métodos de classificação de imagens são aplicados com o objetivo de criar representações temáticas de fenômenos, feições e objetos dispostos sobre a superfície terrestre. Estes métodos delimitam porções em que a resposta espectral dos alvos apresenta as mesmas características ou significados, baseado em alguns aspectos, como: tonalidade, tamanho, textura, padrão, forma, coloração, sombreamento, localização, entre outros.

A maior parte dos mapeamentos temáticos, dentre eles o de uso e cobertura da terra, é embasada em alguma forma de interpretação de fotografias e/ou imagens, sejam provenientes de sensores passivos ou ativos. Esse processo pode ser totalmente visual, o que demanda muito tempo de execução e cuidados com a padronização/uniformização de critérios; automático, bastante questionado pela baixa acurácia dos resultados; ou ainda, semiautomático, que busca agregar vantagens dos dois processos anteriores, dando um espaço significativo para a etapa de edição manual (CRUZ et. al., 2009).

Em função do grau de intervenção que o analista tem no processo de classificação digital, a classificação pode ser não supervisionada e supervisionada. Na primeira, os pixels de uma imagem são alocados em classes, sem que o usuário tenha conhecimento prévio de sua existência. Já a classificação supervisionada baseia-se em um conhecimento prévio do

analista sobre a localização espacial de algumas amostras das classes de interesse (NOVO, 2010).

Com relação à classificação supervisionada, Novo (2010) complementa citando os procedimentos importantes a serem seguidos para que se possa garantir um bom resultado, dentre os quais, destaca-se: a localização precisa de áreas de “treinamento”; a determinação do relacionamento entre o tipo de objeto e o nível digital das bandas escolhidas; a extrapolação desse relacionamento para toda a cena; a avaliação da precisão da classificação realizada.

A definição das áreas de treinamento consiste no processo de seleção de amostras, para que, a partir dessas amostras, o algoritmo crie uma série de descritores das classes, sobre as quais atuarão as regras de decisão para a alocação de todos os pixels da cena em suas respectivas classes espectrais.

Após o processo de classificação, é necessário a avaliação da exatidão da classificação, ou seja, determinar quão bom é o resultado da classificação em relação à realidade. A forma mais utilizada para representar a exatidão da classificação é a comparação do mapa derivado da imagem com um mapa de referência a partir da utilização de uma matriz de erro, também conhecida como matriz de confusão ou tabela de contingência (NOVO, 2010).

O processo de classificação, seja supervisionado ou não-supervisionado, pode ser distinguido ainda em função da unidade a ser agrupada em: classificação por pixel e classificação por regiões. Esse segundo tipo de classificação se diferencia por considerar a informação contextual de classificação. Para incluir a informação de contexto no processo de classificação, faz-se necessário a utilização de uma imagem dividida em regiões homogêneas segundo algum critério. O método para gerar essas regiões homogêneas é chamado de segmentação (NOVO, 2010).

De acordo com Barbosa (2005 apud NOVO, 2010), existem vários métodos de segmentação automática de uma imagem, dentre as quais, a mais utilizada é a segmentação por crescimento de regiões. Através desse método, as regiões homogêneas (segmentos) são delimitadas nas imagens digitais a partir do agrupamento de pixels contíguos. Esse agrupamento é gerado a partir da definição de alguns parâmetros, como por exemplo: a diferença de nível digital entre pixels contíguos e a área mínima do segmento a ser identificado. Após a segmentação, os segmentos podem ser submetidos à classificação.

Cruz et al. (2009), sobre essa temática, complementam dizendo que os classificadores automáticos podem ser supervisionados ou não supervisionados (característica relativa ao

grau de interação do intérprete no processo) e, ainda, pixel-a-pixel ou contextuais (quando partem da segmentação). Recentemente, buscando contribuir para que os processos automatizados alcancem melhor desempenho, surgem os classificadores orientados a objetos que, através de critérios booleanos e/ou modelagem matemática Fuzzy, oferecem recursos para que o conhecimento do especialista possa ser minimamente sistematizado e reproduzido.

3.4.2 Classificação de imagem baseada em objetos (GEOBIA)

Cruz et. al (2007) apontam que a classificação baseada em objetos busca simular técnicas de interpretação visual através da modelagem do conhecimento para identificação de feições, baseada na descrição de padrões identificadores, tais como textura, cor, métrica, contexto. Reis et. al (2009) destacam que a classificação baseada em objetos veio para suprir os tradicionais classificadores que tinham como base apenas os atributos espectrais, que não permitiam o uso de dados de diferentes resoluções e que não tratavam as classes de forma individualizada.

Segundo Blaschke (2010) a emergência da classificação baseada em objetos surge da necessidade da análise integrada da paisagem através dos seus objetos espaciais, interpretados a partir das suas respostas espectrais, do seu contexto espacial e multiescalar e de dados temáticos terrestres.

A classificação baseada em objetos ainda se diferencia das demais por apresentar a possibilidade de se realizar multissegmentações, gerando níveis hierarquizados, incluindo ainda aspectos de multirresolução. A classificação baseada em objetos considera muitos tipos de descritores, tratando-os como parâmetros caracterizadores dos objetos, tais como: cor, textura, tamanho, forma, padrão, localização, contexto, etc. Portanto, a inserção destes elementos, ou seja, do conhecimento do intérprete no processo, consiste em uma alternativa para a distinção de alvos que espectralmente apresentam dificuldades de serem mapeados. A caracterização dos objetos da imagem não pode limitar-se apenas a atributos espectrais, pois estes muitas vezes não conseguem delimitar objetos complexos (DEFINIENS, 2010).

O processo de classificação baseada em objetos utiliza os polígonos gerados na segmentação para definição dos objetos de imagem a partir de um conjunto de dados, no caso, as bandas, embora possam ser agregadas variáveis de outras naturezas. As características espectrais de forma e relações de vizinhança são as informações utilizadas na descrição destes

objetos. A partir destes descritores os objetos podem ser agrupados em categorias com significado ou em classes temáticas (DEFINIENS, 2010).

Recentes avanços das técnicas de processamento de imagens digitais têm facilitado à obtenção de informações de forma mais rápida e eficiente. As integrações de imagens de diferentes resoluções em projetos de classificação ampliam as chances de se alcançar resultados de maior complexidade para o mapeamento final, como é o caso dos classificadores baseados em objetos (GEOBIA). Essa técnica facilita procedimentos complexos e diminui os erros proporcionados pela classificação automatizada, reduzindo assim, a edição manual e as interferências do interprete ao mapeamento.

Dentre as técnicas de classificação digital de imagem, a que tem tido melhores resultados de desempenho é a que se utiliza da classificação de imagens baseada em objetos (GEOBIA), principalmente para mapeamentos temáticos de uso e cobertura da terra.

Os levantamentos de uso e cobertura da terra constituem informações básicas para o entendimento das manifestações humanas, caracterizadas, principalmente, pelas paisagens e suas transformações (LUCHIARI, 2005). Jensen (2009) define o uso do solo como um termo que se refere ao modo como a terra é usada pelos seres humanos, e a cobertura da terra como a distribuição dos materiais biofísicos sobre a superfície terrestre.

Sendo assim, as análises de uso e cobertura da terra possuem um grande potencial na compreensão das dinâmicas espaciais e temporais de um determinado local. Para isso, as técnicas de sensoriamento remoto contribuem efetivamente com a análise e a elaboração de um diagnóstico que subsidie o planejamento do uso do solo (FLORENZANO, 2011).

O mapeamento de uso e cobertura da terra, assim como a maior parte dos mapeamentos temáticos, é embasado em alguma forma de interpretação de fotografias e/ou imagens, sejam provenientes de sensores ativos ou passivos, com o sensoriamento remoto e as ferramentas de SIG entrando, portanto, como essenciais na realização destes mapeamentos, que quantificam e qualificam os dados contidos nas imagens.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para que se alcançasse os objetivos propostos, que envolve a análise da paisagem, a partir dos enfoques estruturais e funcionais da cobertura vegetal, foi necessário seguir um fluxograma metodológico, estruturado em etapas (Figura 13), com a utilização de ferramentas de geotecnologias. A primeira etapa refere-se à elaboração do mapa temático de uso e cobertura da terra da área de estudo. Usando como base o mapa de uso e cobertura da terra, a metodologia encaminha-se por dois eixos principais: a utilização de métricas de paisagem e a realização da classificação morfológica de padrões espaciais, culminando nas análises propostas.

Figura 13 — Fluxograma metodológico



Fonte: O autor, 2019.

A partir do mapa de uso e cobertura da terra, foram extraídos os remanescentes florestais, que permitiram a realização de análises, sob o enfoque estrutural e funcional, da cobertura vegetal. A análise sob o enfoque estrutural, ou seja, da estrutura horizontal da cobertura vegetal, foi realizada utilizando métricas de paisagem. Para tal, foram utilizados os softwares *ArcGis 10.4*, com as extensões *V-Late* e *Patch Analysis*, e *Conefor 2.6*.

Por sua vez, a análise funcional, ou seja, da estrutura funcional (função) da cobertura vegetal, foi realizada a partir da interpretação da classificação morfológica do padrão espacial dos remanescentes florestais. Foi utilizado o software *GuidosToolbox*, que é um programa classificado como “software livre”, desenvolvido pela EC-JRC (*European Commission – Joint Research Centre*), voltado para a análise espacial e classificação de fragmentos florestais (VOGT, 2016).

Esses procedimentos permitiram a caracterização e análise da paisagem — de acordo com os enfoques estruturais e funcionais da cobertura vegetal — da BHRGM e dos domínios geomorfológicos presentes na bacia, e a geração de produtos que apontem áreas prioritárias para conservação e recuperação de remanescentes florestais.

4.1 Classificação de uso e cobertura da terra

O processo de classificação teve início com a aquisição de imagens do satélite Sentinel 2, sensor MSI, adquirida pelo catálogo de imagens do site Earth Explorer da USGS (Agência Geológica Americana). As imagens escolhidas são datadas do mês de setembro, do ano de 2018, por serem as mais recentes na época do início da classificação, e com a mínima interferência de nuvens. A imagem Sentinel 2 oferece resoluções espaciais que variam entre 10, 20 e 60 metros nas suas 13 bandas e resolução radiométrica de 12 bits, o que permite mapeamentos em alta-média resolução (Tabela 1).

Tabela 1 — Bandas da imagem Sentinel 2, sensor MSI

Bandas	Comprimento de Onda Central (nanômetro)	Resolução Espacial
B01 – Aerossol	443	60 m
B02 – Blue (Azul)	490	10 m
B03 – Green (Verde)	560	10 m
B04 – Red (Vermelho)	665	10 m
B05 – Red Edge 1	705	20 m
B06 – Red Edge 2	740	20 m
B07 – Red Edge 3	783	20 m
B08 – NIR (Infravermelho)	842	10 m
B08A – Red Edge 4	865	20 m
B09 – Water Vapor	940	60 m

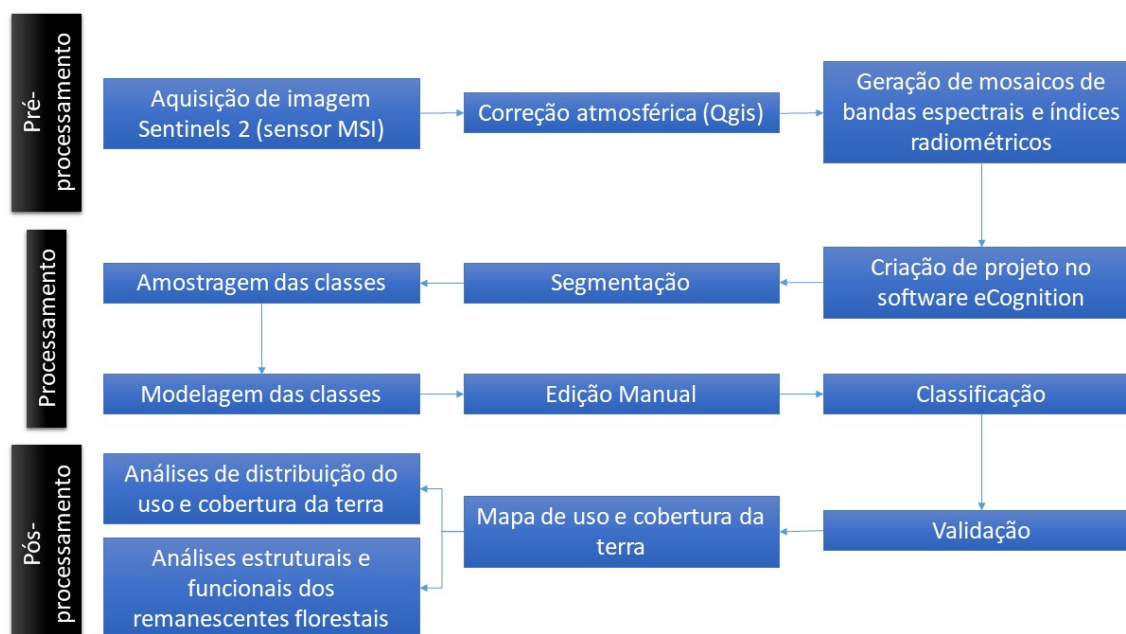
B10 - Cirrus	1375	60 m
B11 – SWIR 1	1610	20 m
B12 – SWIR 2	2190	20 m

Fonte: Adaptado de Agência espacial europeia - European Space Agency (ESA), 2019.

As bandas utilizadas na correção atmosférica e classificação foram as do visível (2, 3 e 4), infravermelho próximo (5), *Red Edge* (6, 7, 8 e 8A), e infravermelho médio (11 e 12). Segundo Santos, Augusto e Richter (2017), uma das principais vantagens do uso de imagens do Sentinel 2 é a combinação de estreitas faixas espectrais, proporcionadas por quatro canais *Red Edge* (borda do vermelho) e o tempo de revisita, que contribui para estudos de identificação e monitoramento de coberturas vegetais.

A primeira etapa com a utilização das imagens é o pré-processamento, por meio da correção atmosférica, com o objetivo de aprimorar sua nitidez. Após esta etapa, a imagem foi importada para o projeto criado no software Definiens, responsável por seu processamento. Nele, foram efetuadas outras etapas, como segmentação, amostragem das classes, modelagem das classes, edição manual, classificação e validação (Figura 14).

Figura 14 — Fluxograma da classificação de uso e cobertura da terra



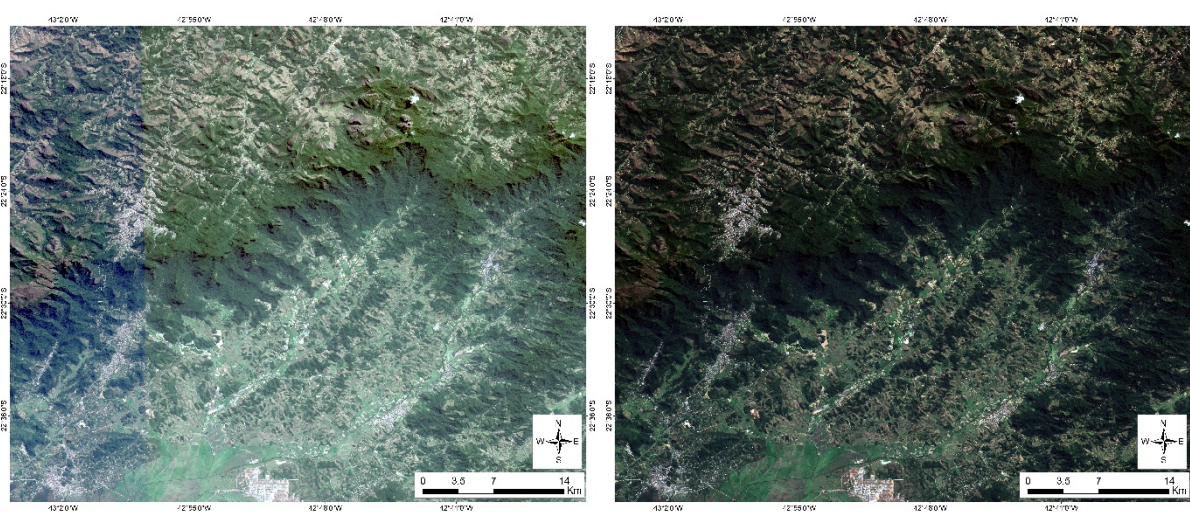
Fonte: O autor, 2019.

A correção atmosférica foi realizada a partir do software *Qgis*, através da metodologia empírica de subtração do valor do pixel mais escuro, a metodologia mais simples proposta na

literatura (ANTUNES; GLERIANI; DEBIASI, 2012). A correção atmosférica foi realizada nas bandas das cenas 23KPQ, 23KPR, 23KQQ e 23KQR, das imagens Sentinel 2, sensor MSI (Figura 15). Nessa correção, os arquivos são transformados para formato *tiff*, tipo de arquivo passível de leitura para as próximas etapas da metodologia.

As interações da radiação solar e da radiação refletida por alvos da superfície terrestre com constituintes da atmosfera interferem no processo de sensoriamento remoto, já que o espalhamento e a absorção ocasionam mudanças na direção de propagação ou perda de energia para outros constituintes atmosféricos (KAUFMAN, 1989). Sendo assim, a correção atmosférica é fundamental, uma vez que as interferências causadas por diferentes tipos de gases e partículas presentes na atmosfera alteram significativamente as repostas espectrais detectadas pelos sensores orbitais. Segundo Antunes, Gleriani e Debiasi (2012), os efeitos diretos por conta da absorção e do espalhamento atmosférico produzem a alteração do brilho da cena e a diminuição de contraste entre os alvos, dificultando com isso a diferenciação e identificação dos mesmos.

Figura 15 — Composição RGB da imagem original (a) e da imagem corrigida (b)



Fonte: O autor, 2019.

Após a correção atmosférica, ocorreu o processo de composição dos mosaicos das bandas das imagens Sentinel 2, realizados no software *QGis*, com o objetivo de unir as cenas anteriormente citadas, uma vez que a área de estudo se localiza entre estas. Posteriormente, para fins de um melhor processamento, os mosaicos das bandas foram recortados para a área de estudo. Em seguida, através de operações aritméticas utilizando os mosaicos das bandas, no software *ArcGis*, na ferramenta *Calculate Raster*, foram geradas as composições dos

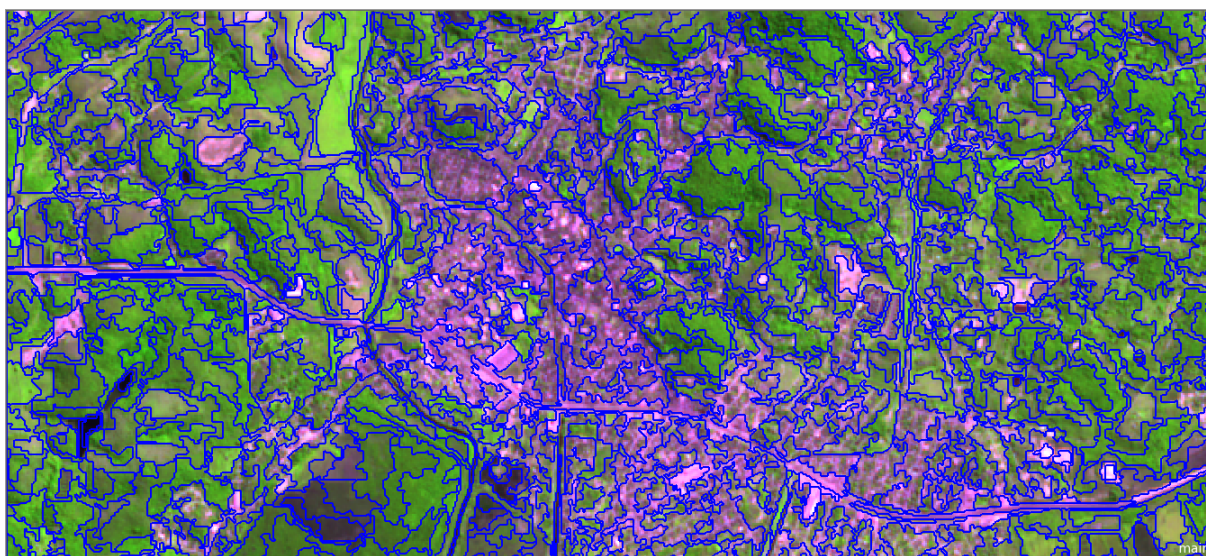
índices radiométricos, que são de grande auxílio durante o processamento e classificação das imagens, mais especificamente na etapa de modelagem.

