



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Educação e Humanidades

Faculdade de Formação de Professores

Rafael Cardão Augusto

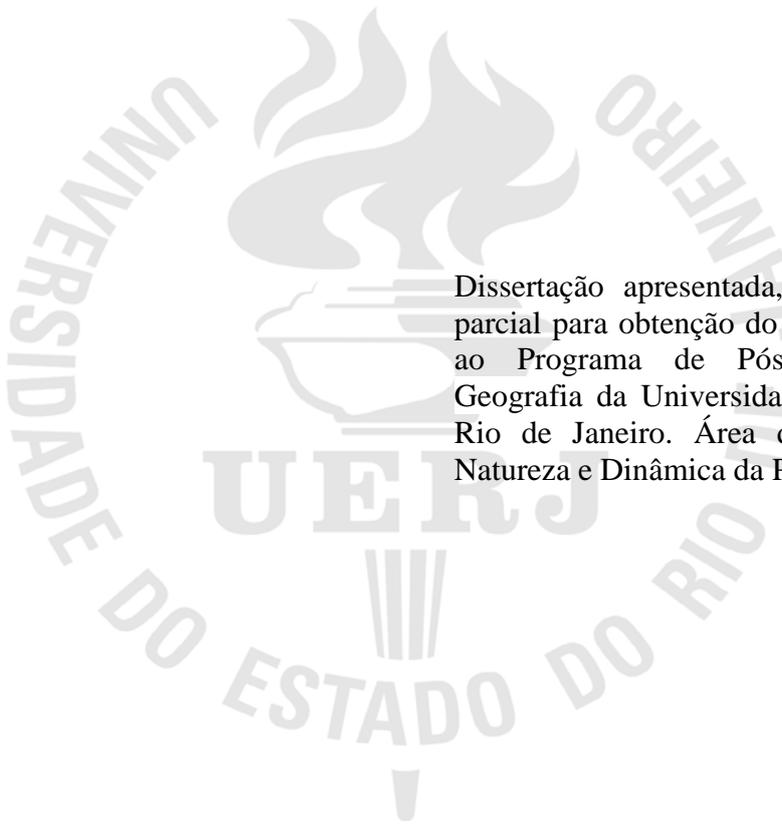
**Mapeamento geomorfológico e análise da distribuição dos remanescentes
florestais na bacia hidrográfica do rio Caceribu**

São Gonçalo

2017

Rafael Cardão Augusto

**Mapeamento geomorfológico e análise da distribuição dos remanescentes florestais na
bacia hidrográfica do rio Caceribu**



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Natureza e Dinâmica da Paisagem

Orientador: Prof. Dr. Vinicius da Silva Seabra

São Gonçalo

2017

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

A923 Augusto, Rafael Cardão.
Mapeamento geomorfológico e análise da distribuição dos remanescentes florestais na bacia hidrográfica do rio Caceribu / Rafael Cardão Augusto. – 2017.
130f.

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

1. Geomorfologia – Teses. 2. Engenharia geotécnica – Teses. 3. Florestas – Teses. I. Seabra, Vinicius da Silva. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Formação de Professores. III. Título.

CDU 551.4

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

Assinatura

Data

Rafael Cardão Augusto

**Mapeamento geomorfológico e análise da distribuição dos remanescentes florestais na
bacia hidrográfica do rio Caceribu**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Natureza e Dinâmica da Paisagem

Aprovada em 15 de fevereiro de 2017.

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^a. Dra. Mônica Richter
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

São Gonçalo

2017

DEDICATÓRIA

Aos meus queridos avós, Madalena e Manuel(*in memoriam*), que de suas terras,adquiri o gosto pela paisagem, ede seus livros, o gosto pelos mapas.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me agraciar com a vida, presentear-nos com a natureza, e me dar o dom de admirar e buscar cada vez mais conhecimento sobre esta ciência maravilhosa que é a Geografia, bem como o prazer e a determinação para estudá-la, além de me proporcionar todas as oportunidades que tive nesta trajetória até a concretização deste sonho.

Aos meus pais, Manuel e Cristina, base do que sou hoje, e que me ensinaram o valor do estudo, humildade, respeito, honestidade e dignidade, sempre me apoiando, ao investirem e me apoiarem em todas as etapas e escolhas da minha vida.

A minha companheira, Nathália, pela lealdade, compreensão, paciência, cumplicidade e estímulo, sempre presente ao meu lado de forma marcante durante toda essa trajetória.

Ao mestre Vinicius Seabra, pela orientação, apoio, disponibilidade e parceria em todos os caminhos deste projeto, colaborando para a realização de etapas que acrescentaram à minha formação e carreira.

Aos professores e profissionais que contribuíram também com este trabalho e com minha formação, direta ou indiretamente, através do apoio ou do conteúdo que me foi ensinado. Aos professores do PPGG (UERJ/FFP), tenho-lhes grande admiração. Às professoras Carla (UFRJ) e Mônica (UFRRJ). Ao ICMBio e a Thomas e Cristiane, por abrirem as portas que me possibilitaram a realização de dezenas de trabalhos de campo, e em especial a Eloísa Domingues (IBGE), pela presença e apreço de sempre.

Aos meus amigos, que estiveram presentes desde o início da graduação, compartilhando aprendizados, angústias e alegrias, protagonizando momentos de descontração e de debates que contribuíram com acréscimo pessoal. Em especial aos amigos do SGI do Mestrado 2015.1, e do grupo de pesquisas DAGEOP. Sem vocês essa jornada não seria a mesma.

A toda minha família, em especial a minha irmã Isabel, minha avó Madalena (*in memoriam*), e meu avô Manuel (*in memoriam*), também responsáveis pelo que sou hoje.

A CAPES, pelo apoio financeiro em cada mês durante estes dois anos, o que tornou possível a realização desta pesquisa, feita com dedicação e empenho em cada detalhe.

A água é tal qual a terra por onde ela atravessa.

Teofrasto

RESUMO

AUGUSTO, Rafael Cardão. *Mapeamento geomorfológico e análise da distribuição dos remanescentes florestais na bacia hidrográfica do rio Caceribu*. 2017. 130f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Formação de Professores, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, São Gonçalo, 2017.

A bacia hidrográfica é uma unidade de relevo que compreende a área drenada por um sistema fluvial, e o estado de conservação da vegetação exerce influência direta em seu equilíbrio dinâmico. O desmatamento em áreas de nascentes dos rios, por exemplo, pode causar impactos negativos em toda a bacia. Auxiliando nos estudos ambientais, as informações obtidas por meio da tecnologia do sensoriamento remoto vêm sendo extensamente utilizadas nos últimos anos. A interpretação das imagens possibilita a geração de mapas, através de ferramentas computacionais de geoprocessamento, de onde é possível extrair informações sobre um determinado tema. Um dos principais enfoques da aplicação desta tecnologia está nos levantamentos de uso e cobertura da terra, uma informação fundamental para o entendimento das manifestações humanas. Além disso, o geoprocessamento traz possibilidades também para as análises morfométricas do relevo, através de representações gráficas e quantitativas extraídas de modelos que caracterizam o terreno. A presente pesquisa tem como objetivo a análise da distribuição dos remanescentes florestais por domínios geomorfológicos e por sub-bacias na Bacia Hidrográfica do Rio Caceribu (BHRC), no estado do Rio de Janeiro. Após os mapeamentos dos domínios geomorfológicos e de uso e cobertura da terra, o cruzamento dos referidos dados apresentou os domínios de montanhas como portadores da maior quantidade de fragmentos florestais, com 149km². Além disso, 54% das sub-bacias de primeira ordem, locais das nascentes dos rios, apresentam-se como degradadas, sendo que, destas, 12 foram classificadas como sub-bacias degradadas íngremes, características mais susceptíveis a erosão. Estas informações podem dar subsídios a iniciativas de reflorestamento, por exemplo, apontando áreas que sejam prioritárias para tais implantações. Por fim, a análise espacial dos padrões de fragmentação florestal revelou a classe de corredores ecológicos como a predominante na bacia, com 35%, seguida de outros padrões, como bordas, ramificações e clareiras. Estas informações podem orientar na forma de aplicação da tomada de decisão. Diante disso, a presente pesquisa pretende gerar produtos que subsidiem a futura elaboração de planos gestores que tenham por objetivo a manutenção ou recuperação ambiental da área de estudo.

Palavras-chave: Remanescentes florestais. Geomorfologia. Geotecnologias.

ABSTRACT

AUGUSTO, Rafael Cardão. *Geomorphological mapping and analysis of the distribution of forest remnants in the Caceribu watershed - RJ*. 2017. 130f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Formação de Professores, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, São Gonçalo, 2017.

The watershed is a relief unit that comprises the area drained by a river system, and the state of conservation of the vegetation exerts a direct influence on its dynamic equilibrium. The deforestation in areas of river sources, for example, can cause negative impacts throughout the basin. Helping in environmental studies, information obtained through remote sensing technology has been widely used in recent years. The interpretation of the images allows the generation of maps, through computational tools of geoprocessing, from where it is possible to extract information about a certain theme. One of the main approaches of the application of this technology is in the surveys of land use and land cover, a fundamental information for the understanding of the human manifestations. In addition, geoprocessing also offers possibilities for the morphometric analysis of the relief, through graphical and quantitative representations extracted from models that characterize the terrain. The present research aims to analyze the distribution of forest remnants by geomorphological domains and sub-basins in the Caceribu River Basin, in the state of Rio de Janeiro. After the mapping of geomorphological domains and land use and land cover, the crossing of these data presented the mountain domains as carriers of the greatest amount of forest fragments, with 149km². In addition, 54% of the first-order sub-basins, located at river sources, are classified as degraded, and 12 were classified as degraded and steep, characteristics more susceptible to erosion. This information may provide support for reforestation initiatives, for example by identifying priority areas for such deployments. Finally, the spatial analysis of forest fragmentation patterns revealed the ecological corridors class as the predominant one in the basin, with 35%, followed by other patterns such as edges, branches and clearings. This information can guide in the application of decision making. In view of this, the present research intends to generate products that subsidize the future elaboration of management plans that aim at the maintenance or environmental recovery of the study area.

Keywords: Forest remnants.Geomorphology.Geotechnologies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da BHRC	17
Figura 2 – Bacia hidrográfica	25
Figura 3 – Captação de imagens através de sensor passivo	30
Figura 4 – Valores de níveis de cinza de imagem Landsat 5	31
Figura 5 – Municípios da BHRC	46
Figura 6 – Hipsometria e hidrografia da BHRC	47
Figura 7 – Cidades e rodovias da BHRC	48
Figura 8 – Fazenda com criação de gado bovino e Serra do Barbosão ao fundo.....	49
Figura 9 – Unidades de conservação da BHRC e entorno	51
Figura 10 – Rios da APA de Guapimirim	52
Figura 11 – Baixo curso e foz do rio Caceribu	53
Figura 12 – Metodologia geral do projeto	55
Figura 13 – Metodologia do mapeamento geomorfológico	57
Figura 14 – Classificação hierárquica de drenagem de Strahler (1952)	58
Figura 15 – Amplitude do relevo da BHRC	60
Figura 16 – Declividade do relevo da BHRC	61
Figura 17 – Edição do mapa geomorfológico	63
Figura 18 – Metodologia do mapeamento de uso e cobertura da terra	65
Figura 19 – Composição R6G5B4 da imagem original (a) e da imagem corrigida no 6S	67
Figura 20 – Localização das amostras da correção atmosférica	68
Figura 21 – Reflectância (em %) das amostras de água e de solo exposto	69
Figura 22 – Reflectância (em %) das amostras de floresta e de mangue	69
Figura 23 – Reflectância (em %) das amostras de agropasto e de áreas urbanas	69
Figura 24 – Carta-imagem da BHRC com composição Landsat R6G5B4	71