Na etapa inicial do processamento de imagem foi criado um projeto no software *eCognition Definiens*, em que os mosaicos das imagens Sentinel 2, sensor MSI, assim como as composições dos índices radiométricos, foram incorporados, para posterior classificação baseada em objetos (GEOBIA). A metodologia GEOBIA foi a escolhida para classificação pois possibilita a adoção de segmentação em diferentes níveis de escala, a utilização de descritores variados, disponibilizados ou construídos, além da hereditariedade entre níveis e/ou classes.

Com o projeto criado no software Definiens, foram aplicados uma série de processos em diversas etapas. O primeiro processo é a segmentação. Para este trabalho diferentes parâmetros de segmentação foram testados, e após alguns testes e análises, a imagem foi segmentada com valores de escala 40 (parâmetro de cor/forma 0,1 e suavidade/compacidade 0,5), com pesos iguais para todas as bandas.

Segundo Florenzano (2011), a segmentação de imagens é um processo computacional que permite dividir a imagem em regiões espectralmente homogêneas. Ou seja, são criados polígonos (Figura 16), chamados de segmentos ou regiões, que agrupam pixels semelhantes segundo os parâmetros identificadores. Esses segmentos possuem ainda informações espectrais adicionais, como valores de média por bandas, valores medianos, mínimos e máximos, entre outras informações.

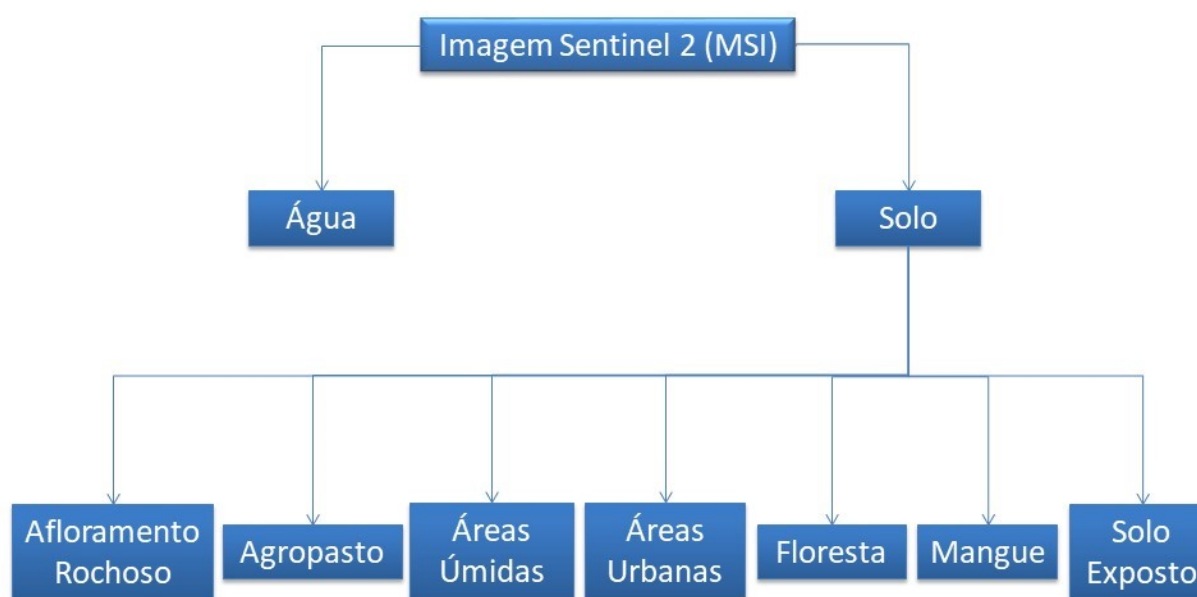
Figura 16 — Exemplo de imagem segmentada



Fonte: O autor, 2019.

Em seguida foram definidas e estruturadas as classes temáticas, assim como a rede semântica de mapeamento. Foi elaborada uma rede semântica em dois níveis, onde no primeiro nível foram mapeadas as classes de água e solo. A classe temática "solo", no segundo nível semântico, foi classificada em afloramento rochoso, agropasto, áreas úmidas, áreas urbanas, floresta, mangue e solo exposto (Figura 17).

Figura 17 - Fluxograma da rede semântica de mapeamento



Fonte: O autor, 2019.

Definiens (2010) afirma que as classes resultantes são relacionadas e organizadas em redes semânticas, que representam o conhecimento sobre a imagem. Ainda afirma que as classes podem ser colocadas em uma estrutura hierárquica para que as descrições possam ser passadas de uma classe para suas subclasses.

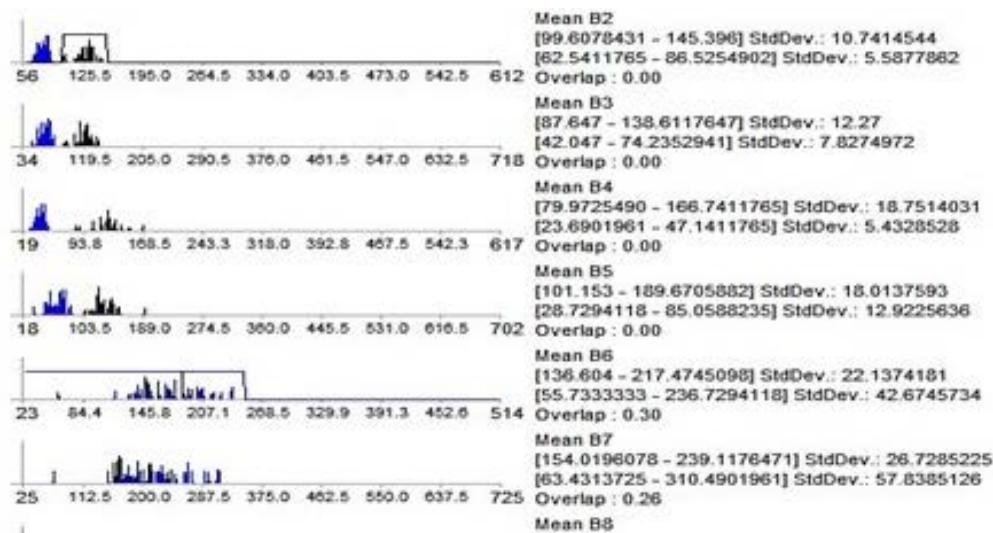
As principais críticas tecidas à mapeamentos temáticos dizem respeito a falta de padrão nas classes utilizadas no mapa, assim como a clareza em suas definições. Por esse motivo, é importante ressaltar as classes utilizadas com as suas respectivas descrições para a classificação das imagens, para que seja possível uma real interpretação das informações obtidas.

- **Água:** lagoas, espelho d'água, rios e lagos artificiais;
- **Afloramento Rochoso:** exposição natural de uma rocha na superfície;

- **Agropasto:** áreas de agricultura e solos preparados para cultivos, ou vegetação rasteira (gramíneas), caracterizada por pequenas colinas;
- **Áreas Úmidas:** áreas sujeitas à inundação;
- **Áreas Urbanas:** áreas com estrutura urbana, caracterizadas pela concentração de núcleos populacionais.
- **Floresta:** cobertura arbórea típica de mata atlântica;
- **Mangue:** vegetação associada às margens de rios, onde haja encontro de águas de rios com a do mar;
- **Solo Exposto:** solos preparados para construção civil e mineração;

Para a realização da classificação, foram recolhidas de 25 (vinte e cinco) a 30 (trinta) amostras para cada classe temática distribuídas dentro da área de estudo. Em seguida à amostragem, ocorreu o processo de modelagem, que consiste na definição de descritores para a classificação das regiões produzidas na segmentação. Cada classe foi modelada utilizando lógica booleana nos descritores das médias (mean) das bandas e dos índices radiométricos em que a resposta espectral apresentou maior particularidade em comparação com as outras classes (Figura 18).

Figura 18 — Modelagem booleana de classes utilizando descritores



Fonte: O autor, 2019.

Com relação aos descritores utilizados no processo de modelagem para a classificação, as imagens do Sentinel 2 permitem que sejam gerados índices radiométricos diversos, que servem como descritores para a classificação de imagem por método GEOBIA. Os índices

radiométricos são medidas capazes de identificar em imagens digitais a abundância relativa e a atividade de determinados tipos de informações, tais como áreas edificadas, cobertura vegetal, áreas inundadas, área foliar, entre outros (FRANÇA; TAVARES JUNIOR; MOREIRA FILHO, 2012). O uso de índices radiométricos como descritores, principalmente os índices de vegetação, servem de elementos fundamentais na classificação da imagem, pois facilitam na identificação de florestas e áreas verdes.

Devido ao maior número de bandas do Sentinel 2, em comparação com alguns satélites anteriores, os índices mais citados pela bibliografia, usados para classificação de vegetação e água, tais como NDVI e NDWI, foram adaptados para o sensor MSI, do satélite Sentinel 2, assumindo novos algoritmos. Os índices adotados para esse trabalho encontram-se disponíveis em SentinelHub (2018), e a partir das suas descrições e algoritmos, foi possível reconhecer as suas potencialidades (Tabela 2).

Tabela 2 — Fórmulas dos índices utilizados

Índice	Algoritmo	Potencialidade
NDVI	$(B08 - B04) / (B08 + B04)$	Vegetação
SAVI 1	$(B08 - B04) / (B08 + B04 + 0.5) * (1.0 + L1^1)$	Vegetação
SAVI 2	$(B08 - B04) / (B08 + B04 + 0.9) * (1.0 + L2^2)$	Vegetação
NDWI	$(B08 - B11) / (B08 + B11)$	Água
NDWI 2	$(B03 - B08) / (B03 + B08)$	Água
GNDVI	$(B08 - B03) / (B08 + B03)$	Vegetação
NDBI	$[(B11 - B08) / (B11 + B08)]$	Áreas construídas
MNDWI	$[(B03 - B11) / (B03 + B11)]$	Água
RE-NDWI	$[(B03 - B05) / (B03 + B05)]$	Vegetação
Red Edge NDVI	$[(B08 - B06) / (B08 + B06)]$	Vegetação

Fonte: Adaptado de SentinelHub, 2018.

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), criado por Rouse et al (1974), se aplica na identificação de áreas verdes ou em áreas em que a presença de vegetação é escassa. O NDVI normaliza o espalhamento verde da folha no comprimento de onda do infravermelho próximo e na absorção da clorofila no comprimento de onda do vermelho. Alterações na fórmula desse índice, com a utilização de uma outra banda, dão resultado à um outro índice de vegetação, o Índice de vegetação verde de diferença normalizada (GNDVI).

¹ L1=0,5

² L2=0,9

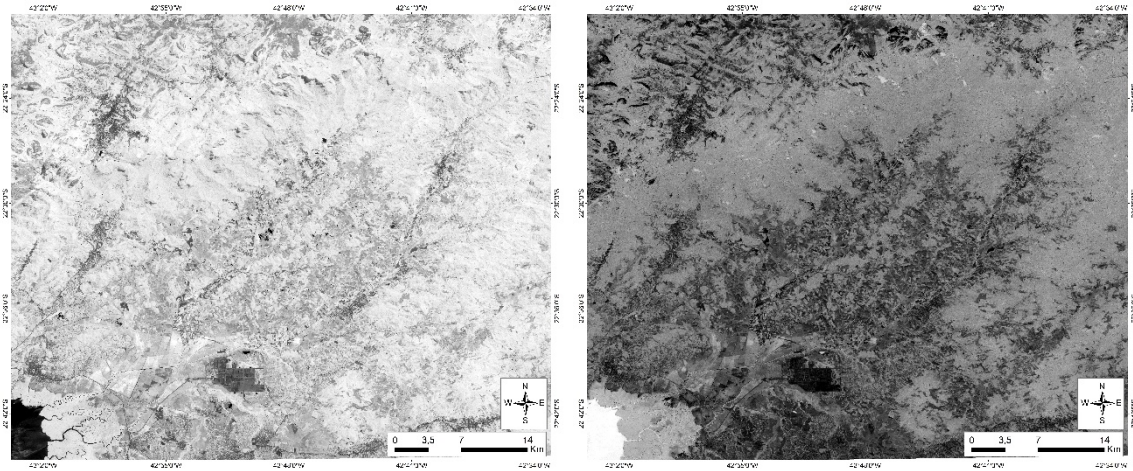
O SAVI é o Índice de vegetação ajustado ao solo, em que é incorporado uma constante de ajuste do solo para minimizar seus efeitos no resultado final do índice. A constante L, na fórmula, é a que minimiza os efeitos do solo, podendo variar de 0 a 1. O SAVI 1 utiliza a constante com valor 0,5 e o SAVI 2, utiliza a constante com o valor de 0,9 (SENTINEL HUB, 2018). Já o Índice diferença normalizada para áreas construídas (NDBI), calculado por Zha, Gao e Ni. (2003), tem grandes aplicações para a identificação de áreas urbanas.

O Índice de água de diferença normalizada (NDWI) é o mais apropriado para o mapeamento de corpo d'água. O corpo d'água tem a absorção forte no comprimento de onda do visível e no comprimento de onda do infravermelho. O índice NDWI e seus derivados fazem uso das bandas do comprimento de onda do verde e do infravermelho de imagens de sensoriamento remoto. O NDWI além de realçar a informação da água eficazmente, também é sensível à terra construída, sendo bastante útil para distinguir a vegetação dos corpos hídricos mais facilmente (SENTINEL HUB, 2018). Desse índice, derivam o NDWI 2, MNDWI e RENDWI.

Além desses índices radiométricos, é importante ressaltar que nas imagens Sentinel 2 novas bandas são disponibilizadas, como é o caso da banda da borda do vermelho ou Red Edge, que contribuem para que novos índices radiométricos sejam criados e venham auxiliar no processo de classificação de uso e cobertura da terra. Souza, Galvão e Santos (2011) comentam sobre a contribuição das novas bandas para a identificação da vegetação, além de destacar a importância de se utilizar a banda do Red Edge para melhor descrever a atividade fotossintética, e com isso, conseguir uma melhor distinção de áreas de mangue e de floresta. Diversos autores têm testado a potencialidade dessa nova banda e, com isso, vários índices de vegetação têm sido propostos, como é o caso do Red Edge Normalized Difference Vegetation Index (RENDVI).

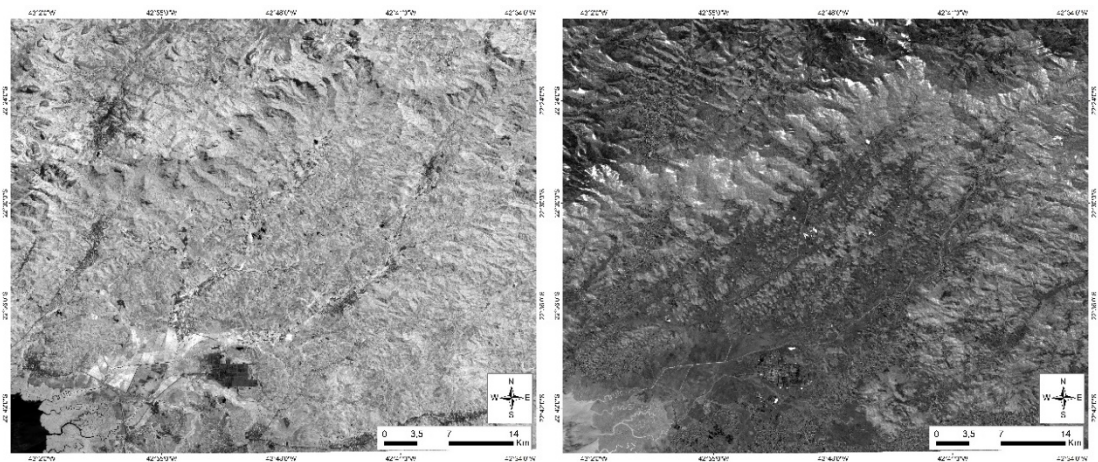
Os produtos da composição dos índices radiométricos são imagens em formato *tiff* (Figuras 19 e 20), que servem como descritores durante o processamento e classificação das imagens, mais especificamente na etapa de modelagem.

Figura 19 — Imagens da composição dos índices radiométricos (NDVI e NDWI)



Fonte: O autor, 2019.

Figura 20 — Imagens da composição dos índices radiométricos (SAVI 1 e RENDWI)



Fonte: O autor, 2019.

Por fim, foi realizado uma edição manual para pequenas correções. Além disso, após a classificação de uso e cobertura da terra, há o processo de validação. Esse processo, responsável por atestar a qualidade do mapeamento, foi realizado através da metodologia de amostragem aleatória e estratificada (LANDIM, 2003), fazendo uso das imagens do Google Earth. A geração de pontos aleatórios para validação de mapeamento já foi utilizada por outros autores, como Silva et al. (2011) e Nascimento et al. (2013). Lopes (2009) atestou a fidelidade geométrica das imagens do Google Earth em comparação com bases de dados utilizadas em mapeamentos, estando passíveis de serem utilizadas para validação.

Com a possibilidade de utilização da base de imagens do Google Earth para validação, o resultado da classificação foi incorporado em formato vetorial ao software *ArcGIS 10.4*, onde os centroides dos polígonos foram extraídos, através da ferramenta *Feature to point*, do

módulo *Data Management Tools*, gerando 35.753 pontos. Em seguida, os pontos foram submetidos à função *subset features*, do módulo *Geostatistical Analyst Tools*, onde passaram por uma seleção estática aleatória de 10% dos pontos de cada classe, restando 3.575 pontos aleatórios (Tabela 3).

Tabela 3 - Pontos amostrais extraídos para realizar o processo de validação do mapeamento de uso e cobertura da terra

Classe	Pontos dos centroides	10% dos pontos
Afloramento rochoso	274	30
Agropasto	15.884	1.628
Água	779	81
Áreas Úmidas	784	80
Áreas Urbanas	1.653	167
Floresta	15.879	1.550
Mangue	402	34
Solo Exposto	98	5
Total	35.753	3.575

Fonte: O autor, 2019.

Esses pontos, que portam em seus atributos os nomes das classes a quem pertencem, foram importados no software Google Earth Pro (Figura 21), e sobrepostos a imagens de alta resolução, onde cada um foi validado. Os pontos com usos compatíveis ou incompatíveis por classes a que pertencem foram descritos e somados em uma planilha contendo a matriz de confusão (Tabela 4).

Figura 21 - Amostras de validação da classe de floresta e água



Fonte: O autor, 2019.

Tabela 4 — Matriz de confusão obtida a partir da validação no Google Earth

Classe	Afloramento rochoso	Agropasto	Água	Áreas Úmidas	Áreas Urbanas	Floresta	Mangue	Solo Exposto	Total	Acertos
Afloramento rochoso	25	0	0	0	0	5	0	0	30	83,33%
Agropasto	0	1.418	10	10	60	130	0	0	1.628	87,10%
Água	0	3	74	1	0	3	0	0	81	91,36%
Áreas Úmidas	0	1	0	76	0	2	1	0	80	95%
Áreas Urbanas	0	19	0	6	132	8	0	2	167	79,04%
Floresta	0	59	10	0	20	1461	0	0	1.550	94,26%
Mangue	0	0	3	0	0	0	31	0	34	91,18%
Solo Exposto	0	0	0	0	1	0	0	4	5	80%
Total	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	3.575	87,66%

Fonte: O autor, 2019.

Logo, foi possível obter como resultado um coeficiente de exatidão global de 87,66% de acerto, que é considerado um excelente coeficiente de validação para mapeamento de uso e cobertura realizados de maneira automatizada.

Além disso, para atestar a avaliação da precisão da classificação, também foi utilizado o índice Kappa (Equação). Esse índice é um dos principais métodos para avaliar a concordância entre a verdade terrestre e o mapa temático.

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}$$

em que: K = índice de exatidão Kappa; r = número de linhas da matriz; x_{ii} = número de observações na linha i e coluna i; x_{i+} e x_{+i} = totais marginais da linha i e coluna i, respectivamente; N = número total de observações.

Segundo Moreira (2001), a vantagem da utilização da estatística Kappa é que, em seu cálculo, incluem-se todos os elementos da matriz de erro. Congalton e Green (1999) afirmam que o uso do coeficiente Kappa é eficiente na avaliação da condição de uma classificação temática, pelo fato de levar em consideração toda a matriz de erros no seu cálculo, inclusive os elementos de fora da diagonal principal, os quais representam as discordâncias na classificação.

A estatística Kappa varia de 0 a 1, e segundo Moreira (2001), valores mais próximos a 1 sugerem um processo de classificação altamente eficiente. Landis e Koch (1977) associam valores de Kappa à qualidade da classificação de acordo com a tabela 5.

Tabela 5 - Qualidade da classificação associado aos valores do índice Kappa

Índice Kappa	Qualidade
0,00	Péssima
0,01 - 0,20	Ruim
0,21 - 0,40	Razoável
0,41 - 0,60	Boa
0,61 - 0,80	Muito boa
0,81 - 1,00	Excelente

Fonte: LANDIS; KOCH, 1977, p. 165.

O resultado do índice Kappa para o presente mapeamento, gerado a partir da matriz de confusão, foi de 0,84. Esse valor é considerado excelente para mapeamentos de uso e cobertura da terra e atestam uma classificação eficiente.

4.2 Métricas da paisagem

Para a geração das métricas de paisagem foram utilizadas as classes de remanescentes florestais — Floresta e Mangues —, dos arquivos vetoriais do mapeamento de uso e cobertura da terra. Para a realização do procedimento e o cálculo das métricas, foram utilizadas ferramentas das extensões *V-Late* — *Vector-based Landscape Analysis Tools Extension* — (LANG; TIEDE, 2003) e *Patch Analyst* (REMPEL; KAUKINEN; CARR, 2012), presentes no software *ArcGIS 10.4*.

A extensão *V-Late* foi apresentada por Lang e Tiede (2003), e disponibiliza um conjunto específico de medidas da estrutura da paisagem, a nível de manchas, e executa todos os cálculos na base de conjuntos de dados poligonais. Essa extensão inclui os mais importantes aspectos da estrutura da paisagem, como área, forma, densidade de bordas, etc. As métricas utilizadas foram as seguintes (Tabela 6):

Tabela 6 - Métricas empregadas para a análise da estrutura da paisagem, a nível de mancha

Métrica	Função
AREA	Mede a área (ha) de cada fragmento.
CA	Mede a área (ha) ocupada pelas classes “matriz” e “fragmentos”.
NP - número de fragmentos	Mede o número absoluto de fragmentos existentes em cada classe.
SHAPE - índice de forma	Mede a complexidade da forma do fragmento, comparando-a à de um círculo. Quanto mais distante de 1, mais recortados e complexos os fragmentos.
NNDist - distância do vizinho mais próximo	Mede a distância euclidiana, borda a borda, entre um fragmento e outro, o mais próximo de mesma classe.

Fonte: LANG; BLASCHKE, 2009.

O *Patch Analyst* foi desenvolvido para a análise de dados vetoriais. Essa extensão gratuita para ArcGis foi desenvolvida por R. Rempel e A. Carr. Ela fornece métricas calculadas no nível de agregação de classes; portanto não há possibilidade de executar explicitamente cálculos para manchas individuais.

Dessa forma, utilizando a ferramenta *Analysis by Region*, foram calculadas métricas de estrutura da paisagem a nível de classe para os domínios geomorfológicos. As métricas utilizadas foram as seguintes (Tabela 7):

Tabela 7 - Métricas empregadas para a análise da estrutura da paisagem, a nível de classe

Grupo	Sigla (unidade de medida)	Métrica	Função
Área	NP (n)	Número de manchas	Representa quantas manchas são encontradas por classe.
	CA (ha)	Área da classe	Somatório da área de todas as manchas da classe estudada.
	MPS (ha)	Tamanho médio da mancha	Soma do tamanho das manchas dividido pelo número de manchas.
Bordas	TE	Soma das bordas	Extensão total das bordas da classe analisada.
	ED (m/ha)	Densidade de bordas	Extensão total da borda em relação a área total da paisagem.
	MPE (m/ha)	Comprimento médio de borda	Extensão média da borda dos fragmentos de uma classe analisada.
Forma	MSI (adimensional)	Índice médio de forma	Igual a 1 (um) quando as manchas da classe analisada forem circulares, e aumenta com a crescente irregularidade da forma das manchas da classe analisada.
	MPAR (m/m ²)	Razão média do perímetro (borda) pela forma	Média da relação perímetro-área para a classe analisada.

Fonte: LANG; BLASCHKE, 2009.

A partir desses procedimentos, foi possível a realização da análise da estrutura da paisagem, no capítulo de resultados. As métricas feitas no *V-Late* permitiram a análise estrutural da BHRGM integralmente, a partir da individualização dos fragmentos, que foram analisados utilizando uma categorização em classes de acordo com as métricas utilizadas. Já as métricas realizadas no *Patch Analyst* permitiram comparar e avaliar a estrutura da paisagem em cada um dos domínios geomorfológicos presentes na BHRGM.

Além disso, também foi empregado um procedimento para simulação de conexões (corredores), ou seja, que indica — a partir da geração de conexões — corredores entre os fragmentos florestais para aumento da conectividade. Para isso, foi utilizado o software *Conefor 2.6*. O *Conefor 2.6* é um pacote de software que permite quantificar a importância das áreas de manchas e corredores florestais para a manutenção ou melhoria da conectividade da paisagem, além de avaliar o impacto das mudanças das manchas e uso do solo na conectividade. É concebido como uma ferramenta de apoio à tomada de decisão em conservação e planejamento da paisagem, através da identificação e priorização de locais críticos para a conectividade (SAURA; TORNÉ, 2012).

O software *Conefor 2.6* calcula índices de paisagem para quantificar a capacidade de conectividade de uma região. A partir de um arquivo vetorial com os fragmentos florestais e de um limite de distância estipulado para o cálculo de possíveis conexões, o software indica

uma rede de conexões, onde cada mancha corresponde a um fragmento. Também é escolhido se a distância deverá ser calculada a partir das bordas ou centroides de cada fragmento.

No presente trabalho, foi escolhido, baseado na bibliografia, o valor de 100 metros para limite de distância, sendo considerada a partir da borda dos fragmentos. Essa metodologia foi utilizada para a geração de conexões (corredores) entre os fragmentos florestais, que foi incluído como parâmetro para a definição de áreas prioritárias para conservação e recuperação, discutidos no capítulo de resultados.

4.3 Análise Morfológica do padrão espacial (Morphological Spatial Pattern Analysis - MSPA)

A partir do mapa de uso e cobertura da terra foi realizada a Análise Morfológica de Padrões Espaciais - (*Morphological Spatial Pattern Analysis - MSPA*), implementada por Soille e Vogt (2009), utilizando o software denominado *GuidosToolbox (Graphical User Interface for the Description of image Objects and their Shapes*, ou Interface Gráfica ao Usuário para a Descrição de Objetos de Imagem e suas Formas) (VOGT, 2016).

A metodologia aplicada para essa análise consiste de uma sequência de operadores morfológicos matemáticos voltados à caracterização da distribuição espacial dos componentes de uma imagem. A classificação do MSPA é feita pixel a pixel e utiliza um arquivo *raster* binário: 1 (*forest*) e 2 (*no forest*). Essa abordagem baseia-se na segmentação dos objetos que estão em primeiro plano, ou *foreground* — que são os remanescentes florestais, que envolvem as classes de florestas e mangues — em uma dada imagem binária, dividindo-os em sete classes genéricas: *core* (núcleo), *islet* (ilha), *loop* (laço), *bridge* (ponte), *perforation* (perfuração), *edge* (borda) e *branch* (ramo) (SOILLE; VOGT, 2009). O procedimento vai atribuir a cada um dos pixels do *foreground* uma das classes de feições geométricas mutuamente exclusivas. Este princípio implica que, em primeiro lugar, a cobertura espacial da imagem de entrada e as classes resultantes é idêntica, e segundo, a abordagem é uma verdadeira segmentação matemática devido à atribuição de classes mutuamente exclusivas que compreendem a área do *foreground* (LUZ et al., 2018).

No software *ArcGis 10.4*, o mapa de uso e cobertura da terra, em formato vetorial, foi convertido para o formato matricial, em um *raster* binário, mantendo a resolução espacial de 10x10m por pixel, para posterior importação e manipulação no referido software

GuidosToolbox, para a realização do módulo MSPA, sendo definido como valor de borda o valor de 10 pixels (*Edge Width*), que corresponde a largura de 100m. Esse valor foi estabelecido de acordo com o trabalho de Seabra (2013), para a escala de 1:100.000.

Seguindo a metodologia abordada por Seabra (2013), as classes mapeadas a partir das análises realizadas do MSPA foram renomeadas, e a partir de edição manual, incluída a classe de clareira. As classes, renomeadas e com suas descrições, adotadas no presente trabalho são as seguintes:

- Áreas Núcleo – Área interna dos fragmentos florestais.
- Bordas – Faixas de floresta mais externa ao fragmento florestal (borda) com extensão de 100m, em contato com a matriz.
- Clareiras – Áreas desmatadas no interior das áreas núcleo.
- Bordas de clareira – Faixas de floresta, com extensão de 100m, que está em contato com as clareiras.
- Corredores – Faixas de floresta que conectam dois ou mais fragmentos florestais.
- Falsos corredores – Corredores florestais que ligam dois pontos de um mesmo fragmento.
- Ramificações – Faixas de floresta que saem do fragmento, sem se conectar a outro fragmento.
- Matriz – Áreas desmatadas, externas aos fragmentos florestais.
- Ilhas ou *Stepping Stones* – Ilhas de floresta inseridas no interior da matriz.

É importante ressaltar que o mapeamento foi realizado com base no uso e cobertura da bacia, extrapolando-se 1km de área para além dos limites da bacia hidrográfica. Isso foi feito para que se considerasse áreas de vegetação ao entorno da bacia hidrográfica, na identificação das classes de MSPA, possibilitando um resultado mais fidedigno, principalmente para as áreas limítrofes da área de estudo.

Como exemplo, primeiramente foi realizado um mapeamento preliminar — para familiarização com o software — realizando a classificação utilizando somente o uso e cobertura da terra no interior da bacia hidrográfica, e como resultado, as áreas florestadas presentes nas áreas limítrofes da área de estudo apresentaram-se como área de borda. Com a identificação das classes de MSPA levando em consideração as áreas ao entorno, as áreas florestadas presentes nas áreas limítrofes da bacia foram enquadradas em outras classes, como

por exemplo, áreas núcleo, que correspondem de forma mais fidedigna a sua distribuição espacial. Posteriormente, com os resultados já considerando as áreas ao entorno da bacia hidrográfica, o resultado da classificação de MSPA foi recortado para a área de interesse.

Os resultados finais da análise foram incorporados e manipulados em ambiente SIG, em que foi recortado o mapeamento para a área da bacia, e foram calculadas as áreas e gerados os layouts finais, para toda a área de estudo e para recortes por domínios geomorfológicos.

4.4 Aquisição de dados

A aquisição, organização e compilação de alguns dados necessários para a produção de mapeamentos, gráficos, tabelas, e as subsequentes análises, foram adquiridos por meio de fontes preexistentes. Os domínios geomorfológicos foram obtidos a partir do mapeamento geomorfológico realizado por Augusto e Seabra (2013), e posteriormente foi processado utilizando o software *ArcGis 10.4*.

4.4.1 Domínios geomorfológicos

O mapeamento de domínios geomorfológicos foi realizado por Augusto e Seabra (2013), através de um MDE Socet SET/ATE, obtido gratuitamente do IBGE (2015). O mapeamento geomorfológico foi realizado a partir da adaptação da metodologia empregada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo (IPT, 1981). No estado do Rio de Janeiro, a metodologia foi adaptada por Seabra (2012) para o mapeamento das variáveis morfométricas da Bacia Hidrográfica do rio São João. O produto dessa metodologia é um mapa por domínios geomorfológicos — apresentado no capítulo referente a área de estudo —, que foi utilizado como base para as análises por domínios geomorfológicos.

Os principais critérios adotados nessa metodologia são de declividade dominante das vertentes e amplitude do relevo. Dessa forma, para a elaboração do mapa dos domínios geomorfológicos, Augusto e Seabra (2013) fizeram o cruzamento das camadas espaciais de declividade e de amplitude, definindo parâmetros para a classificação dos domínios

geomorfológicos (Tabela 8). Por fim, se estabeleceu as classes de Planícies, Colinas, Morrotes, Morros e Montanhas, se enquadrando no 1º táxon das classificações geomorfológicas definidas por Argento (2015).

Tabela 8 - Classes de domínios geomorfológicos

Domínio Geomorfológico	Declividade	Amplitude
Planícies	0% a 5%	< 40m
Colinas	5% a 15%	< 40m
Morrotes	> 15%	de 40m a 100m
Morros	> 15%	de 100m a 300m
Montanhas	> 15%	> 300m

Fonte: Adaptado de IPT (1981). Elaborado por Augusto e Seabra (2013).

O mapeamento de domínios geomorfológicos teve como produto o mapa de domínios geomorfológicos da BHRGM (Figura 3) — apresentado anteriormente no capítulo referente a área de estudo — e uma tabela quantitativa (Tabela 9), com os valores absolutos e percentuais que os domínios geomorfológicos ocupam com relação a área da BHRGM. Esses produtos serão necessários no capítulo de resultados, para a realização dos objetivos propostos no presente trabalho.

Tabela 9 — Área e total percentual dos domínios geomorfológicos na BHRGM - RJ

Domínio Geomorfológico	Área (km²)	%
Planícies	632,4	48,62
Colinas	19,19	1,48
Morrotes	41,61	3,2
Morros	85,85	6,6
Montanhas	521,6	40,61

Fonte: O autor, 2019.

De acordo com a tabela 9, o domínio de planícies apresenta a maior área, com 632,4Km², ou 48,62% da área da bacia, concentrada em sua maior parte na porção sul e central da área de estudo. Com grande representatividade no quantitativo total, pois ocupam 521,6km², as montanhas apresentam 40,61% do mapeamento, mais concentradas na porção norte da área de estudo, representando parte dos maciços costeiros que limitam a bacia. Com 6,6%, ocupando 41,61km², a classe de morros foi a terceira mais presente na bacia, se localizando principalmente na área central da área de estudo. As classes de morrotes e colinas

apresentaram áreas menos expressivas, compondo 3,2% e 1,48%, respectivamente, da área total da bacia.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Análise do uso e cobertura da terra

A partir das técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento expostas foi possível gerar o mapa temático de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu (Figura 22) e a tabela com a área e o percentual ocupado por cada uma das classes (Tabela 10).

Tabela 10 — Área e total percentual das classes de uso e cobertura da terra da BHRGM - RJ

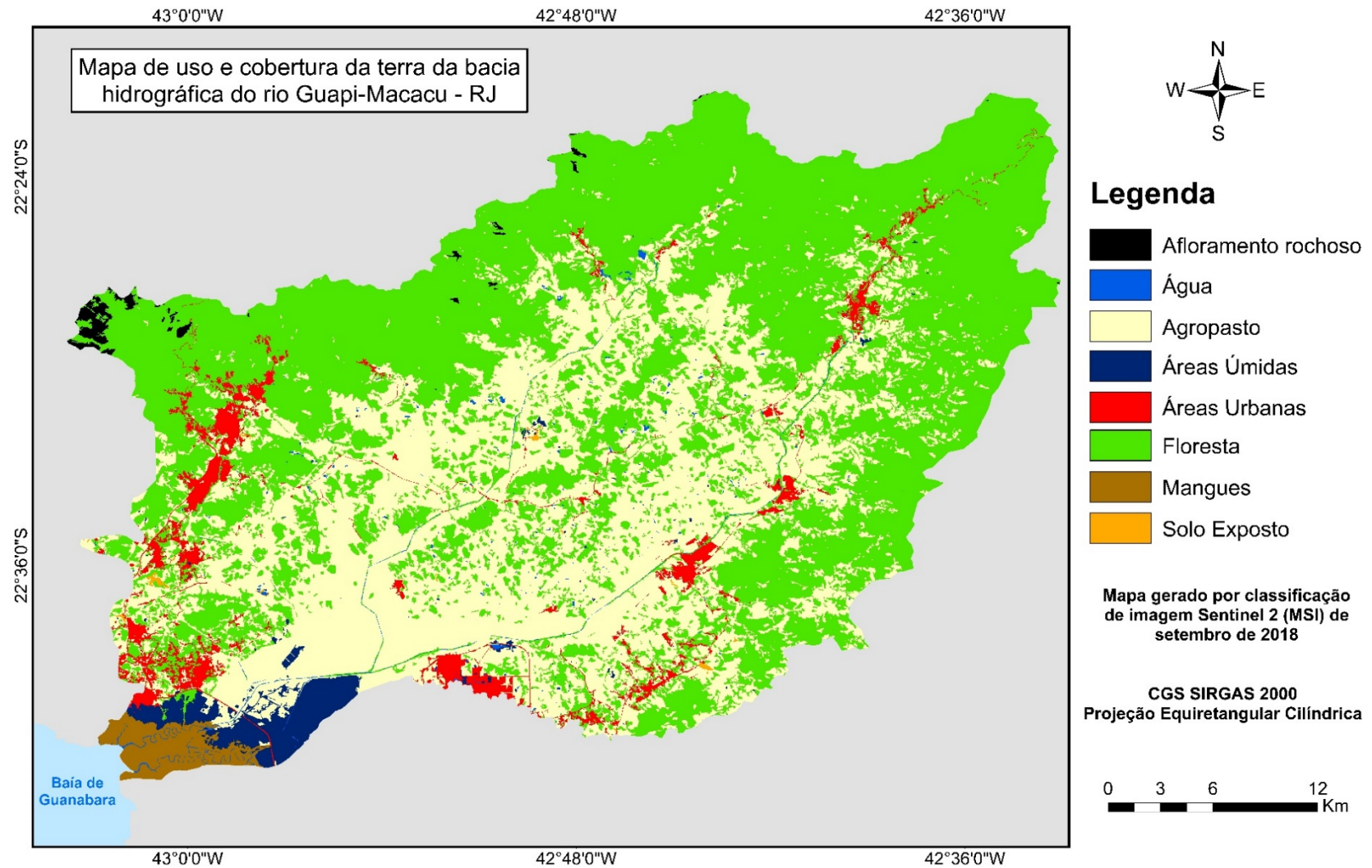
Classe	Área (Km²)	%
Afloramento rochoso	5,4	0,42
Agropasto	491,54	37,78
Água	5,35	0,41
Áreas Úmidas	25,28	1,94
Áreas Urbanas	47,9	3,68
Floresta	707,22	54,36
Mangue	16,98	1,31
Solo Exposto	1,32	0,1
Total	1300,99	100

Fonte: O autor, 2019.

Os corpos hídricos apresentam cobertura de 5,35km² da bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu (0,41% da área total). Estes aparecem mais na APA de Guapimirim, à oeste da bacia, e são representados na forma dos rios Macacu, Guapiaçu e Guapimirim, e de alguns afluentes na rede hidrográfica.

Os resultados do mapeamento apresentaram a classe de floresta como a dominante na área da bacia, com 707,22km², ou cerca de 54,36% da área total. A cobertura de florestas se distribui principalmente ao longo, e de maneira contínua, da escarpa da Serra do Mar e dos patamares residuais, com grande presença nas vertentes e divisores de água da bacia, protegidas sob diferentes unidades de conservação.

Figura 22 - Mapa de uso e cobertura da terra da BHRGM - RJ



Fonte: O autor, 2019.

Além disso, essas áreas de floresta encontram-se preservadas devido principalmente às maiores altitudes e o relevo acidentado, que funcionaram como barreira à ocupação e ao desenvolvimento de atividades humanas. Também é possível perceber a presença de alguns fragmentos florestais nos topos de morros e colinas existentes na porção central da bacia.

A classe com a segunda maior área apresentada foi a de agropasto, com 491,54km², ou cerca de 37,78% da área total. Esta classe encontra-se representada principalmente na área de planícies e de morros da bacia, com a presença de vegetação rasteira, associadas com áreas para criação de gado e cultivos agrícolas, que são as principais atividades realizadas na mesma.

As áreas urbanas apresentaram 47,9km² ou cerca de 3,68% da área da bacia, tendo maior representatividade nos perímetros urbanos de Guapimirim, à oeste, Papucaia (no município de cachoeiras de Macacu) e no centro de Cachoeiras de Macacu, aparecendo muito pouco em outros espaços, somente na forma de uma urbanização rarefeita, com áreas de menor ocupação, em que há a presença de áreas não construídas entre elas. Destaca-se também a área do COMPERJ, na porção sul da bacia, em Itaboraí, que possui uma parte de suas construções inseridas na bacia.