Figura 25 – Segmentação da imagem Landsat	71
Figura 26 – Floresta em área montanhosa	72
Figura 27 – Fragmento de floresta em área plana	72
Figura 28 – Mangue na APA de Guapimirim	73
Figura 29 – Pasto limpo dominado por gramíneas	73
Figura 30 – Pasto sujo com presença de arbustos	74
Figura 31 – Perímetro urbano de Manilha, em Itaboraí	74
Figura 32 – Médio curso do Rio Caceribu	75
Figura 33 – Baixo curso do Rio Caceribu	75
Figura 34 – Solo exposto em Tanguá	75
Figura 35 – Chaves de interpretação das classes de uso e cobertura	76
Figura 36 – Modelagem booleana de classes utilizando descritores	76
Figura 37 – Modelagem das classes de uso e cobertura	77
Figura 38 – Coordenadas das fotos das atividades de campo	78
Figura 39 – Validação de pontos aleatórios no Google Earth	79
Figura 40 – Drenagem fluvial da BHRC	83
Figura 41 – Sub-bacias de terceira ordem da BHRC	84
Figura 42 – Sub-bacias de primeira ordem da BHRC	85
Figura 43 – Mapa de domínios geomorfológicos da BHRC	87
Figura 44 – Gráfico de área dos domínios geomorfológicos da BHRC	89
Figura 45 – Localização do perfil topográfico traçado entre os pontos A e B	89
Figura 46 – Perfil topográfico traçado entre os pontos A e B	90
Figura 47 – Mapa de uso e cobertura da terra da BHRC	92
Figura 48 – Gráfico de área as classes de uso e cobertura da terra da BHRC	93
Figura 49 – Percentual de remanescentes florestais na BHRC	94
Figura 50 – Gráfico de remanescentes florestais por domínios do relevo na BHRC	97

Figura 51 – Mapa de remanescentes florestais por domínios geomorfológicos na BHRC	98
Figura 52 – Mapa de conservação e declividade percentual por sub-bacias de primeira	101
Figura 53 – Gráfico de quantidade de sub-bacias de primeira ordem por classes	102
Figura 54 – Classificação das sub-bacias de primeira ordem na parte leste da BHRC	103
Figura 55 – Classificação das sub-bacias de primeira ordem na parte oeste da BHRC	104
Figura 56 – Gráfico dos padrões de fragmentação florestal na BHRC	106
Figura 57 – Percentual de remanescentes por sub-bacias na porção oeste	107
Figura 58 – Mapa de padrões de fragmentação florestal na porção oeste	108
Figura 59 – Percentual de remanescentes por sub-bacias na porção central	109
Figura 60 – Mapa de padrões de fragmentação florestal na porção central	110
Figura 61 – Percentual de remanescentes por sub-bacias na porção leste	112
Figura 62 – Mapa de padrões de fragmentação florestal na porção leste	113
Figura 63 – Sub-bacias selecionadas para proposta de aplicação de reflorestamento	116
Figura 64 – Proposta de aplicação de reflorestamento em sub-bacias	117

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Quadro 1 – Classes de unidades do relevo da BHRC	62
Quadro 2 – Bandas da imagem LANDSAT OLI 13/02/2016	64
Quadro 3 – Classes de valores percentuais de conservação e declividade em sub-bacias	81
Tabela 1 – Quantitativos de classes dos domínios geomorfológicos da BHRC	86
Tabela 2 – Valores médios e máximos por domínios geomorfológicos na BHRC	88
Tabela 3 – Quantitativo de classes de uso e cobertura da terra na BHRC	91
Tabela 4 – Matriz de confusão obtida a partir de validação no Google Earth	95
Tabela 5 – Quantidade de sub-bacias de primeira ordem por classes	102
Tabela 6 – Padrões de fragmentação florestal na BHRC	106
Tabela 7 – Quantitativo de padrões de fragmentação florestal na porção oeste	108
Tabela 8 – Quantitativo de padrões de fragmentação florestal na porção central	111
Tabela 9 – Quantitativo de padrões de fragmentação florestal na porção leste	113

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
APA	Área de Proteção Ambiental
ASTER	<i>Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection</i>
BHRC	Bacia Hidrográfica do Rio Caceribu
COMPERJ	Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
ESEC	Estação Ecológica
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBIO	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo
MDE	Modelo Digital de Elevação

MMA	Ministério do Meio Ambiente
MNT	Modelo Numérico do Terreno
PE	Parque Estadual
RMRJ	Região Metropolitana do Rio de Janeiro
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
TOA	Topo de Atmosfera
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
UFF	Universidade Federal Fluminense
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFRRJ	Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UTM	Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	16
1	REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL	21
1.1	O conceito de paisagem: da possibilidade visual à perspectiva geossistêmica	21
1.2	A bacia hidrográfica como uma unidade geossistêmica da paisagem	24
1.3	Fragmentação florestal e importância da vegetação nos processos hidrológicos das bacias hidrográficas	26
1.4	O geoprocessamento e o sensoriamento remoto como ferramentas de estudos da paisagem	29
1.5	O mapeamento geomorfológico através do geoprocessamento	34
1.5.1	<u>Delimitação digital de bacias hidrográficas com SIG</u>	36
1.6	O mapeamento de uso e cobertura da terra através do sensoriamento remoto	38
1.6.1	<u>Sistemas de classificação: definição de escalas, legenda e unidade de área</u>	40
1.6.2	<u>Classificação de imagens orientada a objetos</u>	43
1.6.3	<u>A correção atmosférica como método de eliminação da interferência atmosférica das imagens de satélite</u>	42
2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	46
3	MATERIAIS E MÉTODOS	54
3.1	Mapeamento geomorfológico	55
3.1.1	<u>Extração da drenagem e delimitação das sub-bacias</u>	57
3.1.2	<u>Cálculo da amplitude do relevo da BHRC</u>	59
3.1.3	<u>Cálculo da declividade do relevo da BHRC</u>	60
3.1.4	<u>Domínios geomorfológicos da BHRC</u>	61
3.2	Mapeamento de uso e cobertura da terra	63

3.2.1	<u>Correção Atmosférica</u>	65
3.2.2	<u>Modelagem e classificação de uso e cobertura</u>	70
3.2.3	<u>Edição e atividades de campo</u>	77
3.2.4	<u>Validação do mapeamento de uso e cobertura</u>	79
3.3	Distribuição dos remanescentes florestais em domínios do relevo e em sub-bacias	80
3.4	Análise da fragmentação dos remanescentes florestais	81
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	83
4.1	Drenagem e sub-bacias de primeira e terceira ordem na BHRC	83
4.2	Domínios geomorfológicos da BHRC	85
4.3	Uso e cobertura da terra da BHRC	91
4.4	Remanescentes florestais por domínios geomorfológicos	96
4.5	Remanescentes florestais e declividade em sub-bacias de primeira ordem .	99
4.6	Análise dos padrões de fragmentação dos remanescentes florestais	105
4.7	Estudo de caso: proposta de aplicação de reflorestamento	115
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	119
	REFERÊNCIAS	122

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.

A inserção da geomorfologia nos estudos ambientais está direcionada para a compreensão das formas de relevo, procurando estabelecer as inter-relações entre este e os demais componentes da paisagem. 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). Deste modo, considerar as características morfométricas do relevo torna-se de grande importância para a tomada de decisões, e os produtos gerados com estas análises, como declividade e amplitude, auxiliam na busca por soluções ou prevenções de problemas ambientais, tornando possível à sociedade organizar de forma adequada o espaço onde vive.

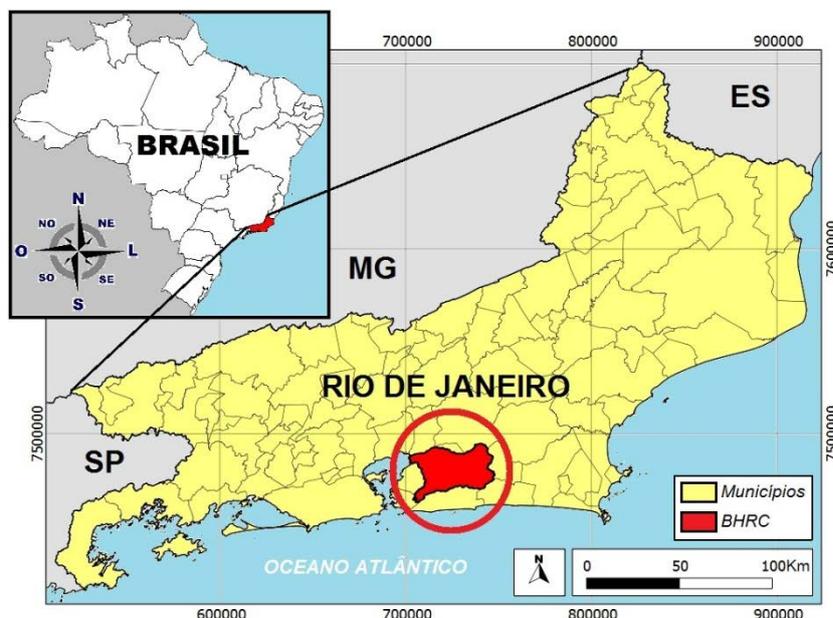
A vegetação exerce função determinante no equilíbrio dos sistemas naturais, e a análise de seu estado de conservação em diferentes escalas e recortes espaciais torna-se imprescindível. Como uma das possibilidades de analisar a distribuição da vegetação sobre a superfície terrestre, está o estudo do uso e cobertura da terra, que constitui as informações básicas para o entendimento das manifestações humanas, caracterizadas pela distribuição dos materiais biofísicos sobre a superfície terrestre (LUCHIARI, 2005).

Por trabalhar com um grande conjunto de variáveis, os estudos ambientais necessitam de metodologias e ferramentas que possibilitem a realização de análises espaciais. Desta forma, o tratamento digital de dados e informações por meio das geotecnologias torna-se um grande potencial para auxiliar nesta função. O geoprocessamento, envolvendo os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e o processamento de imagens de sensoriamento remoto, é capaz de realizar o tratamento de dados até a geração de mapas e de informações georreferenciadas que auxiliam na busca de objetivos em diversos estudos. Os mapas, que podem ser considerados como uma representação gráfica plana dos fenômenos sociobiofísicos sobre a superfície terrestre

(MENEZES & FERNANDES, 2013), podem representar estas características do relevo e da vegetação, após o tratamento dos dados geográficos necessários.

Esta pesquisa tem a intenção de elaborar uma análise integrada e multiescalar do relevo e da distribuição dos remanescentes florestais na Bacia Hidrográfica do Rio Caceribu (BHRC), no estado do Rio de Janeiro. A BHRC localiza-se à leste da Baía de Guanabara, abrangendo os municípios de Itaboraí, Tanguá, Rio Bonito, Guapimirim, São Gonçalo e Niterói (Figura 1). A importância da área se dá pela grande concentração de população, com cerca de 350 mil habitantes (IBGE, 2010), pela recente instalação do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (Comperj), bem como pela importância do rio Caceribu como um dos principais rios da porção leste da Região Metropolitana.

Figura 1 - Localização da BHRC



Fonte: Própria. Adaptado de IBGE (2016).

Como embasamento teórico foi feito um levantamento bibliográfico dos principais conceitos e metodologias que serão tratados na pesquisa, bem como a paisagem numa perspectiva geossistêmica, a bacia hidrográfica como uma unidade geossistêmica da paisagem, o geoprocessamento como ferramenta de estudos da paisagem, os mapeamentos geomorfológicos e de uso e cobertura da terra, e a importância da vegetação nos sistemas naturais. Através disso, fundamenta-se a importância das sub-bacias de primeira ordem, locais de nascentes dos rios, como dotadas de uma dinâmica própria que depende da estabilidade e equilíbrio de seus elementos, determinantes para a manutenção dos cursos

d'água. Além disso, os diferentes domínios geomorfológicos emergem como recortes com potencial de auxílio nos ordenamentos e planejamentos ambientais.

Para a metodologia, fez-se, num primeiro momento, o uso de modelos digitais de elevação (MDE/IBGE), de escala 1:25.000, para levantamentos de variáveis morfométricas do relevo, objetivando mapear a rede de drenagem, as sub-bacias de terceira e de primeira ordem, sendo estas locais das nascentes dos rios, e os domínios geomorfológicos, envolvendo classes como montanhas, planícies, entre outras. A metodologia escolhida para este trabalho foi definida a partir da adaptação da metodologia proposta pelo IPT (1981), para mapeamento geomorfológico do estado de São Paulo, e aplicada por Seabra (2012) no mapeamento dos domínios de relevo da Bacia Hidrográfica do Rio São João, no Rio de Janeiro.

Em seguida, foi realizado o mapeamento de uso e cobertura da terra na área de estudo, através de classificação orientada a objetos, utilizando imagem Landsat 8 (sensor OLI), com o objetivo de analisar a distribuição das principais classes de uso do solo, em escala 1:100.000, caracterizando as ocupações e atividades humanas e os remanescentes florestais, incluindo áreas de mangue.

Num terceiro momento, foi efetuada a investigação da distribuição dos remanescentes florestais por bacias de primeira ordem e por domínios geomorfológicos na BHRC, com a finalidade de analisar o estado de conservação destes dois diferentes recortes espaciais, considerando a declividade do relevo nas bacias de primeira ordem. A análise do estado de conservação das sub-bacias de primeira ordem, considerando percentuais de vegetação e de valores médios de declividade, pode subsidiar a tomada de decisões, apontando as áreas prioritárias para conservação ou reflorestamento.

Por fim, foi feita a análise dos padrões de fragmentação dos remanescentes florestais na BHRC, objetivando caracterizar os padrões espaciais de fragmentação e de conectividade dos remanescentes florestais, como corredores ecológicos, ramificações, clareiras, entre outras, sob as perspectivas geoecológicas da paisagem. Aliadas às áreas apontadas como prioritárias para a tomada de decisões, esta análise pode orientar as formas de aplicação das iniciativas de conservação ou reflorestamento, baseadas nos padrões espaciais dos fragmentos existentes.

Ressalta-se o fato de adoção da escala de 1:100.000 no mapeamento de uso e cobertura, gerando produtos que serão cruzados com os resultados do mapeamento geomorfológico, gerados a partir de MDE de escala 1:25.000. Desta forma, os resultados da caracterização de uso e cobertura, em escala geográfica mais abrangente, serão

interseccionados com uma base do terreno elaborada a partir de um MDE em escala de maior precisão.

Justificativa

A retirada da vegetação natural das áreas de nascentes de rios possui impacto direto na vazão dos rios, ou seja, na oferta de água para a bacia hidrográfica. 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 bacias de primeira ordem, áreas onde se encontram as nascentes dos rios. Além disso, os remanescentes florestais possuem importância em todo o sistema bacia hidrográfica, apresentando função primordial em áreas como vertentes de grande declividade, topos de morros, e margens de rios. Na Bacia Hidrográfica do Rio Caceribu (BHRC), as nascentes localizadas nas vertentes da bacia alimentam cursos d'água que contribuem para o rio Caceribu, um dos principais rios da porção leste da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. O referido rio corta os municípios de Rio Bonito, Tanguá e Itaboraí, onde localiza-se o Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (Comperj), e a Área de Proteção Ambiental (APA) de Guapimirim, até desaguar na Baía de Guanabara, sendo um de seus principais contribuintes em volume d'água, além de responsável pelo abastecimento hídrico da população residente no local (MMA/IBAMA, 2004).

Objetivo

O objetivo da presente pesquisa é analisar a distribuição dos remanescentes florestais por domínios geomorfológicos, e por sub-bacias de terceira e de primeira ordem, na BHRC, considerando a declividade do relevo nestas últimas, caracterizadas como os locais das nascentes dos rios. Estas etapas buscam a geração de produtos que apontem áreas prioritárias para reflorestamento ou preservação ambiental. Além disso, objetiva-se também a classificação dos padrões de fragmentação dos remanescentes florestais, segundo os pressupostos ecológicos da paisagem. Os padrões de fragmentos florestais existentes podem orientar de que forma as iniciativas de reflorestamento ou de preservação podem ser feitas. Com isso, será possível gerar informações capazes de subsidiar um planejamento ambiental voltado para a minimização de impactos e melhoria da qualidade de vida da população do leste da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, ajudando a

definir áreas prioritárias para a tomada de decisão, baseadas em dados integrados e em recortes espaciais de diferentes escalas.

Objetivos específicos

Os objetivos específicos compreendem quatro análises sequenciais na área pesquisada, utilizando as metodologias que envolvem as ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, para a realização das análises, em escala 1:100.000:

- Compreender as características de relevo na superfície da BHRC, a partir do processamento de Modelos Digitais de Elevação, objetivando o mapeamento dos domínios geomorfológicos, elaborado a partir de metodologia do IPT (1981), e as sub-bacias hidrográficas, definidas a partir de Strahler (1952).
- Compreender a distribuição do uso e cobertura da terra, a partir da utilização de imagens do sensor Landsat OLI, e método de classificação baseada em objetos.
- Analisar a distribuição dos remanescentes florestais por domínios geomorfológicos, por sub-bacias de terceira ordem, e por sub-bacias de primeira ordem, considerando a declividade do relevo nestas últimas.
- Analisar a fragmentação dos remanescentes florestais na BHRC, através de metodologia que classifica os padrões espaciais dos fragmentos.

1 REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL

1.1 O conceito de paisagem: da possibilidade visual à perspectiva geossistêmica

A paisagem é um dos conceitos que demarcam a geografia, sendo de interesse fundamental para os estudiosos desta ciência. Nas perspectivas clássicas de paisagem, os geógrafos a percebiam como a expressão materializada das relações do homem com a natureza, com seus limites atrelando-se à possibilidade visual (SUERTEGARAY, 2001).

Ao longo dos anos, distintas correntes de pensamento definiram diferentes perspectivas acerca do conceito de paisagem. Segundo Rodriguez et al (2007), os estudos da paisagem se iniciaram já no século XIX com Humboldt na escola alemã, e Lomonosov e Dokuchaev na escola russo-soviética. Estas escolas definiram a paisagem como um complexo integrado formado por diferentes elementos, e tiveram importantes pensadores como Passarge (1919), Troll (1950), Riábchicov (1976), Sochava (1978), dentre outros.

Pela escola francesa, entre os séculos XIX e XX, La Blache definia a paisagem como expressão do gênero de vida e cultura. A paisagem em La Blache está bastante presente nas noções de forma e fisionomia, sendo apresentada a partir dos conceitos de gênero de vida, hábito, e adaptação ao meio (NAME, 2010). Posterior à La Blache na escola francesa, Tricart (1950) propôs uma análise da interação ambiental de forma integrada, através da ecodinâmica, relacionada ao conceito de ecossistema, para propor o estudo e análise dos ecótopos. Desta forma, Tricart foi um dos primeiros autores a assinalar uma abordagem sistêmica, porém ligada às dinâmicas ecológicas.

Na escola anglo-saxônica, Sauer (1925) analisou em seus estudos a morfologia da paisagem, definindo-a como uma área composta por uma associação distinta de formas, ao mesmo tempo físicas e culturais, adicionando-a ela já um caráter orgânico. Sauer a definia como o objetivo da pesquisa geográfica, com uma identidade formada, antes de mais nada, pela visibilidade da forma, contendo o sítio e a cultura (SAUER, 1925). Desta forma, foi concebido à paisagem um caráter morfológico, ligado à representação.

Autores como La Blache e Sauer fundamentaram perspectivas fenomenológicas e dialéticas da paisagem, incluindo as definições de autores contemporâneos como Santos (2008), para quem a paisagem é tudo que a visão alcança, podendo ser concebida como o

domínio do visível, formada não apenas por volumes, mas também de cores, movimentos, odores, sons, entre outras concepções.

Com o tempo, os geógrafos passaram a considerar a paisagem para além da forma. Troll (1950), autor da escola alemã, propôs a criação da Geoecologia da Paisagem, centralizada nos estudos dos aspectos espacial (geográfico) e funcional (ecológico) para o estudo das paisagens (RODRIGUEZ ET AL, 2007, p.20), definindo esta como sendo resultado de um processo de articulação dinâmica entre os elementos constituintes. Posterior a Troll, diversos autores a partir de meados do século XX fazem referência à paisagem como algo além de uma morfologia visível:

A paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. É, em 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. (BERTRAND, 1971, p.141).

A preocupação com o ambiente emergiu com intensidade nos anos 1960, sendo estimulada pelas advertências acerca do impacto da atividade humana, e pelos debates a respeito do grau de finitude dos recursos terrestres (GREGORY, 1992, p.188). Diante disso, a partir de meados dos anos 1960, os ramos da Geografia Física passaram a reconhecer a necessidade de estudos dos processos, por causa da maneira pela qual eles estavam aparecendo mais proeminente nas disciplinas correlatas (GREGORY, 1992, p.142), e o estudo destes processos incluía fundamentalmente a integração do homem como um dos principais elementos que atuam no ambiente, somado às forças geológicas, geomorfológicas, pedológicas, hidrológicas, climáticas e biogeográficas como modificadores de processos. Esta visão trouxe contribuições acerca dos estudos integrados e interdisciplinares que se dariam dali para frente.

Influenciado pela teoria geral dos sistemas de Bertalanffy (1901) e pela Geoecologia das Paisagens de Troll (1950), o geógrafo russo Sochava formulou e propôs o conceito de geossistemas a partir dos anos 1960, assinalando e incorporando ao estudo das paisagens, visando um entendimento dos processos para além de somente a forma, e tecendo críticas à visão puramente morfológica da paisagem:

Em condições normais deve estudar não os componentes da natureza, mas as conexões entre eles: não se deve restringir à morfologia da paisagem e suas subdivisões, mas, de preferência, projetar-se para o estudo da dinâmica, estrutura funcional, conexões, etc. (SOCHAVA, 1977, p.2).

Sochava (1978) define os geossistemas como sistemas dinâmicos, complexos, e hierarquicamente organizados. Deixando clara a consideração da influência antrópica, Sochava (1977, p.7) cita que embora os geossistemas sejam fenômenos naturais, todos os fatores econômicos e sociais, influenciando sua estrutura e peculiaridades espaciais, são tomados em consideração. Rodriguez et al (2007) define geossistema como uma dimensão do espaço terrestre onde os diversos componentes naturais apresentam-se em conexões sistêmicas uns com os outros, possuindo uma integridade definida, interagindo com a esfera cósmica e com a sociedade humana. Sendo assim, todos elementos e processos da paisagem, desde as dinâmicas das vertentes, dos processos hidrológicos e de suas interações com o solo e o relevo, das características da vegetação e suas funções, e os movimentos antrópicos, desde o trânsito de pessoas e automóveis, até a interferência direta destes nos elementos anteriores através da expansão de rodovias, áreas urbanas ou cultivos agropastoris, devem ser apreendidos em sua totalidade para uma melhor compreensão da paisagem como um todo complexo e integrado, com conexões hierárquicas entre eles, em diferentes escalas espaciais e temporais.

A partir das definições de geossistemas, diversos autores começaram a conceituar e analisar a paisagem sob essa perspectiva. A partir de então, as idéias de Sochava fundaram e sustentaram a escola siberiana de paisagem, e o seu conceito de geossistema proposto ajudou a consolidar a integração entre as abordagens espacial e funcional da paisagem, dando grande aporte teórico e conceitual à Geoecologia das Paisagens. Apesar de formulada pela escola russa e de fundamentar a escola siberiana, a teoria foi difundida no meio ocidental pela escola francesa, através de Bertrand (1971), com a tradução dos artigos de Sochava, e com seus esquemas taxonômicos propostos.