Concentrada à oeste, em áreas de menor declividade, mais precisamente na Área de Proteção Ambiental (APA) de Guapimirim, onde encontra-se a foz dos rios Macacu e Guapiaçu, a classe de mangue apresentou 16,98km², ou cerca de 1,31% da área total. Por se tratar de uma unidade de conservação, esta classe de vegetação natural apresentou considerável contiguidade espacial, refletindo uma relativa preservação deste ecossistema flúvio-marinho. Próximo às áreas de mangues, encontram-se as áreas úmidas, na porção jusante das bacias, justamente na área de menor declividade e de proximidade à foz dos rios Macacu e Guapiaçu, e que apresentam 25,28Km², ou cerca de 1,94% da área total.

Apresentando áreas bem menores, as classes de solo exposto e de afloramento rochoso completam a classificação. O solo exposto apresentou 1,32km², ou cerca de 0,1% da área total, estando distribuídos em áreas menores espalhadas pela bacia, sobretudo em volta dos perímetros urbanos. Os afloramentos rochosos apresentaram 5,4km², ou cerca de 0,42% da área total, e são visualizados na porção norte da bacia, nas escarpas das Serra do Mar.

5.2 Análise do enfoque estrutural da cobertura vegetal

Para a elaboração dos próximos resultados — que envolvem a análise das métricas de paisagem da cobertura vegetal, que possibilita a indicação do grau de fragmentação e conectividade dos remanescentes florestais — somente as classes do mapeamento de uso e cobertura da terra referentes à vegetação foram utilizadas. Essas classes correspondem às áreas de Floresta e Mangue.

Considerando o mosaico formado por porções de vegetação (fragmentos) e de não vegetação (matriz), a classe matriz corresponde à 44,33% da paisagem, ou 57.662,63 hectares; a classe fragmentos é composta por polígonos que ocupam 55,67% da área total, ou 72.419,78 hectares (Tabela 11 e Figura 23).

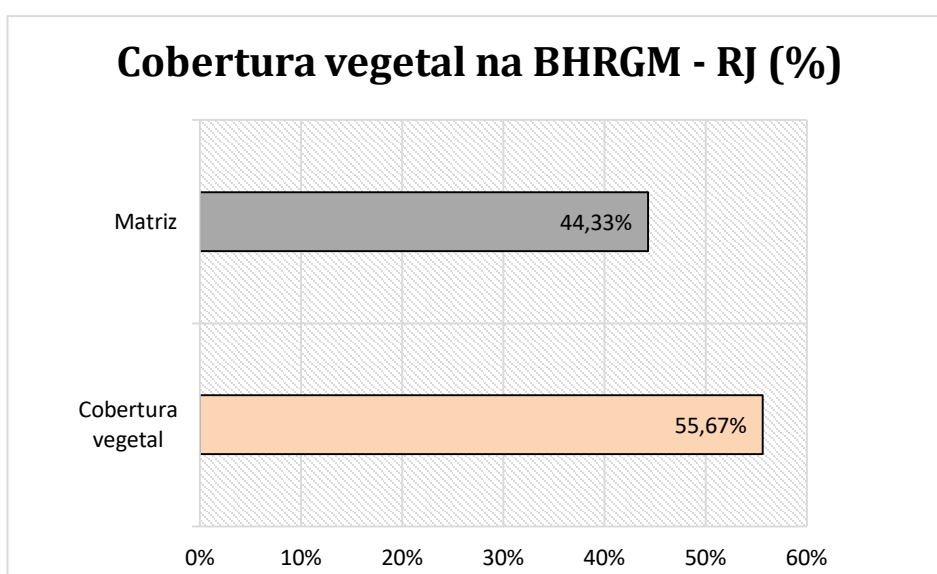
Tabela 11 - Quantitativo de matriz e vegetação da BHRGM – RJ

Classe	CA (ha)	%
Matriz	57.662,63	44,33
Fragmentos	72.419,78	55,67
Total	130.082,41	100

Legenda: CA = área total da classe; % = percentagem da paisagem ocupada pela classe.

Fonte: O autor, 2020.

Figura 23 - Gráfico do percentual de cobertura vegetal na BHRGM – RJ



Fonte: O autor, 2020.

Foram identificados 1294 fragmentos de floresta na paisagem, com tamanho médio de 55,97 hectares e alto desvio padrão — que indica que os fragmentos estão espalhados por uma ampla gama de valores de tamanho (Tabela 12). Neste caso, a análise da mediana demonstra que pelo menos metade dos fragmentos possui apenas 2,95 hectares, e o valor do 3º quartil demonstra que 75% dos fragmentos possuem até 6,97 hectares. O menor e o maior fragmento identificados possuem 0,01 ha e 52.465,7 ha, respectivamente.

Tabela 12 — Parâmetros do tamanho dos fragmentos na BHRGM - RJ

Parâmetros	Tamanho dos fragmentos (ha)
Tamanho mínimo	0,01
Tamanho máximo	52.465,7
Tamanho médio	55,97
Desvio padrão	1.767,72
Mediana	2,95
3º quartil	6,97

Fonte: O autor, 2020.

O cálculo das métricas de paisagem para a BHRGM evidenciou heterogeneidade dos fragmentos, em termos de área e quantidade. Os fragmentos menores, com área de até 10 (dez) hectares, classificados como “muito pequenos”, são quantitativamente mais significativos, correspondendo a 82,13% (1063 fragmentos) da totalidade dos fragmentos existentes na paisagem, mas em termos de área, representam apenas 2,45% (3189,49 hectares) da área total da paisagem analisada. Em contrapartida, os fragmentos maiores, principalmente os classificados como “muito grande”, ocupam 42,32% (55.046,42 hectares) da área total da bacia, mas quantitativamente apresentam somente 3 (três) fragmentos, que corresponde 0,24% do total presente na área de estudo (Tabela 13 e Figura 24).

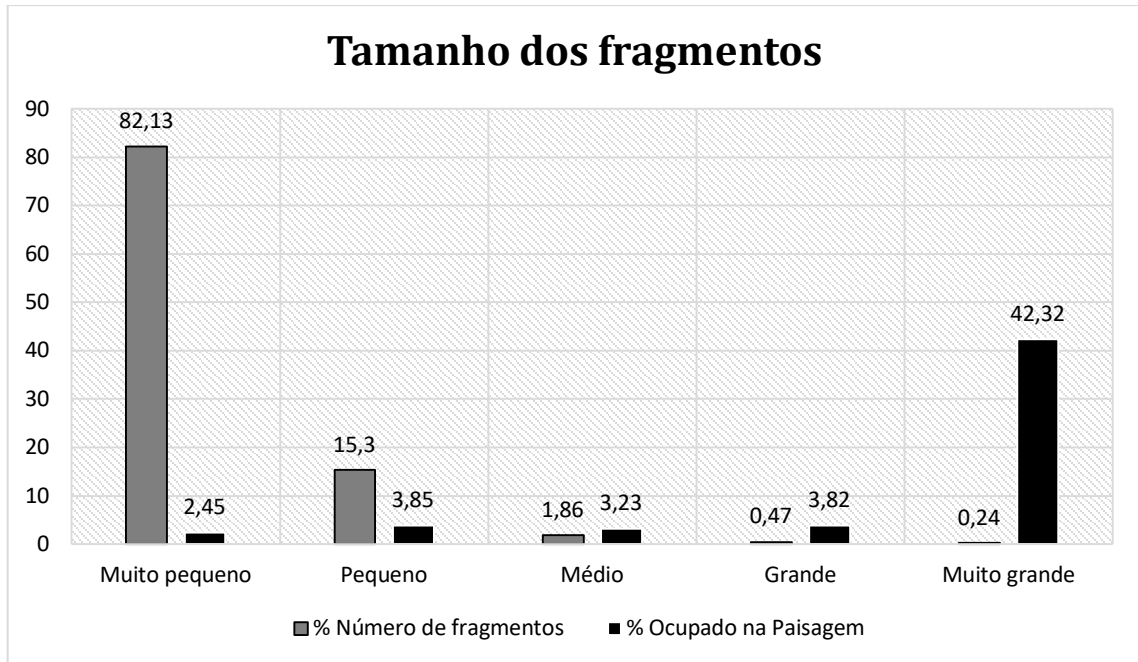
Tabela 13 — Classes de tamanho dos fragmentos florestais da BHRGM - RJ

Tamanho do fragmento	NP	Percentual (%) em relação ao total de fragmentos	CA (ha)	Percentual (%) na paisagem
Muito pequeno	1063	82,13	3.189,49	2,45
Pequeno	198	15,30	5.013,41	3,85
Médio	24	1,86	4.197,33	3,23
Grande	6	0,47	4.973,13	3,82
Muito grande	3	0,24	55.046,42	42,32
Total	1294	100	72.419,78	55,75

Legenda: NP = número de fragmentos; CA = área total da classe.

Fonte: O autor, 2020.

Figura 24 - Gráfico de classes de tamanho dos fragmentos florestais da BHRGM - RJ

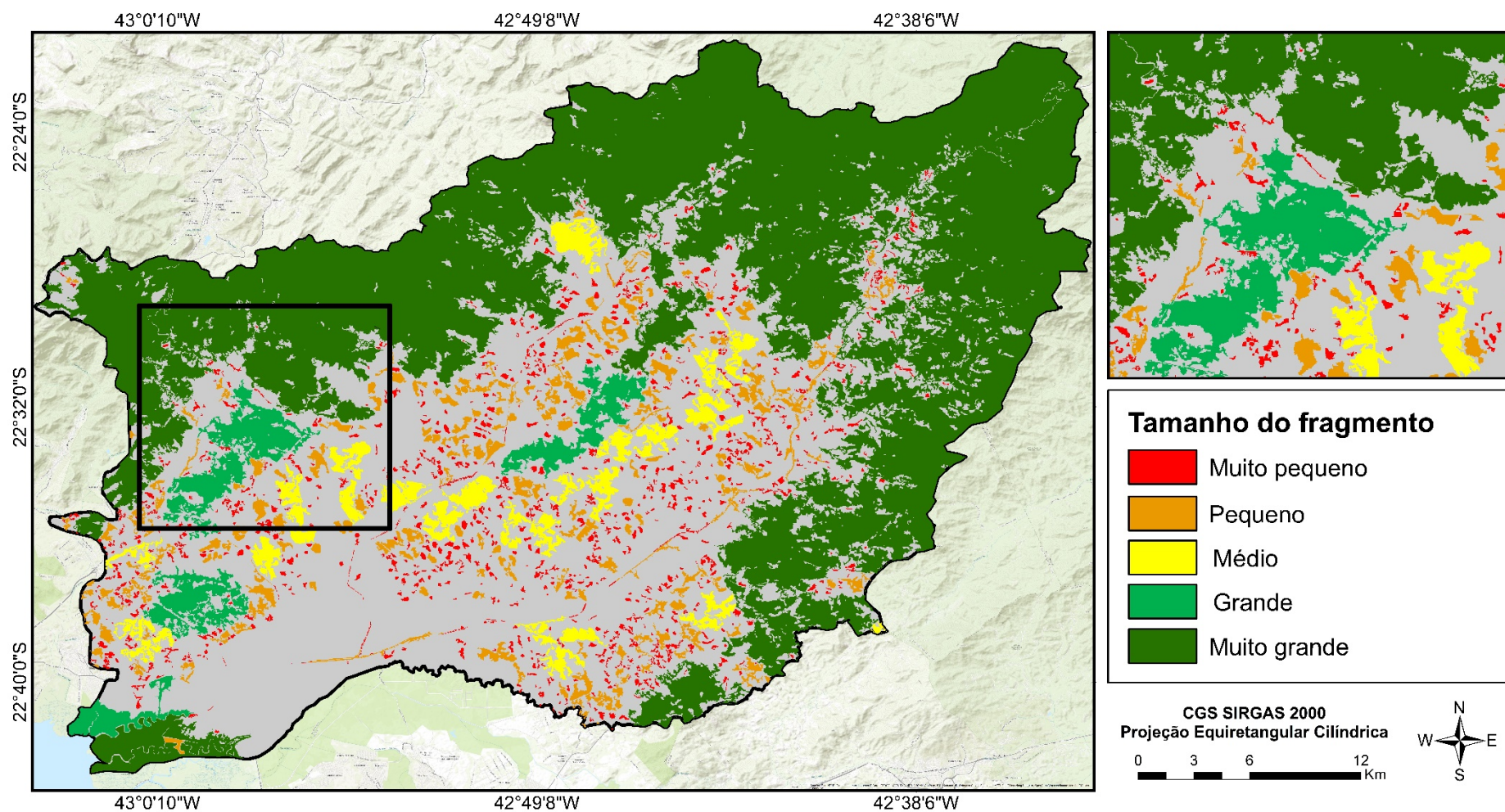


Fonte: O autor, 2020.

Na figura 25, encontra-se a distribuição dos fragmentos por classes de tamanho. Estes foram categorizados em 5 (cinco) classes: muito pequeno (inferior a 10 ha), pequeno (entre 10 e 91 ha), médio (entre 91 e 501 ha), grande (entre 501 e 1100 ha) e muito grande (acima de 1100 ha). Classificação semelhante foi utilizada por Abdalla & Cruz (2015).

Os resultados encontrados para a distribuição dos fragmentos em classes de tamanho somam-se aos de Santos e Seabra (2019) para demonstrar que na área de estudo há predomínio de fragmentos com área inferior a 50 ha. Quando essa análise é extrapolada para outras regiões, encontra-se situação semelhante: muitos fragmentos pequenos e poucos fragmentos grandes (PIROVANI, 2010).

Figura 25 - Mapa de classes de tamanho dos fragmentos florestais da BHRGM – RJ



Fonte: O autor, 2020.

Para compreender como os fragmentos se configuram na paisagem e estimar a conectividade, foi utilizado um índice baseado na distância entre eles, a métrica espacial de Distância ao Vizinho Mais Próximo (NNDist).

A tabela 14 aponta que o vizinho mais próximo de cada fragmento dista em média 59,46 metros, mas com desvio padrão de 69,90 metros, é mais realista interpretar pela mediana, que pelo menos metade dos fragmentos se encontra a cerca de 35,78 metros de seu vizinho.

Tabela 14 — Métricas relativas à Distância do Vizinho mais próximo da BHRGM - RJ

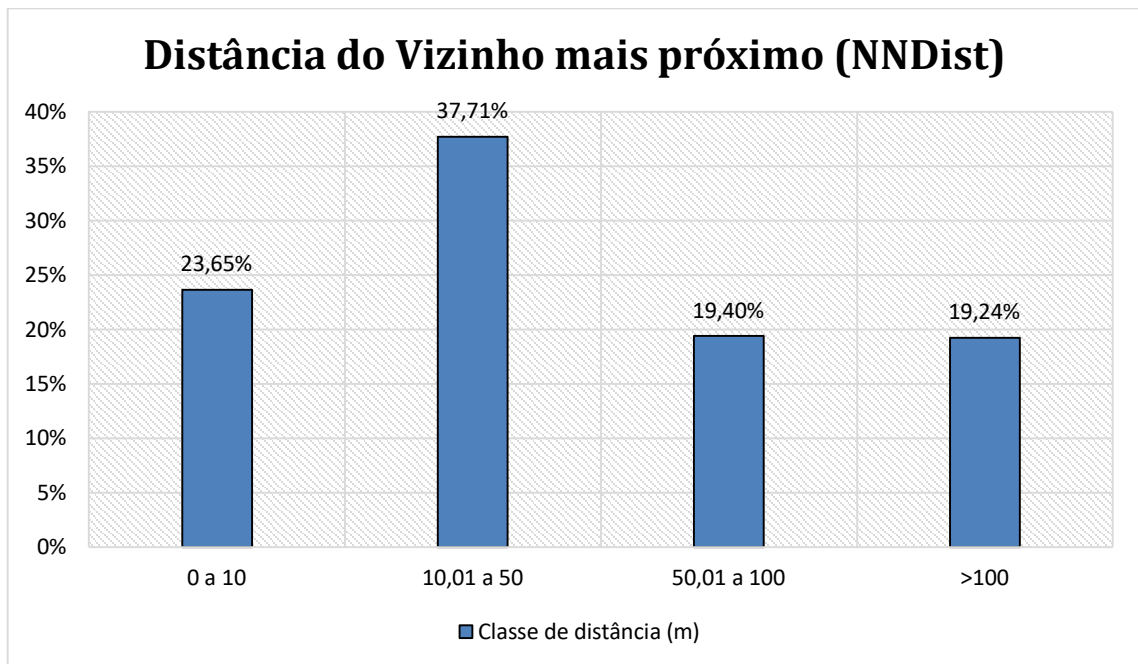
Métrica	Valor (m)
Distância ao vizinho mais próximo – Valor médio	59,46
Distância ao vizinho mais próximo - Mediana	35,78
Distância ao vizinho mais próximo – Desvio padrão	69,90

Fonte: O autor, 2020.

Essa métrica indica que os fragmentos da BHRGM possuem um baixo grau de isolamento, se comparada com o estudo de Pirovani (2010), que mostrou uma distância entre todos os tamanhos de fragmentos de 793,5 metros. No entanto, este valor pode ser devido ao fato da área de estudo de Pirovani (2010) possuir maior área que a BHRGM.

Conforme demonstra a Figura 26 e 27, é claro o predomínio (61,36%) dos fragmentos que estão situados a menos de 50 metros do vizinho mais próximo. Para 80,76% dos fragmentos, verifica-se a presença de outro num raio de 100 metros, e 19,24% dos fragmentos apresentam isolamento superior a tal distância. Tal proximidade afeta positivamente os fluxos bióticos e abióticos.

Figura 26 - Gráfico de classes segundo a distância do vizinho mais próximo (NNDist) dos fragmentos florestais da BHRGM - RJ



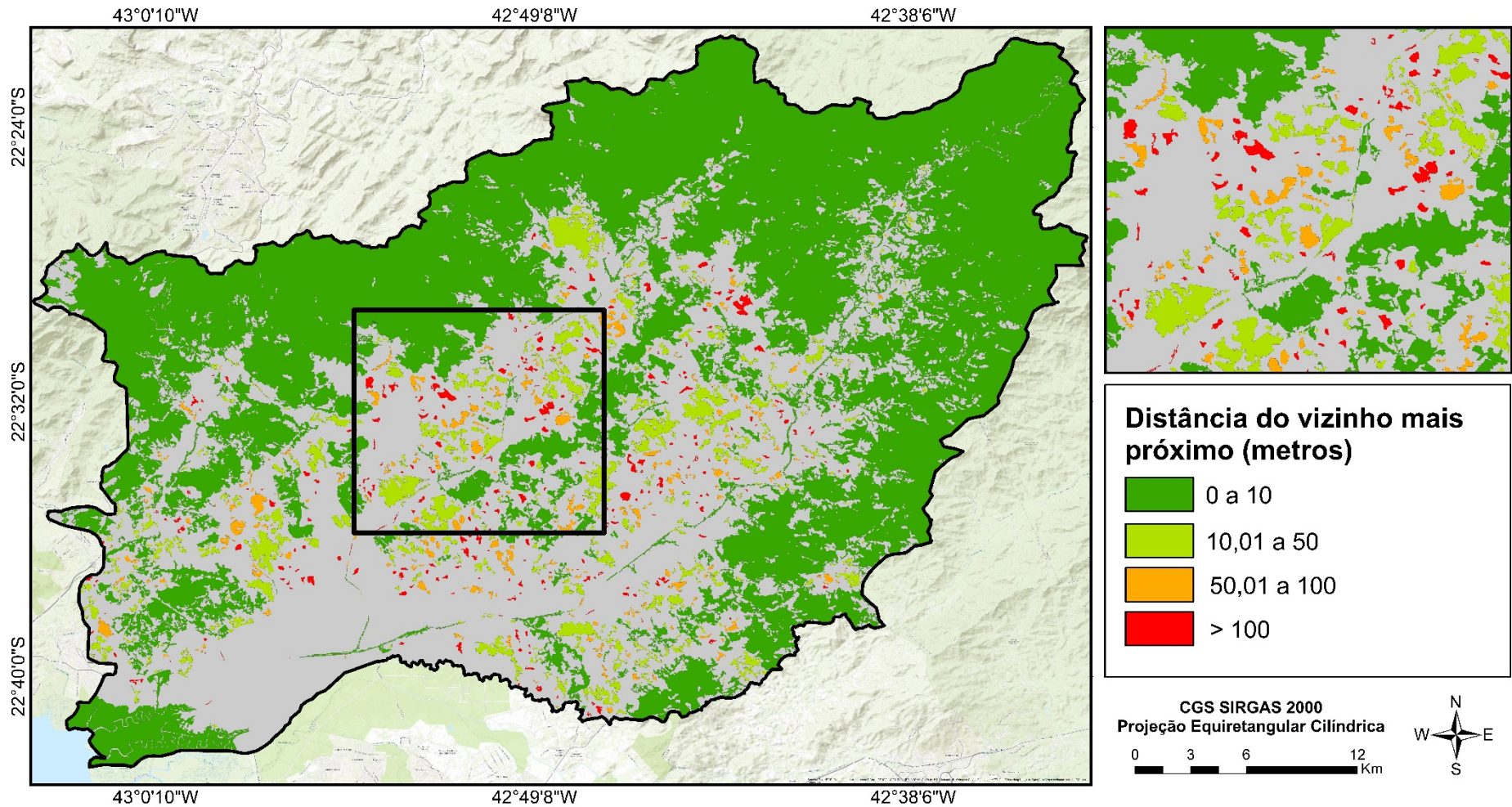
Fonte: O autor, 2020.