Sob esta perspectiva, Ross (2006) ressaltou a paisagem como uma unidade homogênea dotada de dinâmica própria, destacando a necessidade de sua análise integrada para auxiliar a aplicação de sua análise a um planejamento ambiental e territorial. Rodriguez et al (2007) dá a noção da integração geocológica da paisagem, concebendo-a como uma realidade, cujos elementos estão dispostos de maneira tal que subsistem desde o todo, e o todo subsiste desde os elementos, em conexões harmônicas de estrutura e função, deixando explícitas desta forma também as contribuições do paradigma da complexidade de Morin (1982). Esta idéia deixa clara não só a importância da compreensão dos processos num segmento espacial, mas a compreensão do todo, que só pode ser alcançado de maneira interdisciplinar e multiescalar. Além disso, conceitua cada fragmento da paisagem como um sistema dotado de dinâmica própria, inserido num sistema maior.

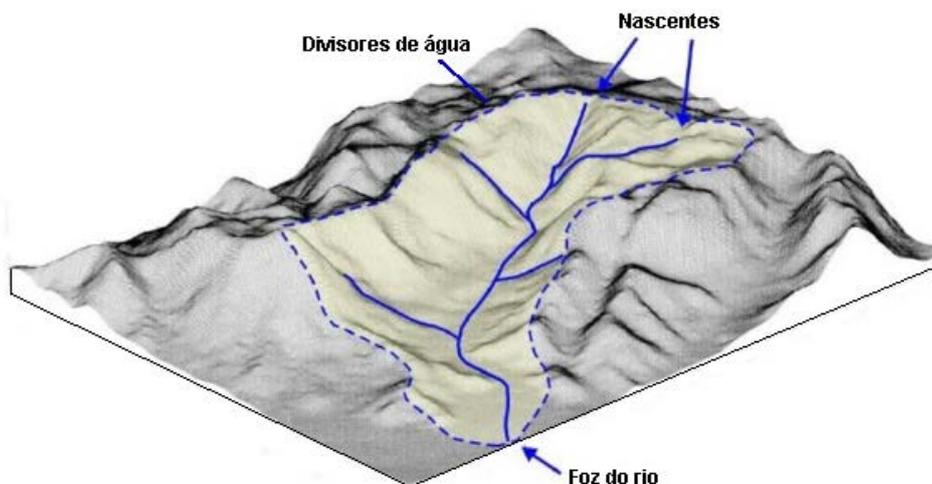
A paisagem, segundo Rodriguez et al (2007), possui todas as propriedades e aspectos de um geossistema, como gênese, funcionamento, estrutura, estado, estabilidade, auto-regulação, hierarquia, *inputs*, *outputs*, entre outros, considerando sempre o binômio inseparável Sociedade/Natureza. Para Rodriguez et al (2007), que elabora em sua obra uma rica concepção científica sobre a Geoecologia das Paisagens, incluindo fundamentação teórica, metodológica, epistemologias, taxonomias, e enfoques analítico, estrutural, funcional, evolutivo-dinâmico, histórico, entre outros, a paisagem como um objeto de investigação sob essas premissas dá subsídios ao planejamento ambiental. Sendo assim, a adoção de recortes da paisagem como unidades de planejamento por parte de gestores possui grande potencial em sanar ou prevenir problemas ambientais.

1.2 A bacia hidrográfica como uma unidade geossistêmica da paisagem

Segundo Christofolletti (1980), os rios constituem os agentes mais importantes no transporte dos materiais intemperizados das áreas elevadas para as mais baixas, e dos continentes para o mar. Sua importância é capital entre todos os processos morfogenéticos. Com os eventos de precipitação, a água infiltrada e estocada no solo recarrega o lençol de água subsuperficial ou subterrânea, formando e alimentando os canais fluviais (COELHO NETTO, 2015). Sendo assim, a drenagem fluvial é composta por um conjunto de canais de escoamento interligados que formam a bacia de drenagem, definida como a área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A bacia hidrográfica é uma unidade geomorfológica delimitada pelos divisores de águas. Esses divisores, ou interflúvios, são as superfícies mais elevadas do relevo, e separam diferentes bacias, drenando e escoando as águas das chuvas que alimentam as nascentes, definindo, dessa forma, as direções do escoamento hídrico. Este escoamento forma canais de variadas ordens, os afluentes, que contribuem para o rio principal. Este, por sua vez, tem na sua foz a saída comum de toda a drenagem hídrica da bacia, que desemboca em outro corpo hídrico, como um lago ou oceano, conforme observado na Figura 2. As bacias desenvolvem-se em diversos tamanhos, desde a bacia do rio Amazonas, até bacias com poucos metros quadrados, que articulam-se a partir de divisores em comum, integrando uma bacia maior, constituindo um sistema hierarquicamente organizado (COELHO NETTO, 2015).

Figura 2 - Bacia hidrográfica



Fonte: Stimamiglio (2002).

Segundo Morin (1979 *apud* MATTOS & PEREZ FILHO, 2004), as 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. O estudo e a análise dos cursos de água só podem ser realizados em função da perspectiva global do sistema hidrográfico (CHRISTOFOLETTI, 1980).

As bacias de drenagem 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). Ou seja, ao intervirmos em uma área qualquer, devemos considerar não somente os impactos locais, mas sim as consequências desta intervenção em todo um sistema que possui um dinamismo harmonioso, em evolução estável, equilibrada e contínua (ROSS, 1997).

Diante disso, por suas características, a bacia hidrográfica adquiriu, além da importância ambiental, uma importância estratégica como unidade detentora dos recursos hídricos, emergindo como um recorte territorial passível de gestão, passando a ser palco de ações políticas e administrativas sobre uso e conservação da água.

Sendo assim, a exploração de recursos hídricos e a distribuição de água exigiram a criação de uma organização institucional complexa apoiada em um sistema de concessões,

contratos, controle sobre a disponibilidade, e acesso aos serviços e tarifas. Durante o Século XX no Brasil, foram criadas leis que instituíram a criação e a ampliação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). É ressaltado em Braga *etal.* (1999) que, através dessas leis, a água passa a ser reconhecida como um bem público dotado de valor econômico.

Os recursos hídricos passaram a contar, dentre outros fatores, com a gestão descentralizada e participativa, que envolve a adoção da bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento e gestão de água, com a participação de diferentes níveis do poder público, dos usuários, e da sociedade civil organizada nos processos de decisão e gestão dos recursos hídricos, através da criação de diversos comitês de bacias. Esta decisão teve a intenção de fazer o país enfrentar o desafio frente ao crescimento urbano, industrial e agrícola nas bacias, com o preocupante avanço da degradação ambiental dos rios e lagos (BRAGA *etal.* 1999), influências estas que interferem diretamente na paisagem e na dinâmica natural do sistema bacia hidrográfica.

1.3 Fragmentação florestal e importância da vegetação nos processos hidrológicos das bacias hidrográficas

A falta de percepção sobre o papel da natureza, por parte dos agentes públicos, empreendedores e da população em geral, conjugada ao uso do solo desordenado e impermeabilizações, tem provocado sérias consequências, como poluição, erosão de encostas, inundações e assoreamento dos rios (VIEIRA & CUNHA, 2012). Nas bacias hidrográficas, a ampliação de atividades antrópicas, com a consequente retirada ou redução da vegetação natural a poucos ou nenhum fragmento, pode comprometer o volume do fluxo d'água dos rios, e 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 (CHRISTOFOLETTI, 2015), comprometendo, desta forma, o suprimento hídrico da população que reside na bacia.

Conforme exposto no capítulo anterior, a bacia hidrográfica pode ser considerada como uma unidade geossistêmica da paisagem, composta de uma hierarquia de subsistemas caracterizada por sub-bacias, em níveis superiores ou inferiores. Diferentes ordem de sub-bacias podem ser definidos dentro de uma bacia hidrográfica. Diante disso,

as sub-bacias de primeira ordem são as unidades de relevo compreendidas pelos canais de primeira ordem, estando localizadas nelas as nascentes dos rios. A água captada pela bacia de primeira ordem é escoada e drenada para o canal que flui a partir da nascente, até que este se une a outro canal mais a jusante de seu fluxo, formando, a partir daí, uma bacia de ordem hierárquica maior.

A ampliação de atividades agropastoris ou urbanas sobre as bacias de primeira ordem, com a conseqüente retirada, segmentação, ou supressão total de vegetação nativa, reduz a capacidade de captação de água das chuvas, diminuindo a infiltração e o armazenamento hídrico no solo, favorecendo o escoamento superficial. Este processo repercute na ocorrência de erosão do solo nas vertentes, enchentes nos vales, diminuição ou extinção do volume dos cursos d'água, comprometendo o suprimento para as populações que se encontram à jusante da bacia (CHRISTOFOLETTI, 2015).

Além do estado de conservação da vegetação, os processos de degradação de vertentes do relevo em bacias hidrográficas estão associados às próprias características da vertente. Um dos fatores controladores é a declividade (GUERRA, 2015), definida como o grau de inclinação de um terreno em relação à linha do horizonte, podendo ser medida também em porcentagem. A declividade do relevo proporciona potencialidades ou restrições para o estabelecimento de atividades agrícolas e ocupações urbanas, e influencia nos processos hidrológicos erosivos em caso de retirada da vegetação nativa. Ross (1997) abordou que solos com declividades entre 10% e 30% estão em categorias de análise enquadradas por ele como mais instáveis. Propondo uma associação do percentual total de declividade com o de vegetação nativa num determinado recorte espacial, para analisar o estado de conservação numa bacia hidrográfica, por exemplo, Guerra (2015), ao abordar a erodibilidade dos solos como um dos fatores controladores, cita que solos com menos de 70% de vegetação e declividade igual ou superior a 30% são mais susceptíveis a erosão, sobretudo em eventos de precipitação hídrica.

Diante disso, Sochava (1978) apontou a necessidade da integração da perspectiva espacial (geográfica) e funcional (ecológica) para a compreensão das dinâmicas dos processos que ocorrem na paisagem. Da importância do estado da vegetação nativa na dinâmica da bacia hidrográfica, surge, a partir de uma perspectiva geocológica da paisagem, a preocupação com o tamanho, a quantidade, a forma, e o grau de isolamento dos remanescentes florestais, refletindo nestas características os padrões espaciais de fragmentação e conectividade dos fragmentos, que influenciam diretamente nos processos da paisagem, bem como nas dinâmicas e processos hidrológicos nas vertentes.

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, 1990). Odum (2004) abordou o processo de perda ou fragmentação de habitats, onde uma grande área composta por um sistema ecológico nativo é reduzida em sua extensão, ou dividida em alguns ou vários fragmentos, em que a situação resultante passa a ser a formação de ilhas isoladas. Levando-se em consideração que o habitat 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.

Diante disso, ainda deve-se considerar a influência que há sobre a borda destes remanescentes. 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), caracterizando a vulnerabilidade que o fragmento possui.

Além das características relativas ao tamanho, segmentação e forma dos fragmentos, o padrão de corredores também é de grande relevância, sendo caracterizado como uma entidade espacial que conecta diferentes fragmentos maiores. VALERI & SENÔ (2004) comprovaram a importância dos corredores florestais, aplicados também como instrumentos de gestão, que proporcionam uma eficaz conservação da fauna e da flora, ao conectar diferentes fragmentos florestais, mitigando os efeitos da ação antrópica e garantindo a biodiversidade.

Programas computacionais e modelos matemáticos fornecem auxílio automatizado para a delimitação e análise de fragmentos florestais, baseados nos padrões de fragmentação e conectividades dos remanescentes, como é o caso do *software* GUIDOS. Estes modelos computacionais delimitam fragmentos em imagens, classificando-os em áreas-núcleo (fragmentos maiores), ilhas (fragmentos menores), clareiras, bordas, corredores, falsos corredores, entre outras, auxiliando no planejamento ambiental. Estudos como os de Seabra (2013) e Lacerda & Pimenta (2015) propuseram uma análise espacial dos padrões de fragmentação e conectividade dos remanescentes florestais, baseados nesta tecnologia. As potencialidades e o auxílio automatizado de programas computacionais,

envolvendo as ferramentas de geoprocessamento e as geotecnologias em geral, para diversas temáticas, serão abordados nos capítulos a seguir.

1.4 O geoprocessamento e o sensoriamento remoto como ferramentas de estudos da paisagem

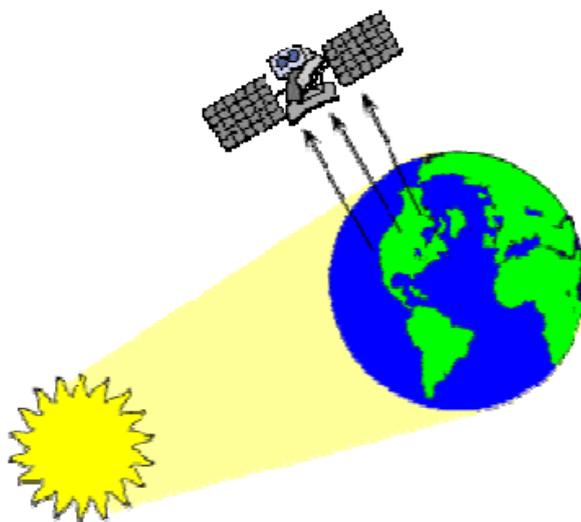
O geoprocessamento pode ser definido como um conjunto de tecnologias voltadas ao tratamento de informações espaciais para um objetivo específico, fazendo parte deste conjunto, tecnologias como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), o sensoriamento remoto, entre outros. Segundo Florenzano (2011), o SIG é um sistema computacional que permite armazenar, em forma de banco de dados, processar, integrar, analisar, calcular áreas, visualizar e representar, em forma de mapas, informações georreferenciadas, que possuem uma localização geográfica definida por um sistema de coordenadas. Pode-se dizer, portanto, que o SIG é o tipo de sistema que melhor viabiliza o geoprocessamento.

Os SIG possibilitam a criação e o manuseio de camadas matriciais e de camadas vetoriais, sendo estas as entidades geométricas: polígonos, pontos ou linhas. Estes diferentes tipos de objetos geométricos podem representar, em ambientes digitais, diferentes temáticas, como propriedades rurais, na forma de polígonos; cidades, na forma de pontos; ou eixos rodoviários, na forma de linhas, por exemplo. Estas geometrias encontram-se georreferenciadas espacialmente sobre uma base cartográfica, que define as coordenadas correspondentes à localização de cada objeto no mundo real. Quando combinadas e submetidas aos processos de seleção, simbolização e apresentação gráfica (MENEZES & FERNANDES, 2013), podem dar origem a um objetivo final: os mapas.

Com amplas possibilidades de trabalho nos SIG, as imagens de satélite são exemplos de camadas matriciais. Diferentes satélites foram enviados ao espaço com a intenção de viabilizar operações de logística, defesa, e levantamentos de recursos naturais, através da geração de imagens que são enviadas para as estações localizadas na superfície terrestre. Diante disso, sobre o sensoriamento remoto, podemos entender, segundo Florenzano (2011), como uma tecnologia que permite obter imagens – e outros tipos de dados – da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície, por meio dos sensores de satélites localizados em volta da Terra.

O Sol é a principal fonte emissora da radiação eletromagnética que chega à Terra, sendo esta caracterizada pelos comprimentos de ondas. O processo de interação entre a radiação e a superfície terrestre pode ser analisada sob o ponto de vista da absorção, da transmissão e da reflexão das ondas de radiação, caracterizando assim a resposta espectral de cada diferente superfície (PONZONI, et al 2012), que é captada pelos sensores orbitais passivos, convertendo-as na forma de imagens (Figura 3).

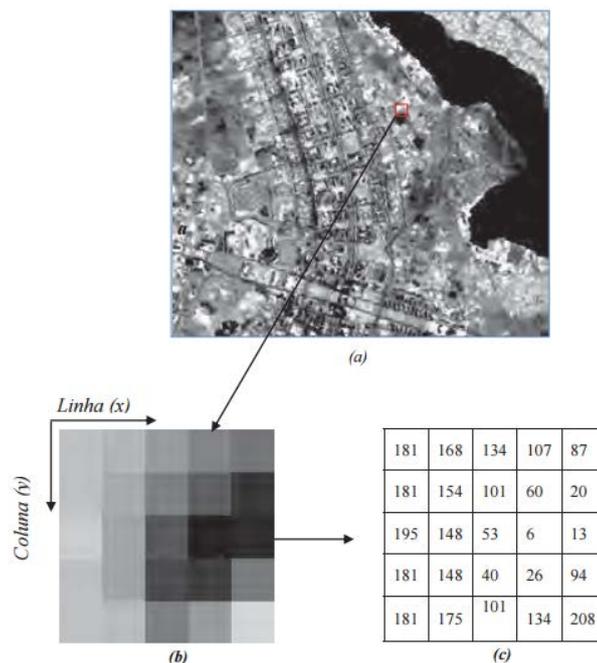
Figura 3 - Captação de imagens através de sensor passivo



Fonte: Santos (2013)

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, portanto, um processo de aquisição das diferentes informações sem que seja necessário o contato direto entre o sensor e o alvo que está sendo observado, convertendo a reflexão da energia dos diferentes alvos da superfície terrestre em valores numéricos contidos nos pixels nas imagens, atribuindo aos diferentes objetos uma característica através da definição de valores digitais (Figura 4). O tamanho dos pixels define a resolução espacial das imagens, e depende da capacidade de cada sensor. Um satélite de alta resolução espacial, por exemplo, tem a capacidade de gerar imagens com um melhor nível de detalhamento, resultando em pixels menores.

Figura 4 - Valores de níveis de cinza de imagem Landsat 5



Fonte: Meneses e Almeida (2012)

O sensoriamento remoto viabiliza também a realização do processamento digital das imagens obtidas, tornando-as passíveis de interpretação visual, através da aplicação de composições coloridas nos diferentes canais contidos na imagem. Estes canais, ou as bandas das imagens, correspondem à faixa espectral da energia refletida pela superfície terrestre e captada pelos sensores orbitais. Podem ser as bandas de luz visível, como o R (vermelho) G (verde) B (azul), ou os infravermelhos próximo e médio, além de outras bandas, como a termal e a pancromática. Ambas compõem a imagem em si que foi gerada pelo sensor orbital, e dependem da resolução espectral do sensor.

As imagens obtidas através do sensoriamento remoto proporcionam uma visão de conjunto multitemporal de extensas áreas da superfície terrestre. Esta visão sinóptica da paisagem possibilita estudos regionais e integrados, envolvendo vários campos do conhecimento (FLORENZANO, 2005). Estas imagens 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, 2001). Sendo assim, os mapas contêm informação, e as imagens de sensoriamento remoto contêm dados, que se transformam em informação somente depois de interpretados (FLORENZANO,

2011). 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 de sensoriamento remoto, como fonte de dados da superfície terrestre, são cada vez mais utilizadas para a elaboração de diferentes tipos de mapas, com facilidade de acesso e a um custo relativamente baixo, e com uma sistemática bastante satisfatória para estudos de diversas naturezas que pode apresentar grande importância. Bertrand (1971) já apontava que as imagens aéreas constituíam um apoio precioso por fornecer uma visão sintética e instantânea das paisagens. Bridgewater (1993 *apud* SEABRA, 2012) cita os SIG como a principal ferramenta para a compreensão do efeito das mudanças da paisagem, em diferentes escalas, nos geossistemas. O autor aponta as ferramentas de SIG e o sensoriamento remoto como importantes instrumentos para a conservação da natureza.

Florenzano (2011) destaca o aspecto multitemporal das imagens de satélite geradas pelos sensores remotos, que possibilita o monitoramento dos ambientes, e a atualização de material cartográfico, apresentando, portanto, um grande potencial tanto para a elaboração de novos mapas, como na atualização daqueles já existentes. Desta forma, o uso das imagens de satélite em conjunto com os SIG possibilita analisar as paisagens e a sua transformação, destacando os impactos causados por fenômenos naturais como as inundações e a erosão do solo, freqüentemente agravados pela intervenção do homem, e antrópicos, como os desmatamentos, as queimadas, a expansão urbana, ou outras alterações do uso e da ocupação da terra.

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. A qualidade das paisagens torna-se avaliação obrigatória em qualquer estudo que traga, no cerne, uma preocupação com a conservação do ambiente (TABACOW & XAVIER-DA-SILVA, 2010). Para tanto, os Sistemas de Informação Geográfica constituem-se na ferramenta mais adequada para uma respectiva avaliação e análise adequada das paisagens.

Oriunda da ligação entre os geossistemas e o geoprocessamento, a cartografia de paisagens, denominada também mapeamento de geossistemas, ou cartografia geoambiental, é uma atividade de caráter físico-geográfico, e está preocupada com a representação de complexos naturais, também chamados de geossistemas, que compreendem áreas naturais resultantes da interação entre os componentes da natureza,

influenciados em maior ou menor grau pela sociedade (CAVALCANTI, 2014, p.5). Rodriguez (2007, p.89) cita a cartografia das paisagens como o objeto final, consistindo na aplicação dos métodos de distinção e elaboração dos diferentes tipos de mapas de paisagem, através de diversas etapas, desde os trabalhos de campo até a confecção do produto final (RODRIGUEZ ET AL, 2007, pp.89-107).

As técnicas para representação destas paisagens envolvem desde trabalhos de campo, até interpretação de dados temáticos, imagens, e o método mais completo por ele abordado: a modelagem cartográfica, baseada na utilização de sensoriamento remoto e geoprocessamento, que pode contemplar também todas as etapas anteriores (CAVALCANTI, 2014, p.49). Bem específico a respeito da temática de geoprocessamento, Lang & Blaschke (2009), em sua obra *Análise da Paisagem com SIG*, demonstra as contribuições do sensoriamento remoto e do geoprocessamento na observação, processamento, integração, análise e representação de paisagens, através da manipulação de diferentes dados temáticos georreferenciados em ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Como exemplo de aplicação dos métodos anteriormente propostos, alguns autores vêm dispostos a contribuir com a temática da paisagem, através da geração de produtos cartográficos voltados para subsidiar tomadas de decisão a respeito de questões ambientais, como Seabra (2012), que propôs uma análise da paisagem em apoio aos estudos de favorabilidade à recuperação florestal na bacia hidrográfica do rio São João, no estado do Rio de Janeiro. Mesmo que uma análise envolvendo os estudos das paisagens não contemple todos os elementos e interações nelas dispostos, a compreensão da relação e da dinâmica entre dois ou mais elementos, como o relevo e a vegetação, por exemplo, trazem a pertinência do estudo para as questões ambientais, diante desta perspectiva. Tais exemplos demonstram o nível de aplicabilidade e de contribuição que a geração de mapas temáticos possui para uma compreensão integrada e interdisciplinar do ambiente, com o objetivo de fundamentar e apoiar decisões voltadas à recuperação ou preservação ambiental.

1.5 O mapeamento geomorfológico através do geoprocessamento

A Geomorfologia é a ciência que estuda as formas de relevo, sendo estas formas a expressão de uma superfície, compondo as diferentes configurações da paisagem morfológica (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 1). Na Geomorfologia, mais importante que o estudo da forma, é a relação entre esta e os processos atuantes em sua formação e modificação. O relevo, originado a partir de forças geológicas endógenas, que promoveram soerguimentos ou rebaixamentos, é submetido às forças exógenas do clima, que promovem, a um longo período de tempo, a degradação (erosão) de áreas elevadas, e agradação (deposição) nas áreas mais baixas, conduzindo a uma tendência de nivelamento da superfície terrestre (MARQUES, 2015). Desta forma, fica claro o quanto os componentes do relevo estão interligados a todos os elementos da paisagem, influenciando e sendo influenciado por forças geológicas, climáticas, hidrológicas, biológicas e pedológicas, numa complexidade que vem aumentando na medida em que o homem se torna também um agente ativo de atuação na paisagem.