Os fragmentos cujo isolamento está acima de 100 metros estão imersos em porções da matriz caracterizadas pelo agropasto. O isolamento entre os remanescentes florestais indica a redução nos processos ecológicos do meio, além de intensificar os efeitos da fragmentação. Logo, esses fragmentos encontram-se em áreas em que o processo de fragmentação está ocorrendo com maior intensidade, em áreas principalmente referentes ao domínio de planícies.

Inversamente, os fragmentos mais conectados são aqueles que se apresentam como um bloco contínuo ou próximos a eles. Estão situados, principalmente, em áreas com cotas altimétricas mais elevadas, como os domínios de morrotes, morros e montanhas.

Os resultados dessas métricas de paisagem (tamanho e distância do vizinho mais próximo) foram utilizadas para a definição de áreas prioritárias para conservação e recuperação. Essa temática será abordada no capítulo 5. 4.

Figura 27 - Mapa de classes segundo a classificação da distância do vizinho mais próximo (NNDist) dos fragmentos florestais da BHRGM - RJ



Fonte: O autor, 2020.

5.2.1 Análise do enfoque estrutural da cobertura vegetal por domínios geomorfológicos

Quando os domínios geomorfológicos foram comparados em relação as métricas de área e número de fragmentos (Tabela 15 e Figura 28), os resultados demonstraram que a área total de remanescentes (CA) do domínio de montanhas é a maior, ocupando 47.535,1 hectares. Por conta disso, o domínio de montanhas apresenta o maior tamanho médio de fragmentos, apesar de possuir o menor quantitativo, apenas 71. Cabe ressaltar que a quantidade de fragmentos, relativas à métrica de seu número, possui um valor maior quando analisados para os domínios geomorfológicos, devido a limitações do software, que divide alguns fragmentos de acordo com a delimitação dos domínios geomorfológicos.

Quanto ao número de manchas (NumP), o domínio de planícies é significativamente o maior, com 1.239 fragmentos. Apresenta uma alta área total de remanescentes florestais (CA) — devido principalmente à grande extensão do domínio de planícies em relação aos demais domínios —, e tamanho médio de fragmentos de 13,42 hectares, somente maior que os domínios de colinas e morrotes.

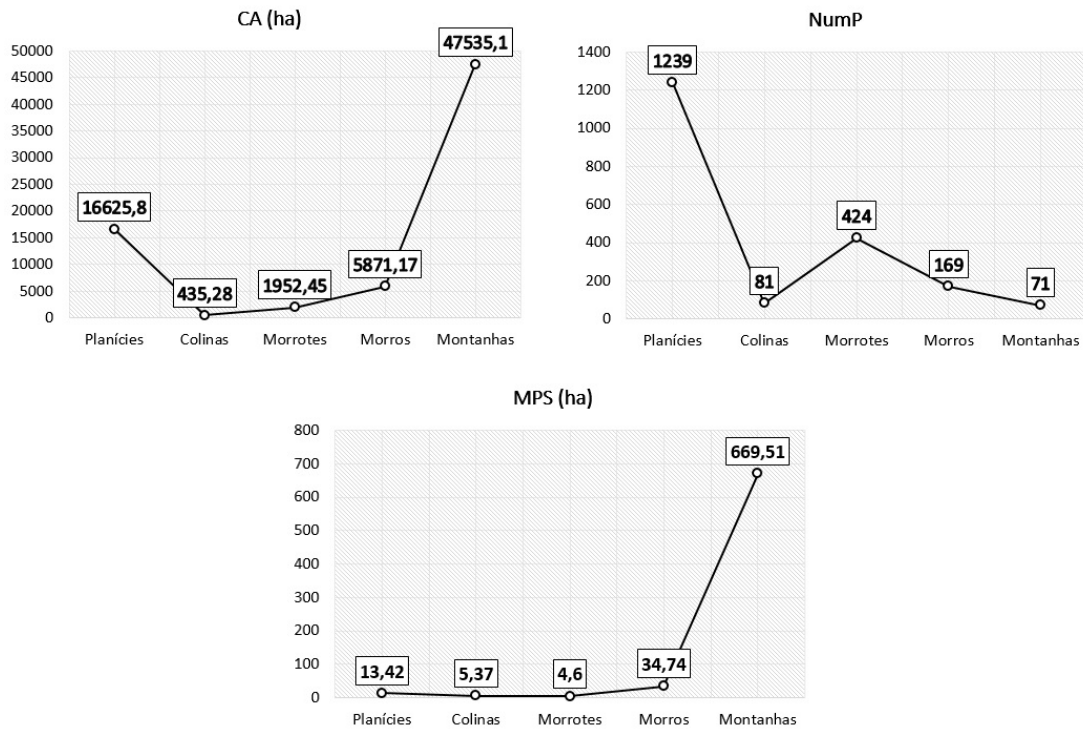
Tabela 15 - Métricas relativas a área e o número de manchas dos domínios da BHRGM - RJ

Domínios	CA (ha)	NP	MPS (ha)
Planícies	16.625,8	1.239	13,42
Colinas	435,28	81	5,37
Morrotes	1.952,45	424	4,6
Morros	5.871,17	169	34,74
Montanhas	47.535,1	71	669,41

Legenda: CA = área total da classe; NP = Número de fragmentos; MPS = tamanho médio do fragmento.

Fonte: O autor, 2020.

Figura 28 — Métricas relativas à área e número de manchas para os domínios geomorfológicos da BHRGM - RJ



Fonte: O autor, 2020.

Dessa forma, foi possível interpretar que o domínio de montanhas concentra os maiores fragmentos e tem uma cobertura de área total maior que os demais. Inversamente, o domínio de planícies tem um número significativamente maior de fragmentos (NumP) que os outros, e como esta tendência não se repete na cobertura da área total (CA), é aceitável considerar esse domínio como sendo mais fragmentado que os demais, quando consideradas estas métricas. Vale ressaltar também o domínio de morrotes, que apresenta uma razoável quantidade de fragmentos (424), e o menor tamanho médio, apenas 4,6 hectares. Somado ao fato de possuir um baixo valor de área total de remanescentes florestais (CA) — maior somente que o domínio de colinas, que se explica devido à pequena área de colinas na BHRGM —, indica uma grande fragmentação nesse domínio.

Quando os domínios geomorfológicos foram comparados baseada nas métricas relativas à borda (Tabela 16 e Figura 29), os resultados demonstram que o domínio de planícies tem a soma total de bordas (TE) significativamente maior que os demais. O domínio de montanhas possui o segundo maior somatório de bordas. No entanto, esse número não necessariamente reflete a realidade, pois devido a limitações no processo de geração das métricas, as áreas limítrofes da BHRGM foram consideradas como borda. Soma-se a isso, o

fato de o domínio de montanhas localizar-se em um grande remanescente contínuo de vegetação, o que aumenta a borda. Com relação à densidade de borda (ED), destaca-se o domínio de morrotes, que apresenta o segundo maior valor, o que indica, em termos relativos, que os fragmentos florestais inseridos nos morrotes sofrem bastante com o efeito de borda. Outro destaque é o domínio de planícies, que também possuem uma densidade alta, com seus fragmentos florestais possuindo muito área de borda. O domínio de montanhas possui a densidade de borda menor que os outros, e o tamanho médio das bordas (MPE) significativamente maior que os demais grupos.

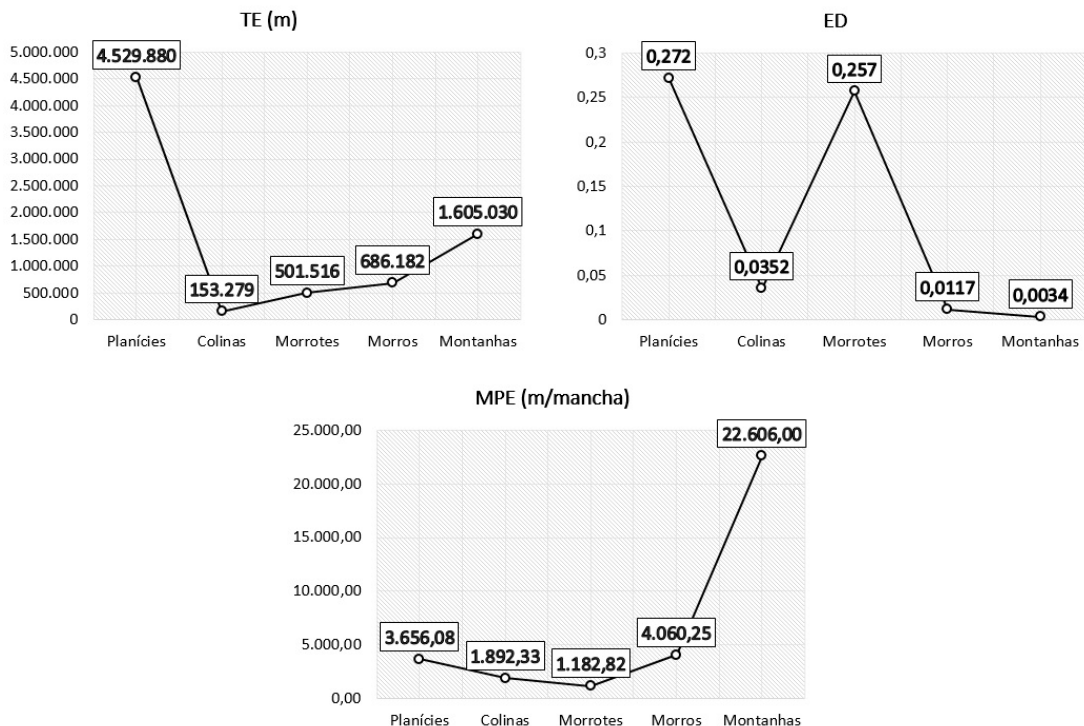
Tabela 16 — Métricas relativas a borda dos domínios da BHRGM - RJ

Domínios	TE (m)	ED	MPE (m/mancha)
Planícies	4.529.880	0,272	3.656,08
Colinas	153.279	0,0352	1.892,33
Morrotes	501.516	0,257	1.182,82
Morros	686.182	0,0117	4.060,25
Montanhas	1.605.030	0,0034	22.606

Legenda: TE = Perímetro das manchas (total de borda); ED = Densidade das bodas; MPE = Tamanho médio das bordas.

Fonte: O autor, 2020.

Figura 29 — Métricas relativas a borda para os domínios geomorfológicos da BHRGM - RJ



Fonte: O autor, 2020.

Na métrica de tamanho médio da borda (MPE), destacam-se os remanescentes do domínio de montanhas, com um valor significativamente maior que os demais, com cada fragmento possuindo 22.606 metros de borda. Esse valor se explica pelas limitações anteriormente citadas, somado ao grande tamanho dos fragmentos localizados do domínio de montanhas. Para além disso, os domínios de morros e planícies também possuem valores elevados, indicando que cada fragmento em morros e planícies apresentam 4.060,25 metros e 3.656,08 metros, respectivamente, de área de borda.

Estes resultados corroboram com a indicação de uma maior fragmentação nos domínios de planícies, colinas e morrotes. O de planícies tem um maior número de fragmentos, porém de tamanho médio reduzido, o que resulta em um somatório de borda maior e uma alta densidade de borda. Já o de colinas apresenta o menor quantitativo de área total de remanescentes florestais e de número de fragmentos, com um baixo tamanho médio. O de morrotes, por sua vez, apresenta o menor tamanho médio de fragmento, somado ao alto valor de densidade de borda (que indica que seus fragmentos sofrem bastante com o efeito de borda). Ao mesmo tempo, esses resultados também reforçam a ideia de que o domínio de montanhas tem um menor número de fragmentos, porém de tamanho grande, demonstrando maior conectividade.

Paras as métricas relacionadas à forma (Tabela 17 e Figura 30), o domínio de planícies possui o maior índice médio de forma (MSI), o que indica que os fragmentos inseridos nas planícies possuem formas mais complexas e irregulares. Essa métrica complementa à métrica de total de bordas, ou seja, uma maior quantidade de área de borda e uma alta densidade, resultando em formas mais complexas.

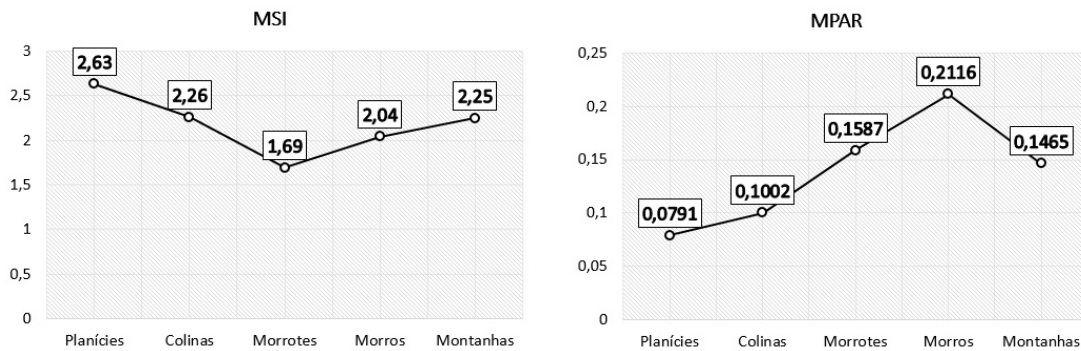
Tabela 17 — Métricas relativa a forma dos domínios da BHRGM - RJ

Domínios	MSI	MPAR
Planícies	2,63	0,0791
Colinas	2,26	0,1002
Morrotes	1,69	0,1587
Morros	2,04	0,2116
Montanhas	2,25	0,1465

Legenda: MSI = índice médio de forma; MPAR = razão média do perímetro pela área.

Fonte: O autor, 2020.

Figura 30 - Métricas relativas à forma para os domínios geomorfológicos da BHRGM - RJ



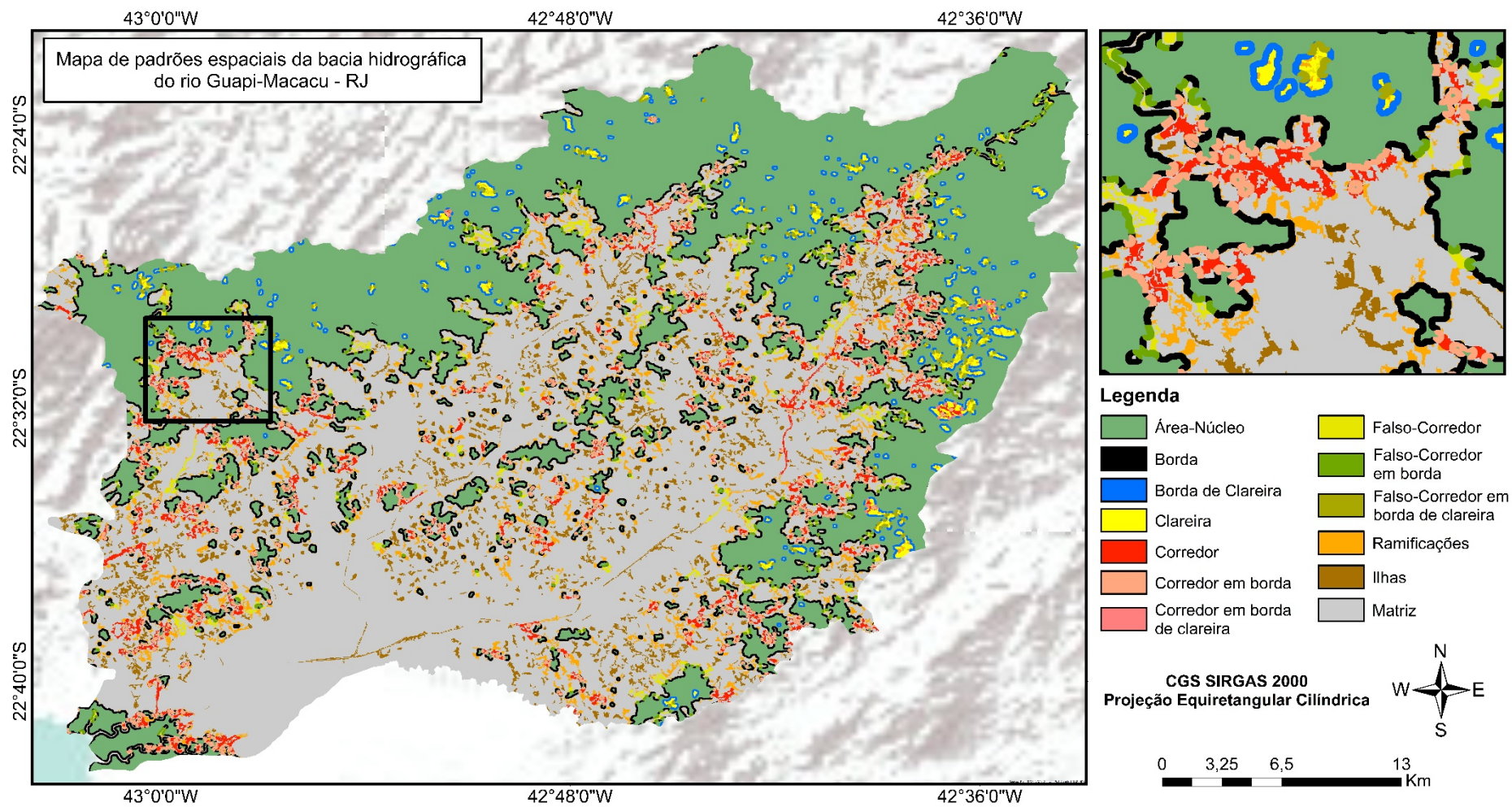
Fonte: O autor, 2020.

Destaca-se também o domínio de montanhas, que apresentam um valor alto para o índice médio de forma, devido principalmente ao fato de possuir fragmentos muito grandes, com bastante reentrâncias. Este resultado também pode ser relacionado com o fato de o domínio de montanhas estarem em áreas de relevo acidentado, logo, como muitos dos grandes remanescentes seguem uma determinada cota altimétrica como limite, a forma destas áreas é complexa e, conseqüentemente, isso aumenta o comprimento de borda destes remanescentes. Ressalta-se ainda o domínio de morrotes, que possui o menor índice médio de forma, ou seja, os fragmentos inseridos nos morrotes se aproximam mais do formato circular.

5.3 Análise do enfoque funcional da cobertura vegetal

A análise da configuração espacial da paisagem, a partir da sua classificação morfológica, permitiu a identificação e classificação dos seguintes padrões espaciais ou elementos da cobertura vegetal: matriz, áreas-núcleo, bordas, corredores, corredores em borda, corredores em borda de clareira, falsos-corredores, falso-corredores em borda, falso-corredores em bordas de clareira, ramificações, ilhas, clareiras e bordas de clareira, conforme expostos na Figura 31 e Tabela 18. Essa classificação foi realizada a partir do mapeamento de uso e cobertura da terra, utilizando a classe de remanescentes florestais. O processo foi realizado no software *GuidosToolbox*, e gerou resultados que podem subsidiar análises espaciais e quantitativas na área de estudo.