A interferência do homem na natureza deveria exigir a necessidade de estudos que levem a um diagnóstico, ou seja, ao conhecimento do quadro ambiental onde se vai atuar (ROSS, 1997). A inserção da Geomorfologia nos estudos ambientais e as análises relacionadas à gênese e formas de relevo permitem a interpretação e compreensão dos processos, incluindo a interferência do o homem. 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).

A forma do relevo condiciona o estabelecimento de espécies vegetais, como a definição de áreas de maior incidência de sombra ou luz solar, ou de acúmulo ou dispersão de água, e a cobertura vegetal e o clima são fatores que controlam a gênese das vertentes e, por sua vez, o tipo de carga detrítica a ser fornecida aos rios. Deste modo, considerar as características morfométricas do relevo torna-se de grande importância para a tomada de decisões, e os produtos gerados com estas análises, como a declividade e a amplitude do relevo, por exemplo, 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.

Entre as aplicações possíveis das tecnologias de geoprocessamento está o mapeamento geomorfológico. A cartografia digital, juntamente com os diferentes usos do sensoriamento remoto e dos sistemas de informação geográfica, reveste-se de apoio fundamental para a elaboração de mapas de relevo (ARGENTO, 2015). Elaborar produtos que classificam as formas de relevo permite a interpretação dos processos, fenômenos e interações existentes entre os diversos elementos que compõem a paisagem.

Além das ferramentas de geoprocessamento, diversos produtos gratuitos são fornecidos contendo os dados de elevação da superfície terrestre, como as representações matemáticas da Terra, que incluem os Modelos Numéricos do Terreno (MNT) e os Modelos Digitais de Elevação (MDE), disponibilizados pelo TOPODATA (2015) ou SRTM (USGS, 2015), por exemplo, e gerados a partir de estereoscopia orbital ou interferometria por radar (LANDAU & GUIMARÃES, 2011). Ao serem tratados em funções disponíveis nas ferramentas de geoprocessamento, pode-se extrair desses modelos informações relevantes ao conhecimento do terreno e à confecção de mapas geomorfológicos, como curvas de nível, amplitude, declividade, delimitação de redes de drenagem e bacias hidrográficas, entre outros dados.

Ross (1997) ressalta que, ao pretender a realização de um mapeamento geomorfológico, deve-se ter a preocupação com o tratamento taxonômico que será dado, e consequentemente com o que será considerado como forma de relevo, estando este fato vinculado à escala, resolução, e aos objetivos que se deseja alcançar, e que, ao contrário dos mapeamentos de outras temáticas geossistêmicas, como vegetação e hidrologia, a geomorfologia não possui uma taxonomia consagrada.

Argento (2015) propôs uma padronização dos critérios para mapeamentos geomorfológicos, elaborando diferentes táxons, ou níveis hierárquicos, desde a escala mais abrangente: a dos domínios geomorfológicos, ligada às grandes morfoestruturas geológicas; passando pelas regiões geomorfológicas, que possuem o clima como fator principal; até as unidades geomorfológicas, fisionomias semelhantes em seus tipos de modelados, mapeadas em escalas mais aproximadas.

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, p.370). A identificação e mapeamento destas formas possui a função de auxiliar no planejamento ambiental e na tomada de decisão, e segundo Christofolletti (2015), apresentando potencial

de aplicação no planejamento do uso do solo urbano e rural, bem como na execução de obras de engenharia.

Entre alguns dos mapeamentos geomorfológicos realizados no Brasil, pode-se citar o elaborado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 1981) para o estado de São Paulo. De grande relevância para os estudos geomorfológicos no estado, constituiu-se de uma classificação sistemática, que delimitou formas com base nas características dos domínios do relevo. Ross & Moroz (1996) o definem como um produto cartográfico de decodificação simples, que permite a visualização de relevos mais dissecados e menos dissecados, de acordo com a rugosidade topográfica.

No estado do Rio de Janeiro, destacam-se alguns mapeamentos geomorfológicos de grande relevância, entre eles os de Dantas et al (2000, 2005), INEA (2010), e EMBRAPA (2012), que realizaram o mapeamento de unidades morfoestruturais, morfoesculturais e geomorfológicas. Estas unidades correspondem a taxonomias de escalas geográficas abrangentes, mais próximas de representar processos endógenos, que identificam classes como escarpas, maciços, planaltos, tabuleiros, entre outras.

Seabra (2012) aplicou uma adaptação da metodologia do IPT (1981) para o mapeamento geomorfológico da bacia hidrográfica do rio São João, na Região das Baixadas Litorâneas do estado do Rio de Janeiro. Atendo-se a taxonomia que classifica os domínios do relevo, o referido mapeamento identificou classes que refletiram os processos endógenos, como a classe de montanhas, e processos exógenos, que modelam e dissecam o relevo, dando-lhe características de menor rugosidade topográfica, como é o caso das classes de morrotes e colinas. O produto final alcançado por Seabra (2012) foi gerado a partir de diversas etapas de cálculos e mapeamentos das variáveis morfométricas da bacia, envolvendo declividade, amplitude do relevo, níveis de base, entre outras.

1.5.1 Delimitação digital de bacias hidrográficas com SIG

Historicamente, os limites das bacias hidrográficas foram delineados à mão através de contornos em mapas topográficos de papel. Porém a delimitação digital através das ferramentas de SIG evidencia-se menos trabalhosa, mais reprodutível e menos dependente do julgamento subjetivo do intérprete. Vários algoritmos estão disponíveis em pacotes de SIG para realizar tal tarefa, sobretudo utilizando os Modelos Digitais de Elevação (MDE)

como material de aplicação da técnica, através de um processo semi-automático. Lindsay *et al.* (2008 *apud* Irwin *et al.* 2014) identificaram algumas aplicações para delimitação de bacias hidrográficas através da modelagem de fenômenos espaciais, entre elas o *watershed delineation*.

O módulo *watershed* está disponível para aquisição e instalação no software ArcGIS. Possui grande aplicabilidade em trabalhos com as temáticas de inundações e enchentes, para fins de previsão, e estudos de qualidade da água, conforme em Irwin *et al.* (2014), por ser tratar de uma ferramenta que desenvolve cálculos de direção e de acumulação de fluxos hídricos baseados nos dados do MDE. Com isso, possui o potencial também de delinear os limites das bacias hidrográficas e de delimitar a forma e a dimensão dos canais de drenagem

O *watershed delineation* é projetado para criar um arquivo contendo limites de bacias hidrográficas e atributos relacionados aos canais de drenagem dentro de uma determinada área geográfica. As análises das bacias hidrográficas são realizadas através de um MDE, onde a superfície da área abrangida por ele deve ser hidrológicamente interligada (CHINNAYAKANAHALLI *et al.* 2006). Com o comando executado pelo usuário, que define os parâmetros de acordo com seus objetivos, uma rede de fluxo é criada, interpretando cada célula do MDE, que deve fluir para dentro da célula seguinte, de montante à jusante da bacia, até a saída do canal principal.

A direção do fluxo é calculada a partir dos valores de elevação de cada célula do MDE, em comparação com as células vizinhas, codificadas para gerar o direcionamento do fluxo de escoamento fluvial. Este processo é calculado em toda a área, criando uma rede de drenagem. Esta rede é então utilizada para delinear os limites das bacias hidrográficas, definida a partir dos valores de elevação das células que contornam os conjuntos de redes de drenagem, ou as diversas sub-bacias presentes numa bacia hidrográfica maior (WATERSHED TUTORIAL, 2007).

O tamanho das bacias é definido a partir do limiar desejado, envolvendo os objetivos da escala. Neste parâmetro, o valor limite representa o número de células do MDE. Um valor como 1000, por exemplo, indica que uma célula é considerada como um fluxo de drenagem, quando 1000 ou mais células fluem para dentro desta. O número de células ou o valor limiar depende da resolução do MDE de entrada e da topografia (WATERSHED TUTORIAL, 2007). Desta forma, pode-se definir o limiar com objetivos de delimitar bacias de diferentes ordens. Por fim, os dados de drenagem e os limites das

bacias hidrográficas podem então ser selecionados e convertidos para polígonos e linhas em formato vetorial, subsidiando diversas etapas de diferentes pesquisas científicas.

1.6 O mapeamento de uso e cobertura da terra através do sensoriamento remoto

Quanto aos estudos relacionados à ação do homem sobre a superfície terrestre, 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). O uso do solo é o ponto de interseção mais importante entre as atividades humanas e o meio (CASIMIRO, 2000), um termo que se refere ao modo como a terra é usada pelos seres humanos, estando portanto relacionado à função socioeconômica (HEYMANN, 1994 apud IBGE, 2006).

A cobertura da terra refere-se à distribuição dos materiais biofísicos sobre a superfície terrestre, sendo definida como os elementos da natureza, como a vegetação, por exemplo, além das construções artificiais criadas pelo homem (BURLEY, 1961 *apud* ANDERSON et al. 1979). Um parque nacional pode ter um uso de proteção e conservação, e ter como cobertura uma floresta ombrófila, por exemplo (JENSEN, 2007). A cobertura da terra pode ser considerada, também, como a expressão das atividades humanas na superfície terrestre, e está diretamente ligada ao uso da terra e seu manejo. Os estudos que correlacionam a caracterização da cobertura da terra e a análise de seus diferentes usos e manejos são importantes ferramentas para a compreensão da intensidade das mudanças e o tipo das mudanças em determinadas áreas.

A análise do uso e cobertura da terra é indispensável para estudos ambientais de qualquer natureza, pois retratam as pressões e impactos sobre os elementos naturais presentes na paisagem. Os levantamentos quantitativos e qualitativos sobre esse tema são essenciais para a análise de fontes de poluição e compreensão das interações entre o meio biofísico e socioeconômico. O conhecimento sobre o uso do solo ganha importância pela necessidade de garantir a sua sustentabilidade diante das questões ambientais, sociais e econômicas a ele relacionadas e trazidas à tona no debate sobre o desenvolvimento sustentável (IBGE, 2006). Xavier-da-Silva (1995) acredita que ao mostrar de forma sistemática as razões e os resultados da interferência do homem sobre o ambiente, a Geografia é um veículo poderoso de conscientização dos jovens quanto aos problemas de

desequilíbrio ambiental, de ocupações desordenadas de novos territórios, e desperdícios de recursos disponíveis e de poluição ambiental.

Segundo Luchiari (2005), Sauer, no início do século XX, foi o primeiro pesquisador a preocupar-se com a elaboração de mapas que retratam a ação do homem sobre a terra, pois na época a Geografia iniciava os seus primeiros inventários. A proposta de Sauer residia na caracterização dos modos e dos graus de utilização da terra, centrando-se, principalmente, nas condições econômicas. O mapa deveria representar as atividades mais significativas de uma área.

Deste então, o avanço tecnológico da observação da Terra e a busca do conhecimento sobre o conjunto e a preocupação ambiental estiveram sempre associados (IBGE, 2006). No Brasil, o projeto RADAMBRASIL, com início nos anos 1970, foi o pioneiro no mapeamento de uso e cobertura da terra, utilizando para tal as imagens aéreas de radar, captadas por avião. Como um dos principais recursos para a aquisição do conhecimento sobre o ambiente, o avanço da tecnologia espacial colocou à disponibilidade produtos de satélites orbitais imageadores da Terra, marcando assim uma nova era dos estudos de uso e cobertura da terra.

Ao mesmo tempo em que lhe dá uma nova metodologia de pesquisa, as imagens de sensores remotos orbitais orientam a apreensão espacial e temporal do uso da terra (IBGE, 2006), contribuindo assim para a observarmos o grau de ocorrência e a evolução dos tipos de uso e cobertura no espaço e ao longo do tempo, e em diferentes escalas e recortes espaciais. A importância do estudo nas esferas espacial e temporal é ressaltada em Santos e Silveira (2004), para quem uma periodização permite discutir o território usado, pois os usos são diferentes nos diversos momentos históricos.