Figura 31 - Mapa de padrões espaciais dos fragmentos florestais da BHRGM – RJ



Fonte: O autor, 2020.

Tabela 18 – Padrões espaciais dos fragmentos florestais da BHRGM - RJ

Classe	Km²	%
Área-Núcleo	443,42	34,09
Borda	83,41	6,41
Borda de Clareira	20,21	1,55
Clareira	8,44	0,65
Corredor	26,35	2,03
Corredor em borda	30,81	2,37
Corredor em borda de clareira	0,82	0,06
Falso Corredor	13,07	1,01
Falso Corredor em borda	15,24	1,17
Falso Corredor em borda de clareira	5,41	0,42
Ramificações	46,41	3,57
Ilhas	38,75	2,98
Matriz	568,3	43,69
Total	1300,64	100

Fonte: O autor, 2020.

A análise morfológica evidenciou que a matriz corresponde a 43,69% da paisagem, ou 568,3km². É caracterizada por intervenções típicas da atividade agropecuária, como criação de gado e cultivos agrícolas, além de áreas de pastagens, com vegetação de gramíneas. Tais atividades geram variações temporais cíclicas na matriz, relacionadas aos períodos de cultivo agrícola, variações essas que possivelmente afetam os fluxos entre os demais elementos componentes da paisagem.

Identificou-se também que 55,67%, ou 724,20km², da área total da paisagem da BHRGM, consiste em remanescentes florestais, que incluem as classes de floresta e mangues do mapeamento de uso e cobertura da terra.

Desse total, as áreas-núcleo, remanescentes florestais contíguos de maior extensão, é a que possui maior área, com 443,42km², ou 34,09% da área de remanescentes. Considerando a borda como a faixa de 100 metros tomados a partir do limite externo do fragmento em direção ao seu interior, 83,41km² (6,41%) compõem essa faixa e estão, portanto, sujeitos aos efeitos ecológicos de transição com a matriz.

As ramificações, faixas que se estendem do fragmento sem se conectarem a outro, ocupam 46,41km², ou 3,57% da área de remanescentes. Os padrões de ilhas, caracterizados como fragmentos de menor diâmetro e extensão territorial, ocupam 2,98% da área total da paisagem da BHRGM, com 38,75km².

Em seguida, há dois tipos de corredores, os corredores em áreas de borda, que unem duas áreas de borda, e que ocupa 30,81km², ou 2,37%, e corredores, padrão espacial de remanescente que une dois remanescentes florestais diferentes, que ocupa 26,35km², ou 2,03%. Há ainda uma terceira classe de corredor, que é o corredor em bordas de clareira, que unem duas áreas de borda de clareira, e que ocupa 0,82km², ou 0,06%. Somando-se as três classes de corredores, a bacia apresenta 57,98km², o que representa 4,46% da área dos remanescentes florestais da bacia. Verifica-se uma correspondência entre o delineamento de vários corredores e o traçado da rede hidrográfica da paisagem, principalmente em cotas altimétricas mais elevadas. Essa correspondência vai deixando de existir, conforme a aproximação com o domínio de planícies.

Os padrões de falsos corredores também possuem três classes – falsos corredores, que unem dois pontos de um mesmo fragmento; falsos corredores em áreas de borda, que unem dois pontos de uma mesma área de borda; e falsos corredores em bordas de clareira, unindo dois pontos de uma mesma área de borda de clareira. Juntos, os falsos corredores ocupam 2,6% da área de remanescentes, com 33,72km².

Das classes com menos ocorrência, há os padrões de bordas de clareira, que ocupa 20,21km², ou 1,55% da área de remanescentes florestais, e o de clareiras, com 0,65%, compreendendo 8,44km².

5.3.1 Análise do enfoque funcional da cobertura vegetal por domínios geomorfológicos

A totalidade da área dos remanescentes florestais foi analisada por recortes de domínios geomorfológicos, a partir de mapas e tabelas, permitindo a visualização dos contrastes quantitativos e da distribuição dos padrões espaciais dos remanescentes florestais. Para efeitos de análise, as três classes de Corredor foram agrupadas, assim como as três classes de Falso Corredor.

Referente ao domínio de planícies (Tabela 19 e Figura 32), o padrão de área-núcleo, que corresponde aos remanescentes florestais que apresentam maior contiguidade espacial, ocupa 34,25km², havendo ocorrência maior somente no domínio de montanhas. Entretanto, esse valor não reflete o estado real da vegetação de boa parte da área de planície da bacia, pois ele é aumentado pela presença de grandes remanescentes de mangue, na área ocupada por essa vegetação na APA de Guapimirim (Figura 33b), ocupando cerca de 8,62km² dos

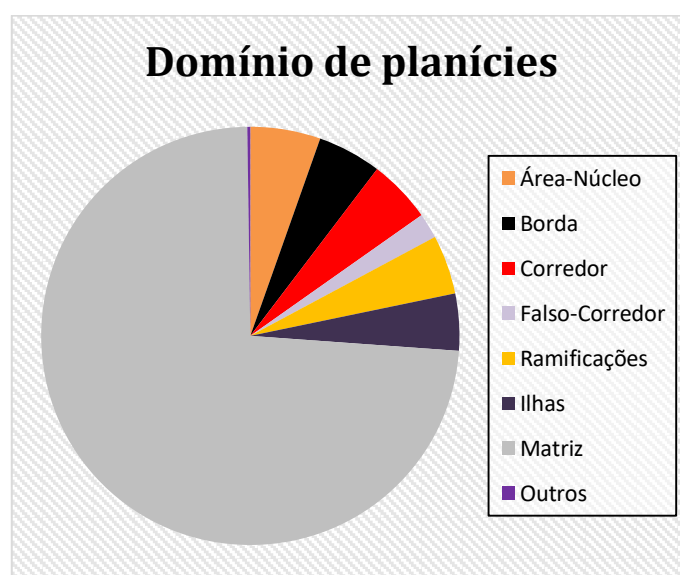
34,25km² do padrão de área-núcleo no domínio de planícies. No restante, as áreas-núcleo se encontram dispersas e em regiões próximas ao domínio de montanhas (Figura 33c). Em dados percentuais, a ocorrência do padrão de área-núcleo nas planícies, representando apenas cerca de 5,42%, somente é maior do que nas colinas, o que indica uma grande fragmentação da vegetação nesse domínio, pois há pouca presença de remanescentes florestais com contiguidade espacial.

Tabela 19 - Padrões espaciais dos fragmentos florestais para o domínio de planícies na BHRGM - RJ

Classe	Domínio de planícies	
	Km ²	%
Área-Núcleo	34,25	5,42
Borda	31,12	4,92
Borda de Clareira	0,92	0,14
Clareira	0,55	0,09
Corredor	30,87	4,88
Falso Corredor	12,39	1,96
Ramificações	28,88	4,57
Ilhas	27,83	4,4
Matriz	465,59	73,62
Total	632,40	100

Fonte: O autor, 2020.

Figura 32 - Gráfico do percentual de padrões espaciais dos fragmentos florestais para o domínio de planícies na BHRGM - RJ

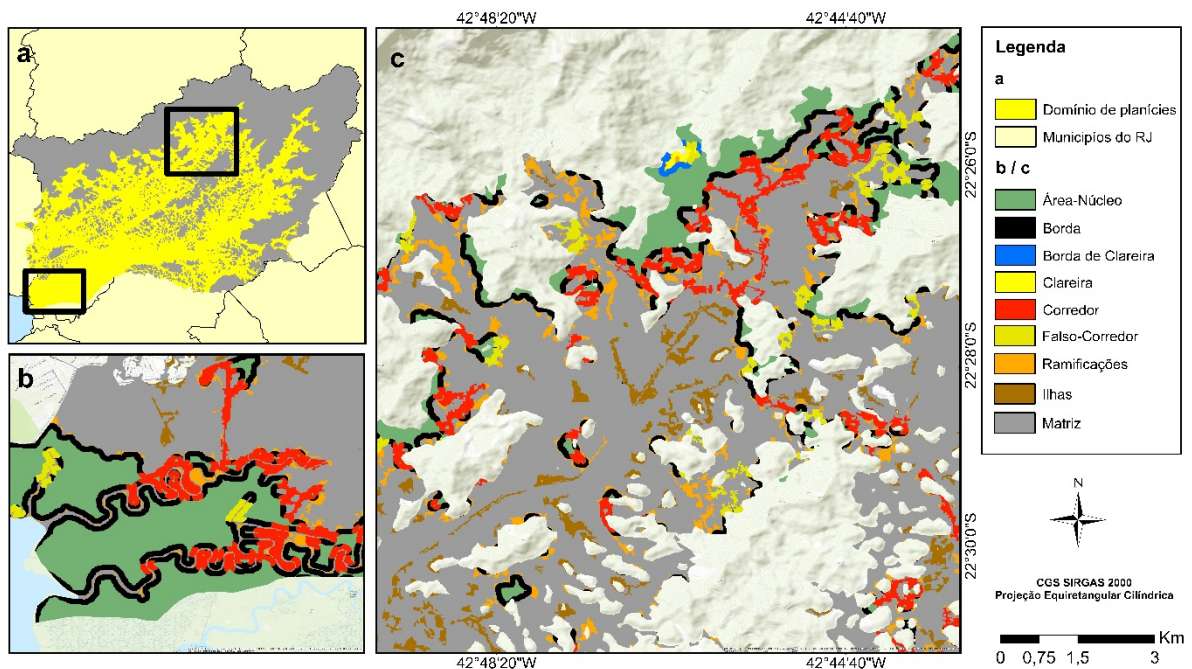


Fonte: O autor, 2020.

O padrão de ilhas, que corresponde aos fragmentos florestais de menor diâmetro e menor contiguidade espacial, ocupa cerca de 4,4% de fragmentos florestais no domínio das planícies, localizados principalmente na porção central da bacia. Apesar de as colinas e os morrotes apresentarem percentuais maiores de ocorrência do padrão de ilhas, em valores absolutos a planície é o domínio com maior incidência desse padrão, com 27,38km². Esse valor, em conjunto com os dados do padrão de área-núcleo, reflete a grande fragmentação a que foi submetida a vegetação natural nesta porção da bacia.

Novamente, em termos absolutos, o domínio de planícies apresenta o maior quantitativo de corredores, que ocupam 30,87km². Isso se deve à planície ter um grande quantitativo de fragmentos florestais com padrão de ilhas, ocorrendo ligações entre esses pequenos fragmentos, e ocasionando o aumento do quantitativo do padrão de corredores. Além disso, como foram agrupadas as três subclasses de corredor, há corredores ligando áreas de borda, como é o caso nas áreas de mangue na APA de Guapimirim (Figura 33b). Os corredores também estão presentes próximos às margens dos principais rios da BHRGM.

Figura 33 - Mapa de padrões espaciais dos fragmentos florestais para o domínio de planícies na BHRGM – RJ



Fonte: O autor, 2020.

As demais classes destacadas nas planícies são os padrões de borda e de ramificações, ocupando entre 4 e 5% de área. Além disso, os falsos corredores ocupam 12,39km² ou 1,96%. A área de matriz corresponde a 73,62% de área, sendo este valor somente menor — em termos percentuais — do que as colinas, porém bem maior do que todos os outros domínios em termos absolutos, ocupando 465,59km². Dos domínios geomorfológicos definidos para análise, as planícies são as que possuem maior área total, porém a que possui uma das menores áreas ocupadas por fragmentos florestais, em valores percentuais.

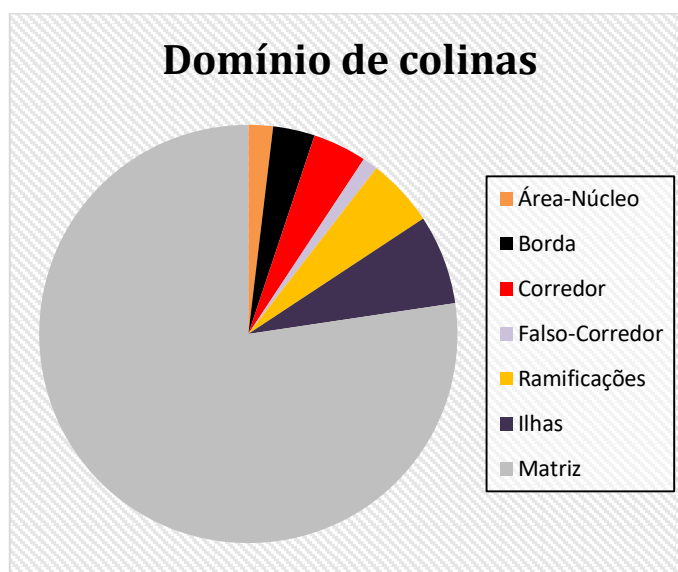
Com relação às colinas, apesar de apresentar uma área reduzida — se comparada aos demais domínio geomorfológicos —, seus dados quantitativos indicam uma grande fragmentação (Tabela 20 e Figura 34). Isso se reflete com o quantitativo da matriz, que ocupa 14,84km², correspondendo a 77,35% da área do domínio de colinas — o maior dentre os domínios geomorfológicos na bacia —, em conjunto com a grande ocorrência do padrão de ilhas. É importante mencionar também que o domínio de colinas se encontra praticamente todo fracionado, envolto principalmente pelo domínio de planícies.

Tabela 20 - Padrões espaciais dos fragmentos florestais para o domínio de colinas na BHRGM - RJ

Classe	Domínio de colinas	
	Km ²	%
Área-Núcleo	0,36	1,9
Borda	0,62	3,23
Borda de Clareira	–	–
Clareira	–	–
Corredor	0,8	4,16
Falso Corredor	0,23	1,18
Ramificações	1,01	5,25
Ilhas	1,33	6,93
Matriz	14,84	77,35
Total	19,19	100

Fonte: O autor, 2020.

Figura 34 - Gráfico do percentual de padrões espaciais dos fragmentos florestais para o domínio de colinas na BHRGM - RJ



Fonte: O autor, 2020.

Dentre as classes de padrões espaciais dos remanescentes florestais, a que apresenta maior ocorrência, como mencionado anteriormente, é o padrão de ilhas, ocupando 1,33km², que representa 6,93% da área de colinas. Além disso, também se destacam a ocorrência dos padrões de ramificações e de corredores, representando cerca de 5,25% e 4,16%, respectivamente. Ou seja, se destacam os padrões em que a vegetação se alonga para a parte externa dos remanescentes florestais com padrão de ilhas. As colinas quase não possuem áreas-núcleo, apenas 0,36km² ou 1,9%. As bordas possuem 0,62km² ou 3,23%, localizadas ao redor das poucas áreas-núcleo. Destaca-se também a inexistência de clareiras.

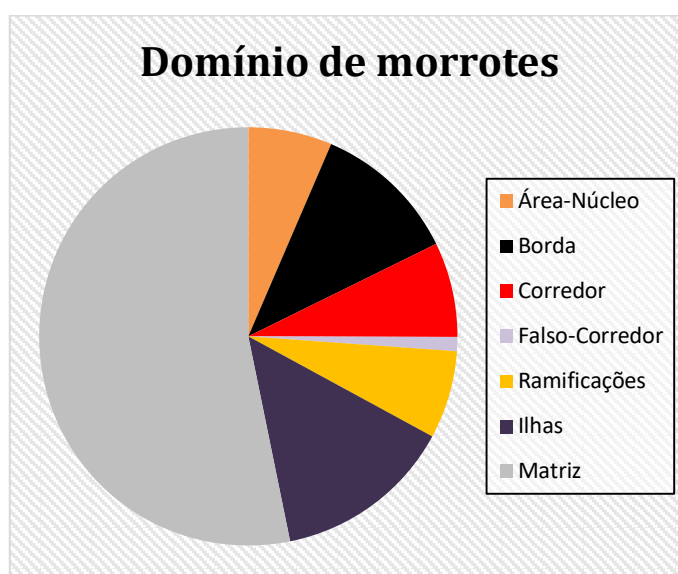
O domínio geomorfológico dos morrotes, assim como o de colinas, é praticamente todo fracionado espacialmente, envolto sobretudo pelo domínio de planícies. Dessa forma, os resultados quantitativos dos padrões espaciais dos remanescentes florestais para os morrotes também apresentam um panorama de fragmentação (Tabela 21 e Figura 35).

Tabela 21 - Padrões espaciais dos fragmentos florestais para o domínio de morrotes na BHRGM - RJ

Classe	Domínio de morrotes	
	Km ²	%
Área-Núcleo	2,7	6,48
Borda	4,68	11,24
Borda de Clareira	–	–
Clareira	–	–
Corredor	3,05	7,33
Falso Corredor	0,45	1,09
Ramificações	2,82	6,79
Ilhas	5,77	13,86
Matriz	22,14	53,21
Total	41,61	100

Fonte: O autor, 2020.

Figura 35 - Gráfico do percentual de padrões espaciais dos fragmentos florestais para o domínio de morrotes na BHRGM - RJ



Fonte: O autor, 2020.

Apesar do declínio da área de matriz — se comparado com os domínios de planícies e de colinas, o que por si só indica uma maior quantidade de remanescentes florestais —, os padrões dos remanescentes florestais que se destacam são as ilhas e as bordas, representando 13,86% e 11,24% da área de morrotes, respectivamente. Conforme destacado anteriormente, o

padrão de ilhas reflete o alto nível de segmentação e dispersão da vegetação natural, já que corresponde a fragmentos de menor diâmetro e menor contiguidade espacial.

Há ainda nos morrotes, uma quantidade razoável de áreas-núcleo, com 2,7km², ou 6,48%, percentual maior que nos domínios de planícies e colinas. Da mesma forma, em termos percentuais, em comparação aos domínios analisados anteriormente, os padrões de corredores (7,33%) e de ramificações (6,79%) também se destacam. Não há áreas de clareira nos morrotes.

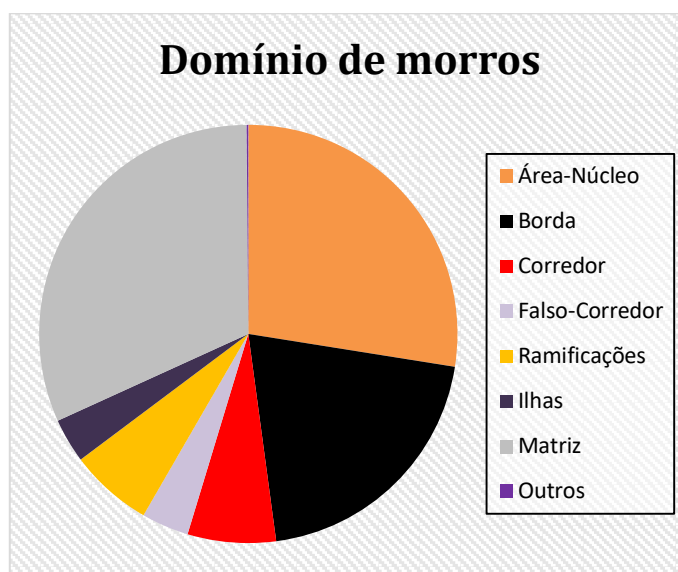
O domínio de morros se localiza na porção central da bacia. Em seu interior, os remanescentes florestais aumentam em quantidade, se comparados com os domínios analisados anteriormente (Tabela 22 e Figura 36).

Tabela 22 - Padrões espaciais dos fragmentos florestais para o domínio de morros na BHRGM - RJ

Classe	Domínio de morros	
	Km ²	%
Área-Núcleo	23,61	27,51
Borda	17,47	20,35
Borda de Clareira	0,11	0,12
Clareira	0,01	0,01
Corredor	5,86	6,83
Falso Corredor	3,14	3,66
Ramificações	5,5	6,41
Ilhas	2,97	3,45
Matriz	27,18	31,66
Total	85,85	100

Fonte: O autor, 2020.

Figura 36 - Gráfico do percentual de padrões espaciais dos fragmentos florestais para o domínio de morros na BHRGM - RJ



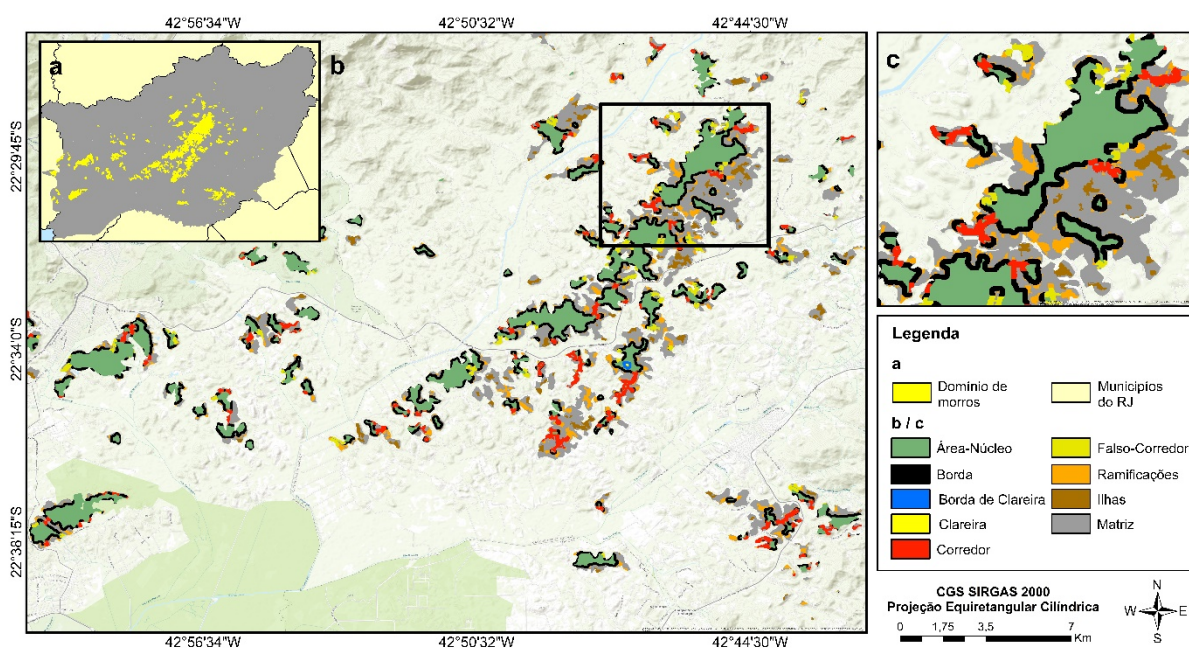
Fonte: O autor, 2020.

No domínio de morros, o padrão que apresenta maior quantidade é o de área-núcleo, ocupando 23,61km², ou 27,51% da área de morros. Isso reflete o aumento da quantidade de remanescentes florestais nesse domínio, além do aumento do tamanho dos fragmentos florestais, com mais áreas de maior contiguidade espacial. As bordas também se destacam, com 17,47km², ou 20,35%, por conta do tamanho elevado dos fragmentos (Figura 37), se comparado aos domínios analisados anteriormente.

Os padrões de corredores e ramificações — padrão que poderia ser um fator ecológico de grande eficácia se transformados em corredores através de iniciativas de reflorestamento —, representam 6,83% e 6,41%, respectivamente. Estes padrões se localizam ligando os fragmentos florestais maiores, ou “saindo” desses fragmentos.

Cabe destacar que a matriz se reduz, se comparada com a planície, colinas e morrotes, representando apenas 31,66% desse domínio. De forma contrária, há então o aumento da área dos remanescentes florestais, que estão organizados em formas de fragmentos maiores. As ilhas e os falsos corredores representam pouco mais de 3% cada um.

Figura 37 - Mapa de padrões espaciais dos fragmentos florestais para o domínio de morros na BHRGM – RJ



Fonte: O autor, 2020.

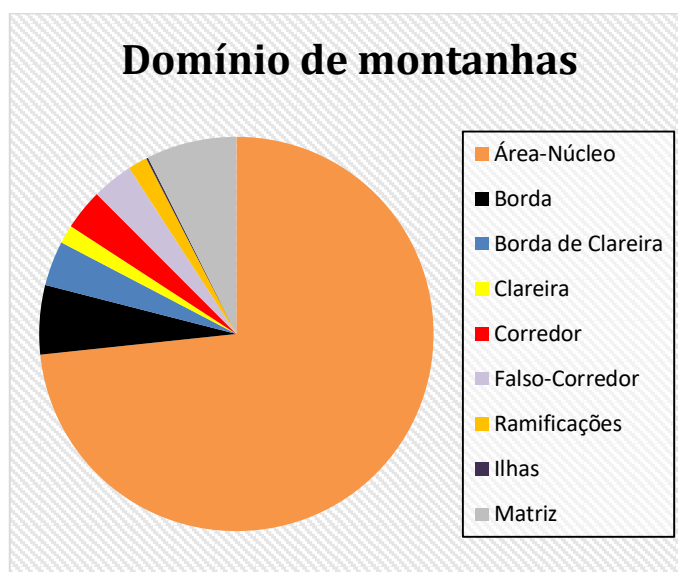
Exibindo uma quantidade de remanescentes florestais e um padrão espacial de remanescentes florestais consideravelmente distinto dos domínios geomorfológicos anteriores, o domínio de montanhas apresenta apenas 38,55km², ou 7,39%, de matriz, sendo o menor dentre todos os domínios geomorfológicos (Tabela 23 e Figura 38).

Tabela 23 - Padrões espaciais dos fragmentos florestais para o domínio de montanhas na BHRGM - RJ

Classe	Domínio de montanhas	
	Km ²	%
Área-Núcleo	382,49	73,33
Borda	29,53	5,66
Borda de Clareira	19,19	3,68
Clareira	7,87	1,51
Corredor	17,4	3,34
Falso Corredor	17,51	3,36
Ramificações	8,2	1,57
Ilhas	0,85	0,16
Matriz	38,55	7,39
Total	521,59	100

Fonte: O autor, 2020.

Figura 38 - Gráfico do percentual de padrões espaciais dos fragmentos florestais para o domínio de montanhas na BHRGM - RJ



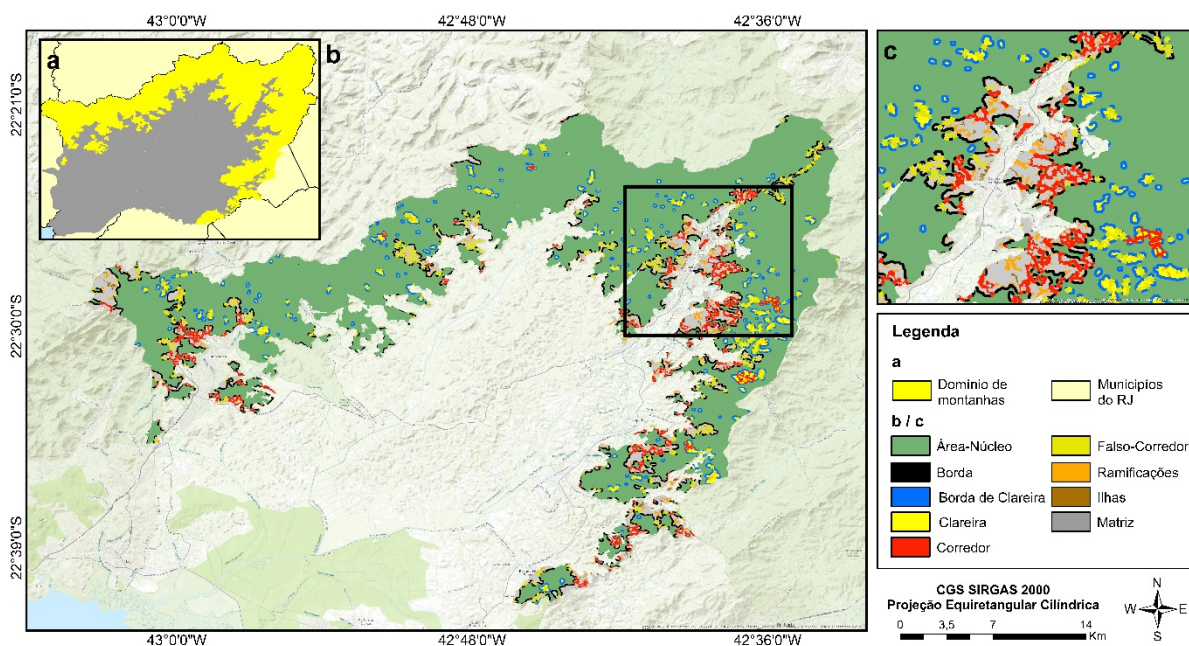
Fonte: O autor, 2020.

As áreas-núcleo apresentam grandes áreas nas montanhas, nas porções norte, noroeste e sudeste da bacia (Figura 39), ocupando 382,49km², representando cerca de 73,33% da área desse domínio. As áreas de borda apresentam a segunda maior ocorrência dentre os domínios geomorfológicos, em termos absolutos, ocupando 29,53km², e a terceira em termos percentuais, com 5,66%. Esses valores se justificam pela maior área ocupada pela vegetação, e pelo tamanho maior dos fragmentos nesse domínio.

Entre as áreas-núcleo, se encontram áreas de clareira — áreas desmatadas no interior das áreas núcleo —, padrão esse que tem no domínio de montanhas sua maior ocorrência, de 7,87km² ou 1,51%. As clareiras estão dispersas por todo o domínio de montanhas, e são possivelmente locais adequados para atividades de recuperação florestal, pois já estão envolvidos por área vegetada. Ao redor das clareiras, se situam as bordas de clareiras, que ocupam 19,19km², representando 3,68% do domínio de montanhas.

Os falsos corredores se destacam pelo seu valor absoluto, o maior dentre todos os domínios, com 17,51km², mesmo representando apenas 3,36% da área de montanhas. Da mesma forma, a classe de corredores apresenta a segunda maior área dentre os domínios geomorfológicos, ocupando 17,4km², mas representa somente 3,34%. Esse baixo valor representativo se deve principalmente pelo grande tamanho dos fragmentos.

Figura 39 - Mapa de padrões espaciais dos fragmentos florestais para o domínio de montanhas na BHRGM – RJ



Fonte: O autor, 2020.

Outro destaque é a pequena quantidade do padrão de ilhas, ocupando apenas 0,85km, ou 0,16%, o que reflete que nesta porção da bacia o padrão de fragmentos pequenos e dispersos não é tão extenso quanto os padrões de maior contiguidade espacial e função ecológica, como as áreas-núcleo e os corredores.

5.4 Definição de área prioritárias para conservação e recuperação

A proposta geral da pesquisa segue a análise da paisagem da BHRGM, sob os enfoques estrutural e funcional da cobertura vegetal, tendo em vista a conectividade e a fragmentação dos remanescentes florestais, assim como a avaliação da situação dos fragmentos nos domínios geomorfológicos. Para além disso, segue para a geração de produtos que forneçam subsídios ao planejamento ambiental, etapas concluídas até então. A tomada de decisão na área de estudo, a partir dos resultados gerados, pode envolver iniciativas de conservação (incluindo áreas já preservadas) ou de recuperação (reflorestamento), considerando áreas prioritárias.

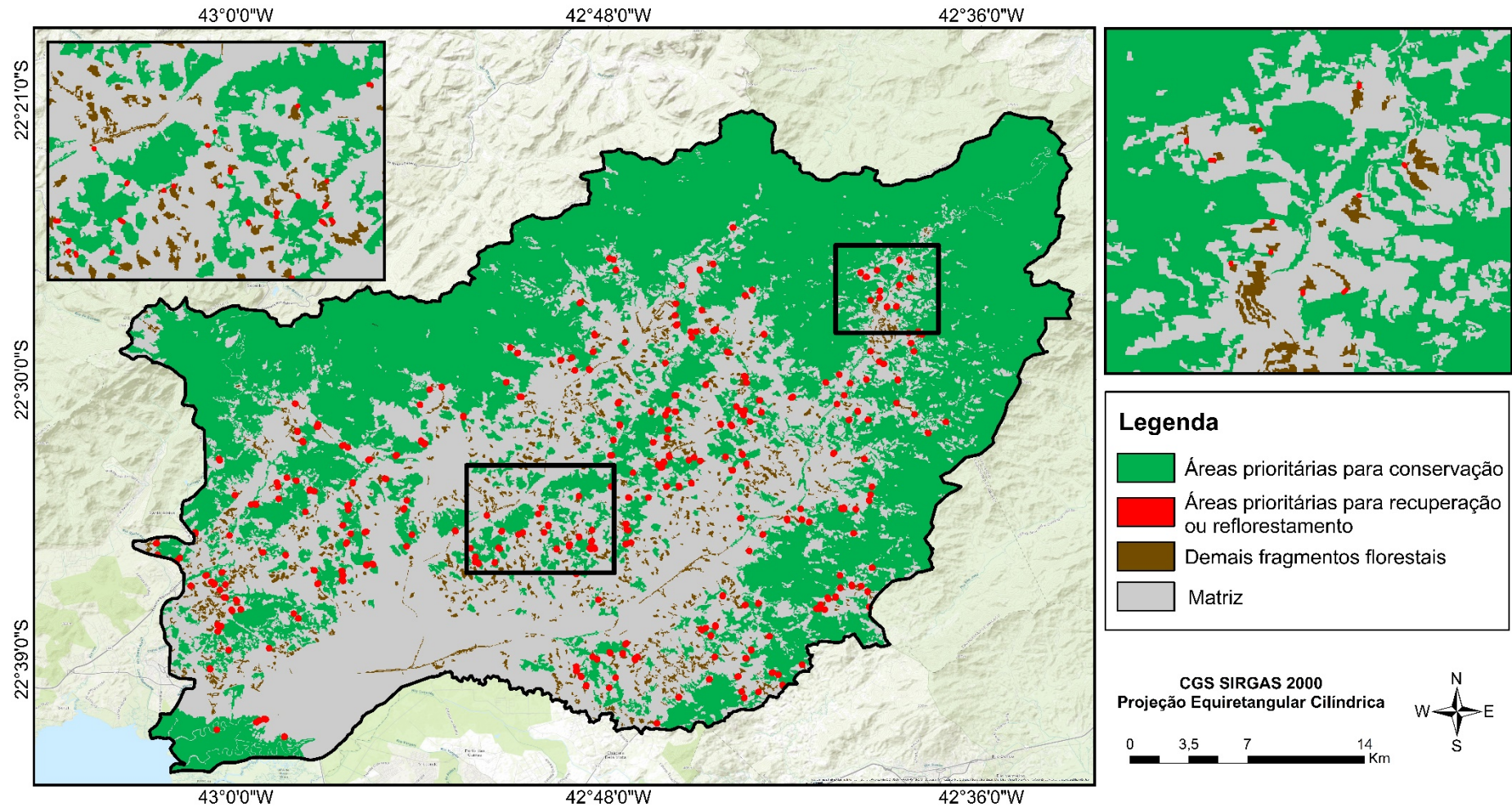
Diante dessas possibilidades, nesse capítulo foi elaborada uma iniciativa de definição de áreas prioritárias para conservação e recuperação, segundo parâmetros estruturais e funcionais.

Para a definição de áreas prioritárias para conservação, os parâmetros selecionados foram: sob a perspectiva estrutural, fragmentos com tamanho maior de 100 hectares (categorizados como médio — parte dessa classe —, grande e muito grande) e com distância do vizinho mais próximo inferior a 50 metros; sob a perspectiva funcional, fragmentos que possuem área-núcleo, ou que foram classificados como corredor e falso-corredor.

As conexões geradas pelo software *Conefor 2.6* serviram de base para a definição de áreas prioritárias para recuperação. Dentre as conexões geradas pelo software, foram definidas como prioritárias: sob a perspectiva estrutural, as conexões que ligariam as áreas prioritárias para conservação segundo o enfoque estrutural com outros fragmentos próximos, com o intuito de ligar fragmentos menores à fragmentos maiores; sob a perspectiva funcional, as conexões que ligariam corredores e falso-corredores a outros fragmentos próximos. Além disso, não foram consideradas as conexões em áreas de matriz que correspondem às áreas urbanas e afloramentos rochosos, pela limitação de reflorestamento nessas áreas.

As áreas de recuperação serviriam para aumentar a conectividade entre fragmentos florestais de forma mais eficaz, articulando fragmentos à blocos contínuos de floresta, ou ligando fragmentos à corredores e falso-corredores, que desempenham função importante na paisagem. A partir desses parâmetros, foi gerado um mapa, com as áreas prioritárias de conservação e recuperação (Figura 40).

Figura 40 — Mapa de áreas prioritárias para conservação e recuperação florestal da BHRGM – RJ



Fonte: O autor, 2020.

As áreas prioritárias para conservação somam 463 fragmentos, e correspondem a 68.465,75 hectares da BHRGM. De acordo com o mapa, essas áreas se concentram em domínios geomorfológicos com cotas altimétricas maiores, como os morrotes, morros e montanhas. Na porção sul da bacia, referente ao domínio de planícies, destaca-se as áreas de mangue. Cabe ressaltar que boa parte dessas áreas já se encontra em áreas de conservação ou em áreas de preservação permanente (APP).

As áreas indicadas para recuperação ou reflorestamento somam 284 conexões ou corredores. Essas conexões apresentam no máximo 100 metros de comprimento, e juntas, correspondem, a 10.867,43 metros, que é o que seria reflorestado, em termos de comprimento. Esse valor, no entanto, leva somente em consideração o comprimento dos corredores, e não a largura, devido às limitações no arquivo vetorial. Portanto, esse não é um valor real de área reflorestada, pois além do comprimento, é importante levar em consideração a largura dessas novas conexões, o que indica que a área reflorestada seria maior ainda. É importante salientar que, para além das áreas indicadas, é importante também a recuperação das áreas de unidades de conservação e áreas de preservação permanente (APP) presentes no interior da BHRGM, pois estas desempenham função essencial para a paisagem.

Cabe ressaltar que essas indicações de áreas são bastante gerais e baseadas somente segundo aspectos estruturais e funcionais dos remanescentes florestais. Para a real implementação das iniciativas, é necessária uma avaliação das características locais das áreas de maneira mais aprofundada. O arranjo espacial das propriedades rurais, as passagens de gados, os canais de drenagem artificiais construídos para escoamento hídrico, os níveis de ocupações antrópicas em geral, entre outras características sociobiofísicas, interferem na área pré-determinada para conservação ou recuperação.

Portanto, cabe destacar que a proposta deste tópico é, exclusivamente, ser um exemplo — utilizando alguns parâmetros específicos —, que tem a intenção de revelar as possibilidades dos produtos gerados na pesquisa, no que tange ao planejamento ambiental.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para além de uma análise quantitativa das características estruturais e funcionais da cobertura vegetal da BHRGM, a presente pesquisa propôs a geração de produtos que, se analisados de maneira integrada, tragam perspectivas e auxílios a tomada de decisões, envolvendo iniciativas de preservação e recuperação ambiental.

A revisão teórica proposta teve como objetivo um levantamento bibliográfico pertinente com o compromisso assumido nos objetivos da pesquisa, envolvendo a paisagem numa perspectiva geossistêmica, a bacia hidrográfica como uma unidade geossistêmica, a Geocologia das Paisagens, a importância e os enfoques de análises da cobertura vegetal, e as potencialidades do geoprocessamento e do sensoriamento remoto.

É importante ainda ressaltar a importância da metodologia adotada, com o uso de imagens do sensor Sentinel 2, disponibilizadas gratuitamente pela Agência Espacial Europeia (ESA), e que têm resoluções espaciais que variam entre 10, 20 e 60 metros nas suas 13 bandas, e resolução radiométrica de 12 bits. O emprego das cenas do sensor MSI, transportado pelo satélite Sentinel 2, apresentou resultados bastante positivos, atendendo satisfatoriamente aos objetivos traçados para este trabalho. Além disso, destaca-se a utilização dos índices adotados como descritores, que tornaram mais otimizado o processo de classificação, uma vez que reduziram o tempo e erro no processo de modelagem.

A utilização de técnicas de sensoriamento remoto para a construção dos mapas de uso e cobertura da Terra, com utilização de classificação orientada ao objeto, mostrou resultados muito mais satisfatórios que os métodos tradicionais, o que refletiu num menor esforço de edição dos mapas finais.

A validação apontou uma exatidão global de 87,66%, que pode ser considerada muito boa e que define uma concordância substancial entre as amostras do mapeamento gerado pela classificação GEOBIA e sua validação. Além disso, o índice Kappa apontou um resultado de 0,84 que é um valor excelente para mapeamentos temáticos e atestam uma classificação eficiente. Esses valores corroboram com o que foi apresentado em relação ao êxito obtido no processo de classificação.