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.

Florenzano (2011) destaca que as imagens de satélite proporcionam uma visão sinóptica (de conjunto) e multitemporal (de dinâmica) de extensas áreas da superfície

terrestre. Elas mostram os ambientes e a sua transformação, destacam os impactos causados por fenômenos naturais e pela ação do homem com o uso e a ocupação, e suas evoluções e variações no espaço.

Aliando o uso e cobertura com a temática geomorfológica, por exemplo, está a capacidade diagnosticar e denunciar usos agropastoris ou urbanos não adequados às variáveis topográficas do terreno, que podem resultar em impactos a um sistema natural, como processos de erosão, deslizamentos e enchentes. Os processos de escoamento superficial nas vertentes promovem a erosão dos solos, e está relacionado com as características da chuva, do uso do solo e da geomorfologia (CHRISTOFOLETTI, 2015). Além dos diagnósticos, o geoprocessamento oferece também a potencialidade de zoneamentos, que direcionam o tipo de atividade mais adequada de acordo com as condições mapeadas em determinadas áreas, dando subsídios ao planejamento ambiental e a planos diretores, e de prognósticos, aliados aos riscos e vulnerabilidades calculadas em determinadas áreas.

Para a pesquisa ambiental o uso das geotecnologias, envolvendo o sensoriamento remoto e os SIG, para o mapeamento de uso e cobertura da terra, tem grande potencial de apoio à decisão. Nesse caso, a tecnologia de geoprocessamento, pode ser uma ferramenta poderosa e precisa, que permite realizar investigações oferecendo produtos digitais básicos e aplicados para as análises das situações ambientais (DIAS et al. 2004).

1.6.1 Sistemas de classificação: definição de escalas, legendas e unidades de área

A palavra escala é freqüentemente utilizada para designar uma relação de proporção entre objetos, ou superfícies, e sua representação em mapas (CASTRO, 1995 p.129). Os mapeamentos variam suas escalas de acordo com a intensidade dos trabalhos e com o objeto de estudo que foi escolhido. A mensuração, análise e explicação dos fenômenos dependem da escala de observação (IBGE, 2006). Como salienta Castro (1995), a escala não deve ser vista apenas sob a perspectiva matemática, pois a conceituação de escala acorrentada apenas à ótica geométrica é insatisfatória. Lacoste (1989, p.77) ressalta que a realidade aparece diferente segundo a escala das cartas, segundo os níveis de análise. Castro (1995) ressalta que a escala como medida pode não ser necessariamente a do

fenômeno, mas aquela escolhida para melhor observá-lo, e que não há escala mais ou menos válida, já que a realidade está contida em todas elas.

A escala deve ser compatível também com o tipo de imagem que se pretende trabalhar, e com a legenda, que deve ser elucidada de acordo com os objetivos que se deseja alcançar (PONZONI et al, 2012). A escala, portanto, deve ser definida segundo as necessidades do usuário, o material, os métodos, o objeto de estudo e o tipo de análise, e ainda assim a observação deve variar mutiescalarmente, indo até mesmo à esfera do real, através das iniciativas de trabalho de campo. Os trabalhos de campo possuem a intenção de agregar informações que não são passíveis de serem apreendidas em gabinete, e que ajudarão na elaboração do mapeamento. O conhecimento prévio da vegetação predominante, do tipo climático, do relevo, dos principais tipos de cultivos, entre outros aspectos, é essencial para este tipo de trabalho (FITZ, 2008).

Florenzano (2011) também ressalta o trabalho de campo como indispensável, pois, além de facilitar o processo de interpretação, aumenta o próprio potencial de leitura da imagem de satélite durante o mapeamento. Luchiari (2005), considera o trabalho e a coleta de dados em campo como um procedimento fundamental específico das etapas de mapeamento do uso e revestimento da terra, consistindo num diferencial no resultado final do mapeamento.

Por classificação digital, entendemos como o processo de extração de informação em imagens, através das ferramentas de geoprocessamento, com o objetivo de reconhecer padrões e objetos homogêneos (INPE, 2006). Para a etapa de interpretação de áreas homogêneas, vale lembrar que as imagens são compostas por pixels, e que a visão humana permite a extração da informação mediante a análise de inúmeros pixels em conjunto (PONZONI, et al, 2012). Para automatizar o processo, métodos de classificação digital estão disponíveis nas ferramentas de geoprocessamento, com seus parâmetros, como tipo de reconhecimento e escala de classificação, sendo definidos pelo próprio usuário, de acordo com os objetivos.

Os métodos automáticos de classificação de imagens são aplicados com o objetivo de criar representações temáticas de fenômenos, feições e objetos dispostos sobre a superfície terrestre. Segundo Fitz (2008), estes métodos delimitam porções em que a resposta espectral, baseada na reflectância dos alvos, apresenta as mesmas características ou significados, como: tonalidade, tamanho, textura, padrão, forma, coloração, sombreamento, estereoscopia, localização, entre outros. Estes alvos, de mesmas características nas imagens de satélite, possuem valores aproximados, e tendem a se tornar

unidades de área no mapeamento, porém não de maneira definitiva, já que deve-se levar em consideração também os fatores anteriormente apresentados, como escala e as observações de campo.

A unidade de área a ser mapeada é uma ferramenta conceitual para a análise da cobertura terrestre. É a representação da homogeneidade e diversidade de objetos que recobrem a superfície da terra. Corresponde a uma cobertura considerada homogênea (floresta, campestre, água, etc.) ou a uma combinação de áreas elementares homogêneas, que em suas variações representam a cobertura da superfície terrestre (IBGE, 2006). Ao se definir a unidade de mapeamento, é preciso considerar que a cobertura da terra ocorre sempre como uma combinação de superfícies com maior ou menor grau de homogeneidade, e que dentro do homogêneo existe heterogeneidade. Sendo assim, deve-se ter em mente que, qualquer que seja a fonte básica de informação, nenhuma cobertura da terra poderá ser mapeada em toda sua diversidade e complexidade, e que a unidade de mapeamento deverá fornecer ao usuário uma representação aceitável da realidade (IBGE, 2006).

A unidade de mapeamento, após passar pelas etapas de processamento da imagem de satélite em softwares computacionais de geoprocessamento, se torna unidade de classe temática do mapa, caracterizada por uma classe que lhe foi atribuído após a interpretação, e durante a classificação. É a geração deste tipo de mapeamento – temático – uma das formas metodológicas mais adequadas para a caracterização do uso e cobertura da terra num determinado recorte espacial. Segundo Medeiros e Câmara (2001), os estudos de mapeamento temático visam a caracterizar e entender a organização do espaço, como base para o estabelecimento das bases para ações e estudos futuros. O mapeamento temático de qualquer tipo visa dar origem à futuras etapas como: diagnóstico ambiental, avaliação de impacto ambiental, ordenamento territorial e os prognósticos ambientais (MEDEIROS & CÂMARA, 2001).

Classificar é agrupar objetos, elementos e eventos em conjuntos levando-se em conta suas propriedades segundo um método ou sistema de avaliação (IBGE, 2006). Abstrações mentais de classificação do real são feitas para atender a certos propósitos e às necessidades do usuário. A classificação é subjetiva e está longe de atender a toda complexidade do alvo, não abrangendo as diversidades que por ventura possam haver dentro de uma unidade de área classificada como homogênea no respectivo mapeamento.

Em função disso, Diniz (1984) enfatiza que as classificações só podem ser julgadas “na esfera do adequado – inadequado, significante – não-significante, e jamais na do certo

e errado”. Sendo assim, devem ser definidos parâmetros para que o mapeamento, e seus respectivos resultados, apenas atendam a determinados objetivos e necessidades do pesquisador que os gerou, e dos usuários que a ele possam recorrer, e que esses objetivos possam cumprir seu papel enquanto pesquisa, possuindo validade diante das questões sociais e ambientais propostas.

1.6.2 Classificação de imagens orientada a objetos

A classificação digital é uma das principais funções do processamento de imagens de sensoriamento remoto. Para a geração de um mapa, deve ser aplicada a classificação digital, a qual entendemos como o processo de extração das informações contidas nas imagens, utilizando ferramentas de SIG, com o objetivo de reconhecer e segmentar os padrões homogêneos (INPE, 2006). Os métodos de classificação de imagens criam representações temáticas de feições dispostas sobre a superfície terrestre. Segundo Fitz (2008), estes métodos delimitam porções em que a resposta espectral dos alvos apresenta as mesmas características, e que tendem a se tornar unidades de área no mapeamento.

Para a realização da classificação, são utilizados algoritmos, chamados de classificadores, nos softwares de geoprocessamento. Estes algoritmos podem ser “pixel-a-pixel”, que utilizam apenas a informação espectral de cada pixel para definir classes, e os classificadores “por regiões” que envolvem os atributos espectrais e a relação espacial com os pixels vizinhos, criando segmentos homogêneos (PONZONI et al, 2012). O método de classificação baseado em objetos possibilita o uso de diferentes atributos dos objetos para a sua diferenciação e classificação, se distinguindo dos métodos de classificação tradicionais, já que integra no processo automático outras origens, e não somente os atributos espectrais (CRUZ et al, 2007).

A partir da identificação das diferentes áreas homogêneas, os pixels dentro desta área são submetidos a um algoritmo de agrupamento, chamado de *cluster*, gerando os segmentos (PONZONI et al, 2012). Os polígonos gerados na segmentação são usados pelos classificadores para definir objetos dispostos sobre a superfície terrestre a partir de um conjunto de dados, como atributos relacionados à forma, textura, medida, contexto, e relações de vizinhança, agrupando-os em categorias ou classes temáticas mais precisas,

delimitando objetos mais complexos e evitando longas etapas posteriores de edição manual (DEFINIENS, 2016).

Outro diferencial deste método está na possibilidade da modelagem do conhecimento, que alia o poder empírico do intérprete com as potencialidades da classificação. Conforme destacado nos conceitos de sensoriamento remoto, as imagens possuem diferentes bandas, como as bandas do visível (azul, verde, vermelho) e do infravermelho próximo e médio. Com a modelagem, as referidas bandas podem ser utilizadas como descritores em casos onde a assinatura espectral das amostras de uma determinada classe temática lhes defina maior particularidade. Isso possibilita uma maior exatidão ao processo de classificação, prezando pelas características peculiares de cada classe nas amostras e as definindo como regra para toda a área classificada, evitando confusões na classificação temática.

1.6.3 A correção atmosférica como método de eliminação da interferência atmosférica das imagens de satélite

As partículas presentes na atmosfera, como vapor d'água, aerossóis e gases em suspensão, interferem sobre a energia eletromagnética que chega à Terra. Essa interferência causa os efeitos de espalhamento e de absorção da radiação, produzindo a alteração das propriedades das imagens que são geradas pelos satélites orbitais, alterando o brilho, e diminuindo o contraste entre os alvos terrestres capturados nas imagens (ANTUNES et al, 2012). Diante disso, torna-se fundamental a execução da correção atmosférica, considerada uma etapa de pré-processamento (PONZONI et al, 2012), que se destina a diminuir a interferência dos fenômenos atmosféricos, aprimorando a qualidade das imagens que serão utilizadas em etapas de interpretação e classificação, melhorando a nitidez e aumentando o contraste entre os alvos de diferentes classes temáticas.