A manipulação dos resultados do mapeamento de uso e cobertura da terra em ambientes SIG, como o *ArcGis* e suas extensões, o *GuidosToolbox* e o *Conefor 2.6*, tornou possível a geração de informações capazes de avaliar o grau de fragmentação e conectividade dos fragmentos florestais em toda a área de estudo.

A análise da paisagem, sob o enfoque estrutural e funcional da cobertura vegetal da BHRGM, tendo em vista a perspectiva da conectividade e fragmentação, resultaram em um perfil diferenciado de agregação da cobertura vegetal, evidenciando uma alta proporção de matriz no domínio de planícies, onde se concentra o uso agrícola e a pecuária, e por outro lado, remanescentes florestais maiores concentrados no domínio de montanhas, caracterizada por maiores altitude e declividade.

A análise morfológica de padrões espaciais dos remanescentes florestais corrobora com essa avaliação. Nos domínios de planícies, colinas e morrotes, percebe-se um avançado processo de fragmentação da cobertura vegetal, na medida em que evidencia pouca proporção de área-núcleo (5,42%, 1,9% e 6,48%, respectivamente); alta proporção de padrões de ilhas (4,4%, 6,93% e 13,86%, respectivamente); além de alta área de matriz (73,62%, 77,35% e 53,21%, respectivamente). De forma complementar, pode-se citar também o quantitativo de conectores e ramificações (11,41%, 10,54% e 15,21%, respectivamente), que possuem valores relativamente baixos (como possuem um alto índice de ilhas, para uma boa conectividade, o quantitativo de conectores deveria ser maior).

Inversamente, nos domínios de morros e montanhas, percebe-se uma maior conservação dos remanescentes florestais, a medida em que apresenta alta proporção de área-núcleo (27,51% e 73,33%, respectivamente); baixa proporção de ilhas (3,45% e 0,16%, respectivamente); e baixa área de matriz (31,66% e 7,39%, respectivamente). Com relação aos conectores e ramificações, o domínio de morros ainda apresenta a maior proporção, com 16,9%. O domínio de montanhas apresenta a menor proporção de conectores, 8,27%. No entanto, esse fato se deve principalmente ao alto percentual de área-núcleo, que gera faixas contínuas de vegetação, acarretando no baixo quantitativo de conectores.

As métricas da paisagem também indicam essa diferenciação de perfil de agregação da cobertura vegetal. Nos domínios de planícies, colinas e de morrotes, de menores altitudes e relevo plano ou suave, circundados por lavouras ou pastagens, concentram-se fragmentos de tamanho inferior a 10 hectares, e um alto quantitativo de fragmentos, que indicam uma maior fragmentação. Soma-se a isso, ao alto valor de densidade de borda, que sugere que os fragmentos inseridos nesses domínios apresentam muita área de borda por fragmento florestal.

Já nas áreas próximas com declive mais acentuado, concentram-se os fragmentos maiores e com formatos mais complexos. Nos domínios de morros e montanhas, encontram-se menor quantitativo de fragmentos florestais, e os fragmentos possuem tamanho médio alto (domínio de morros possui 34,74 hectares e domínio de montanhas possui 669,41 hectares).

Além disso, os domínios de morros e montanhas apresentam os menores valores de densidade de borda, ou seja, há pouca área de borda por fragmento, levando-se em consideração o seu tamanho. Essas métricas revelam uma maior conservação dos remanescentes florestais nesses domínios.

A partir desses dados, verificou-se que o relevo é fator crucial para o uso ou conservação da vegetação. Áreas mais planas ou onduladas suavemente são agricultáveis e mais difíceis de se manterem conservados, apresentando um alto grau de fragmentação. Áreas mais íngremes, com o uso restrito, a conservação é favorecida, apresentando uma alta conectividade.

Diante disso, considera-se que os materiais e os métodos utilizados alcançaram os objetivos inicialmente propostos. Cabe ressaltar ainda, que todos os produtos se encontram em ambiente SIG, permitindo o manuseio que objetivem futuras análises integradas. Sendo assim, a pesquisa alcançou seus objetivos, propondo as possibilidades e variedades de análises de remanescentes florestais, sob os enfoques estrutural e funcional, que podem fornecer auxílio para a tomada de decisão, dentro de uma perspectiva geossistêmica da paisagem.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA ESPACIAL EUROPEIA (ESA). Resolution and Swath. Disponível em: <<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/instrument-payload/resolution-and-swath>>. Acesso em: 10 de maio, 2019.
- ANTUNES, M. A. H.; GLERIANI, J. M.; DEBIASI, P. Atmospheric effects on vegetation indices of TM and ETM+ images from a tropical region using the 6S model. In: IEEE IGARSS 2012, 32, 2012, Munich. **Proceedings of the IEEE IGARSS 2012**, Munich: [s. n.], 2012. p. 6549-6552.
- ARGENTO, M. S. F. Mapeamento geomorfológico. In: **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B (Org.). 13. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. p.365-392.
- AUGUSTO, R. C. **Mapeamento Geomorfológico e análise da distribuição dos remanescentes florestais na bacia hidrográfica do rio Caceribu – RJ**. 2016. 122f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, São Gonçalo, RJ, 2016.
- AUGUSTO, R. C.; SEABRA, V. S. Mapeamento dos domínios geomorfológicos da bacia hidrográfica do rio Caceribu - RJ. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 69, n. 2, p. 315-236, fev. 2017.
- BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento Remoto da dinâmica de circulação da água do sistema planície de Curai/Rio Amazonas**. 2005. 286p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 2005 apud NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 4ª ed. São Paulo: Blucher, 2010.
- BARROS, F. A. **Efeito de borda em fragmentos de Floresta Montana, Nova-Friburgo – RJ**. 2006. 112f. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2006.
- BECKER, F. G. Aplicações de sistemas de informação geográfica em ecologia e manejo de bacias hidrográficas. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2008. p. 91-110.
- BENAVIDES, Z. C. et al. **Consumo e abastecimento de água nas bacias hidrográficas dos rios Guapi-Macacu e Caceribu, RJ**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.
- BERTALANFFY, L. **Teoria Geral dos Sistemas**. Tradução de F. M. Guimarães. Petrópolis: Vozes. [1973] (1901).
- BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global. Esboço Metodológico. **RA'E GA**, Curitiba, n. 8, p. 141-152. [2004] (1972).

BEZERRA, C. G. **Estudo da fragmentação florestal e ecologia da paisagem na sub-bacia do Córrego Horizonte, Alegre, ES**. 2010. 55f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, 2010.

BLASCHKE, T. Object based image analysis for remotes sensing. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, n. 65, Austria: [s. n.], 2010. p. 2-16.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; MEDEIROS, J. S. Fundamentos epistemológicos da ciência da geoinformação. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. p. 127-142.

CÂMARA, G. Anatomia de sistemas de informações geográficas: visão atual e perspectivas de evolução. In: ASSAD, E. SANO, E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Brasília, DF: Embrapa, 1993. p. 15-35.

CAMPOS, H. L. Gestão de bacia hidrográfica: pressupostos básicos. In: SÁ, A. J.; CORRÊA, A. C. B. **Regionalização e análise regional: perspectivas e abordagens contemporâneas**. Recife: Editora Universitária, 2006. p. 91-111.

CASIMIRO, P. C. Estrutura, composição e configuração da paisagem: conceitos e princípios para a sua quantificação no âmbito da ecologia da paisagem. **Revista Portuguesa de Estudos Regionais**, Coimbra, n. 20, p. 75-99. 2009.

CASSIANO, C. C. **O papel dos remanescentes florestais na manutenção da qualidade da água em microbacias agrícolas**. 2013. 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2013.

CASTRO, D. **Gestão Ambiental: aspectos técnico-científicos e políticos-institucionais**. Caso Região dos Lagos, RJ. 1995. 140f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1995.

CAVALCANTI, L. C. S. **Cartografia de Paisagens: fundamentos**. São Paulo: Oficina de textos, 2014.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo. Edgard Bücher, 1999.

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. In: GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B (Org.). **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. 13. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. p.415-436.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B (Org.). **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. 13. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. p. 93-148.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the Accuracy of Remote Sensed Data: Principle and Practices**. Lewis Publishers. New York, 1999.

CONSÓRCIO ECOLOGUS-AGRAR. **Plano diretor de recursos hídricos da região hidrográfica da Baía de Guanabara**. Relatório Final. Rio de Janeiro, 2005 apud BENAVIDES, Z. C. et al. **Consumo e abastecimento de água nas bacias hidrográficas dos rios Guapi-Macacu e Caceribu, RJ**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

COSTA, H. **Subsídios para gestão dos recursos hídricos das bacias hidrográficas dos Rios Macacu, São João, Macaé e Macabu**. Rio de Janeiro: SEMA, 1999 apud BENAVIDES, Z. C. et al. **Consumo e abastecimento de água nas bacias hidrográficas dos rios Guapi-Macacu e Caceribu, RJ**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

CRUZ, C. B. M. et al. Classificação orientada a objetos no mapeamento dos remanescentes da cobertura vegetal do bioma Mata Atlântica, na escala 1:250.000. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, 2007, Florianópolis. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis: INPE, 2007. p. 5691-5698.

CRUZ, C. B. M. et al. Classificação Orientada a Objetos na Geração do Mapa de Uso e Cobertura da Terra do estado do Rio de Janeiro. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, Natal. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal: INPE, 2009. p. 7789-7796.

CRUZ, C.; MADUREIRA, H.; MARQUEZ, J. Análise espacial e estudo da fragmentação da Paisagem da Arboreira. **Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, Coimbra, n. 4, p. 57-82, dez. 2013.

DANTAS, M. E. et al. **Geomorfologia das bacias dos rios Guapi-Macacu e Caceribu - rêncoavo da Baía de Guanabara**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2012.

DEFINIENS. The Principles of Definiens Cognition Network Technology. Disponível em: <http://earth.definiens.com/learn/technology>. Acesso em janeiro de 2010.

FERNANDES, M. C. Discussões conceituais e metodológicas do uso de geoprocessamento em análises geoecológicas. In: GOMES, P. C. C.; BICALHO, A. M. S. M. (Org.). **Questões metodológicas e novas temáticas na pesquisa geográfica**. 1. ed. Rio de Janeiro: Publit, 2009. p.280-299.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. **Landscape Ecology**. New York: John Wiley and Sons Ltd. 1986.

FORMAN, R. T. T. Some general principles of landscape and regional ecology. **Landscape Ecology**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 133-142, 1995.

FRANÇA, A. F.; TAVARES JUNIOR, J. R.; MOREIRA FILHO, J. C. C. Índices NDVI, NDWI e NDBI como ferramentas ao mapeamento temático do entorno da lagoa olho d'água, em Jaboatão dos Guararapes-PE. In: IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 4, 2012, Recife. **Anais do IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, Recife, PE: [s. n.], 2012. p. 1-9.

FREITAS, L. E. et al. **Atlas Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Nova Tríade do Brasil Ltda, 2015.

GALPARSORO, L. U.; FÉRNANDEZ, S. P. Medidas de concordância: el índice Kappa
GREGORY, K. J. **A Natureza da Geografia Física**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992.

GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e Meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Modelo Digital de Elevação 1:25.000 do Projeto RJ-25. Disponível em:
<ftp://geoftp.ibge.gov.br/modelos_digitais_de_superficie/modelo_digital_de_elevacao_mde/rj25/informacoes_tecnicas/Metadados_MDE_RJ25.pdf>. Acesso em: Abril de 2015

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Tutorial do SPRING. 2006.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO.
Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo: IPT. 1981.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução de Epiphânio, J. C. N. (Coordenador). [et al.]. São José dos Campos, SP: Parênteses. 2009.

KAUFMAN, Y. The atmospheric effect on remote sensing and its correction. In: ASRAR, G. **Theory and applications of optical remote sensing**. New York: John Wiley & Sons, 1989. p. 336-428.

LAMEGO, A. R. **O homem e a Guanabara**. Rio de Janeiro: IBGE - Conselho Nacional de Geografia, 1964 apud DANTAS, M. E. et al. **Geomorfologia das bacias dos rios Guapi-Macacu e Caceribu - recôncavo da Baía de Guanabara**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2012.

LANDIM, P. M. B. **Análise Estatística de Dados Geológicos Multivariados**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v.33, n.1, p. 159-174, 1977.

LANG, S.; TIEDE, D. vLATE Extension für ArcGIS - vektorbasiertes Tool zur quantitative Landschaftsstrukturanalyse, 2003.

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

LOPES, E. E. **Proposta metodológica para validação de imagens de alta resolução do Google Earth para a produção de mapas**. 2009. 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2009.

LUCHIARI, A. Algumas considerações sobre as aplicações dos produtos do Sensoriamento Remoto para levantamento do Uso e Revestimento da Terra. In: X Encontro de Geógrafos da América Latina, 10, 2005, São Paulo. **Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina**, São Paulo: [s. n.], 2005. p.8191-8218.

LUZ, N. B. **Análise espacial como subsídio à recuperação de ecossistemas apoiada na ecologia de paisagens e imagens Ikonos**. 2002. 127f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

LUZ, N. B. et al. **Manual de análise da paisagem**: vol. 3: procedimento para a geração de índices espaciais das unidades amostrais de paisagem. [recurso eletrônico] - Colombo: Embrapa Florestas, 2018.

MATTOS, S. H. V. L.; PEREZ FILHO, A. Complexidade e Estabilidades em Sistemas Geomorfológicos: Uma introdução ao tema. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 11-18. 2004.

MENEZES, P. M. L.; FERNANDES, M. C. **Roteiro de Cartografia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

METZGER, J. P. O que é Ecologia de Paisagens. **Biota neotropica**, [s. l.], v.1, n.1, p. 1-9, 2001.

MONTEIRO, C. A. F. Derivações antropogênicas dos geossistemas terrestres no Brasil e alterações climáticas: perspectivas agrárias e urbanas ao problema de elaboração de modelos de avaliação. In: Simpósio sobre a comunidade vegetal como unidade biológica, turística e econômica, 1978, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ACIESP, 1978. p. 43 – 74.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologia de aplicações**. São José dos Campos: INPE, 2001.

MORIN, E. **O método I: a natureza da natureza**. [s. l.]: Europa América, 1977 apud MATTOS, S. H. V. L.; PEREZ FILHO, A. Complexidade e Estabilidades em Sistemas Geomorfológicos: Uma introdução ao tema. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 11-18. 2004.

NASCIMENTO, A. F. et al. Classificação da cobertura da terra, utilizando os programas livres: InterImage, WEKA e QuantumGIS. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p. 2258-2265.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto**: princípios e aplicações. 4ª ed. São Paulo: Blucher, 2010.

ODUM, E. P. **Fundamentos de Ecologia**. 6. ed. São Paulo: Fundação Calouste Gulbenkian, 2004.

PIROVANI, D. B. **Fragmentação Florestal, dinâmica e ecologia da paisagem na Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim, ES**. 2010. 121f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, 2010.

REIS, R. B. et al. Classificação do Uso e Cobertura do Solo da APA do São João em uma abordagem orientada a objeto. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, Natal. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal: INPE, 2009. p. 7087-7094.

REMPEL, R. S.; KAUKINEN, D.; CARR, A. P. **Patch Analyst and Patch Grid**; Ontario Ministry of Natural Resources; Centre for Northern Forest Ecosystem Research, Thunder Bay, Ontario; 2012.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geoecologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. 5. ed. Fortaleza: Edições UFC, 2017.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 1997.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de textos, 2006.

ROUSE, J. et al. Monitoring Vegetation System in the Great Plains with ERTS. In: Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3, 1973, Washington. **Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. Volume 1: Technical Presentations**, section A, Greenbelt: NASA SP-351, 1974. p. 3010-3017.

SANSOLO, D. G. A Paisagem como categoria geográfica de análise: Significados da paisagem como categoria de análise geográfica. In: VII Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia, 7, 2007, Niterói. **Anais do VII Encontro da ANPEGE**. Niterói: [s.n.], 2007.

SANTOS, A. A. B.; SEABRA, V. S. Padrões espaciais de fragmentação florestal na bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu - RJ. In: PINHEIRO, L. S.; GORAYEB, A. (Org.). **Geografia Física e as Mudanças Globais**. [recurso eletrônico] - Fortaleza: Editora UFC, 2019. p. 1-12.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SANTOS, P. P.; AUGUSTO, R. C.; RICHTER, M. Sentinels 2 - Procedimentos e potencial de utilização a partir de geotecnologias gratuitas. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 18, 2017, Santos. **Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Santos: INPE, 2017. p. 7731-7737.

SAUER, C. O. **Morfologia da Paisagem**. Rio de Janeiro: EDUERJ. [1998 (1925)].

SAURA, S; TORNÉ, J. **Conefor 2.6 user manual** (May 2012). Universidad Politécnica de Madrid. Available at www.conefor.org. 2012.

SAUSEN, T. M. **Sensoriamento Remoto e suas aplicações para recursos naturais**. São José dos Campos, SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2005.

SEABRA, V. S. **Análise da Paisagem em apoio aos estudos de favorabilidade à recuperação florestal na Bacia Hidrográfica do Rio São João**. 2012. 244f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

SEABRA, V. S. Análise espacial e multitemporal do padrão de fragmentação florestal na bacia hidrográfica do rio São João. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p.7762-7769.

SILVA, A. R. et al. Extração da cobertura vegetal de áreas urbanas utilizando imagens do satélite GeoEye-1. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, 2011, Curitiba. **Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Curitiba: INPE, 2011. p. 1576-1583.

SINERGISE. Laboratory for geographical information systems, Ltd. Sentinel Hub. Disponível em: https://www.sentinel-hub.com/develop/documentation/eo_products/Sentinel2EOproducts. Consultado em: 26 de julho de 2018.

SOARES FILHO, B. S. **Análise de Paisagem: Fragmentação e mudanças**. Belo Horizonte: UFMG, 1998.

SOTCHAVA, V. B. **O estudo de geossistemas**. São Paulo: Ed. Lunar, 1977.

SOILLE, P.; VOGT, P. **Morphological segmentation of binary patterns**; Pattern Recognit Lett; 2009.

SOUZA, A. A.; GALVÃO, L. S.; SANTOS, J. R. Índices de vegetação derivados do sensor Hyperion/EO-1 para estimativa de parâmetros biofísicos de fitofisionomias de Cerrado. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, Natal. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal: INPE, 2009. p. 3095-3102.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1950.

TROLL, C. A paisagem geográfica e sua investigação. **Espaço e cultura**, Rio de Janeiro, n. 4, p. 1-7, jul. [1997] (1950).

VITTE, A. C. O Desenvolvimento do conceito de paisagem e a sua inserção na geografia física. **Mercator**, Fortaleza, v. 6, n. 11, p. 71-78, nov. 2008.

TROPPEMAIR, H.; GALINA, M. H. Geossistemas. **Mercator**, Fortaleza, v. 5, n. 10, p. 79-90, nov. 2008.

TURNER, M. G., GARDNER, R. H. & O'NEIL, R. V. **Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process**. New York: Springer Verlag, 2001.

VIANA, V. M. Biologia e manejo de fragmentos florestais naturais. In: Congresso Florestal Brasileiro, 6, 1990, Campos do Jordão, SP. **Anais do 6º Congresso Florestal Brasileiro**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura: Sociedade de Engenheiros Florestais, 1992. p. 113-118.

VIANA, V. M.; PINHEIRO, L. A. F. V. Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais. **Série técnica IPEF**, [s. l.], v. 12, n. 32, p. 25-42, dez. 1998.

VITTE, A. C. O Desenvolvimento do conceito de paisagem e a sua inserção na geografia física. **Mercator**, Fortaleza, v. 6, n. 11, p. 71-78, nov. 2008.

VOGELMANN, J. E. Assessment of Forest Fragmentation in Southern New England using Remote Sensing and Geographic Information Systems Technology. **Conservation Biology**, Massachusetts, v. 6, n. 2, p 439-449, abr. 1995.

VOGT, P. et al. Mapping Functional Connectivity. **Ecological Indicators**, [s. l.], v 9, p. 64-71, 2009.

VOGT, P. **User guide of GuidosToolbox**: release 2.5, revision 2. Ispra, European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Forest Resources and Climate Unit, 2016.

ZHA, Y.; GAO, J.; NI, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. **International Journal of Remote Sensing**, [s. l.], v. 24, n.3, p. 583-594, 2003.