Este processo tem se consolidado cada vez mais, e o uso de suas ferramentas tem evoluído principalmente nos últimos anos, no entanto, há dúvidas ainda presentes entre seus usuários. Nos últimos anos, alguns trabalhos buscaram entender as consequências da variabilidade dos parâmetros utilizados para realizar a correção, como em Pimenta et al. (2013). Tal trabalho entendeu que certos parâmetros acabam apresentando maior influência no resultado do produto final do que outros, como a inserção do valor de visibilidade na

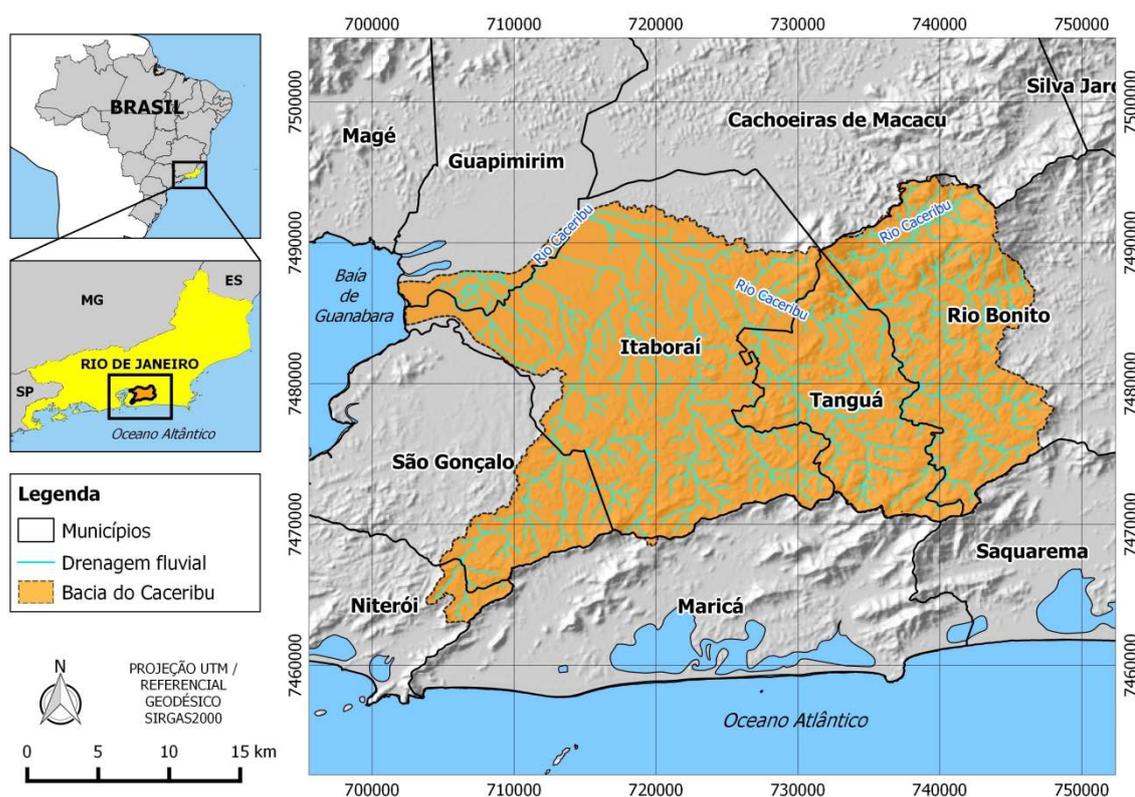
data de aquisição da imagem. No entanto, ainda não existem recomendações precisas do valor de tais variáveis. Além disso, outros trabalhos vêm buscando entender as diferenças existentes entre os algoritmos de correção. Ponzoni et al (2012) destacaram que há dois tipos de correção atmosférica: a correção atmosférica pelo pixel escuro (*Dark-Object-Subtraction* – DOS), e os modelos de transferência radiativa como MODTRAN (*Moderate Resolution Atmospheric Transmission*) e 6S(*Second Simulation of a Satellite Signal in the Solar Spectrum*), que oferecem opções variadas de dados de entrada, baseadas nas informações do satélite e das condições atmosféricas no momento de aquisição da imagem, considerando os fenômenos de absorção e de espalhamento, ao contrário do primeiro, implicando em resultados mais confiáveis (PONZONI et al 2012, p.80).

No caso destes modelos, os valores digitais contidos nos pixels das imagens, que são fornecidos em níveis de cinza, ou números digitais (DN), são convertidos para reflectância de superfície, considerados valores físicos, que correspondem à caracterização espectral dos alvos. Soares et al (2015) apresentaram um estudo comparativo entre os três referidos algoritmos (DOS; MODTRAN; 6S), e através da utilização do mesmo produto e dos mesmos parâmetros, chegaram à conclusão de que o resultado comparativo entre os três métodos apresenta diferenças que impossibilitam delimitar o melhor algoritmo, no entanto, observa em seus resultados, assim como Pimenta et al. (2013) que o algoritmo 6S assinala as respostas espectrais que respondem com maior contraste entre alvos de diferentes classes temáticas, realçando as características espectrais que as diferenciam.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde aos limites da Bacia Hidrográfica do Rio Caceribu (BHRC), localizada na Região Metropolitana do estado do Rio de Janeiro (RMRJ), a leste da Baía de Guanabara, compreendida entre as longitudes S 22°43'30'' e S 22°42'01'', e as latitudes O 42°40'37'' e O 42°59'42''. A área possui cerca de 803km², e abrange os municípios de Itaboraí e Tanguá, e partes de Rio Bonito, Guapimirim, São Gonçalo e Niterói (Figura 5), residindo nela aproximadamente 380 mil habitantes, segundo o último Censo Demográfico (IBGE, 2010).

Figura 5 - Municípios da BHRC

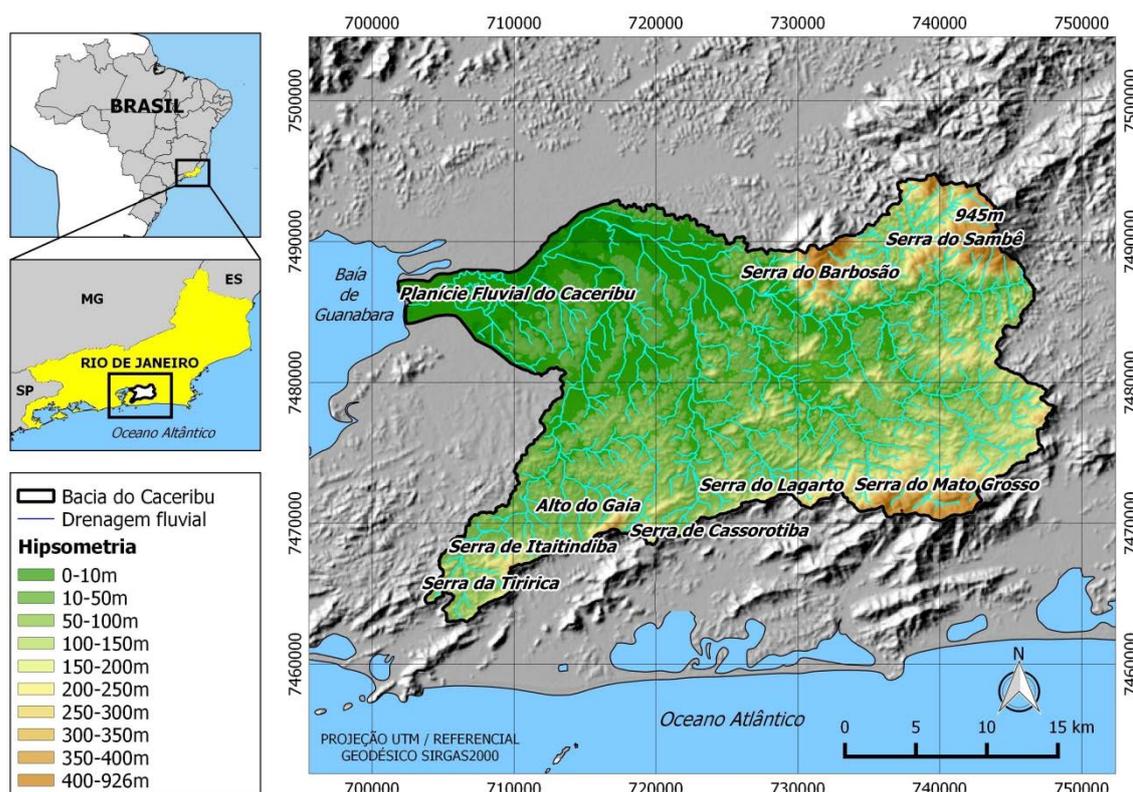


Fonte: Própria. Adaptado de IBGE (2016) e TOPODATA (2015).

A BHRC está localizada numa área com predominância de planícies fluviais e flúvio-marinhas, denominadas de baixadas fluminenses (INEA, 2010). A maior parte da área plana corresponde à planície fluvial do rio Caceribu, à oeste, rio este que flui em direção a seu deságüe na Baía de Guanabara. A BHRC é classificada como uma bacia

exorréica, já que o fluxo de água do seu principal rio se direciona para o mar. As nascentes dos principais rios que drenam a área da bacia encontram-se nos interflúvios à nordeste, leste e sul. Os principais divisores de água da porção sul são: a Serra da Tiririca, em Niterói e São Gonçalo; a Serra de Itaitindiba, em São Gonçalo e Itaboraí; as Serras de Cassorotiba e do Lagarto, em Itaboraí, e a Serra do Mato Grosso, em Tanguá e Rio Bonito; na porção norte localizam-se as duas serras mais elevadas: Serra do Barbosão, em Itaboraí, Tanguá e Rio Bonito; e a Serra do Sambê, em Rio Bonito, onde localiza-se a nascente do rio Caceribu e o ponto mais alto da área da bacia, com 945m de altitude (Figura 6). Cabe destacar que a bacia tomou a atual forma após as intervenções na configuração da rede de drenagem do leste fluminense, nos anos 1970. O rio Caceribu, atualmente com foz própria, era até então afluente do rio Macacu, canal principal da bacia localizada a norte.

Figura 6 - Hipsometria e hidrografia da BHRC



Fonte: Própria. Adaptado de IBGE (2016) e TOPODATA (2015).

A precipitação média anual de chuvas é de 1000mm, e a temperatura média anual é de 25°C (INEA, 2010), dois dos fatores que condicionam o estabelecimento da vegetação. A vegetação original em sua maior parte é composta por Floresta Ombrófila Densa, além

dominavam o setor rural da bacia, compartilhando a paisagem com as olarias e indústrias cerâmicas, estas num passado mais recente (MACHADO, 1998).

A decadência destas culturas agrícolas em meados do século XX foi seguida da expansão urbana e da implantação das atividades pastoris na área rural da bacia, sobretudo de rebanhos bovinos (UFF, 2010). Na década de 1960 o trecho da BR-101 que corta a bacia foi inaugurado, facilitando a expansão urbana ao longo da rodovia, que tem em suas margens os três principais perímetros urbanos da área de estudo: Itaboraí, Tanguá e Rio Bonito. É a rodovia que constitui hoje o eixo em torno do qual se estrutura a ocupação, como já apontava Machado (1998). O processo de urbanização no Brasil, concentrando a maior parte da população nos centros urbanos e arredores, e a construção da Ponte Rio Niterói na década de 1970, contribuíram ainda mais para a expansão imobiliária na área da bacia, caracterizada atualmente como uma extensão da área metropolitana do Rio de Janeiro. Além disso, a construção da RJ-124 em 1998, a Via Lagos, viabilizou o acesso da população da Região Metropolitana para a Região dos Lagos, facilitando ainda mais os processos de expansão urbana no leste da Baía de Guanabara. Cabe destacar que a referida rodovia inicia seu trecho no município de Rio Bonito, na Bacia do Caceribu.

Nos dias atuais, residem na área de estudo aproximadamente 380 mil habitantes, segundo o último Censo Demográfico (IBGE, 2010), distribuídos entre as áreas urbanas e rurais da bacia, onde se encontram as fazendas de gado (Figura 8), e os distanciados remanescentes de cultivos de laranja, além das cerâmicas, testemunhos do passado.

Figura 8 - Fazenda com criação de gado bovino e Serra do Barbosão ao fundo



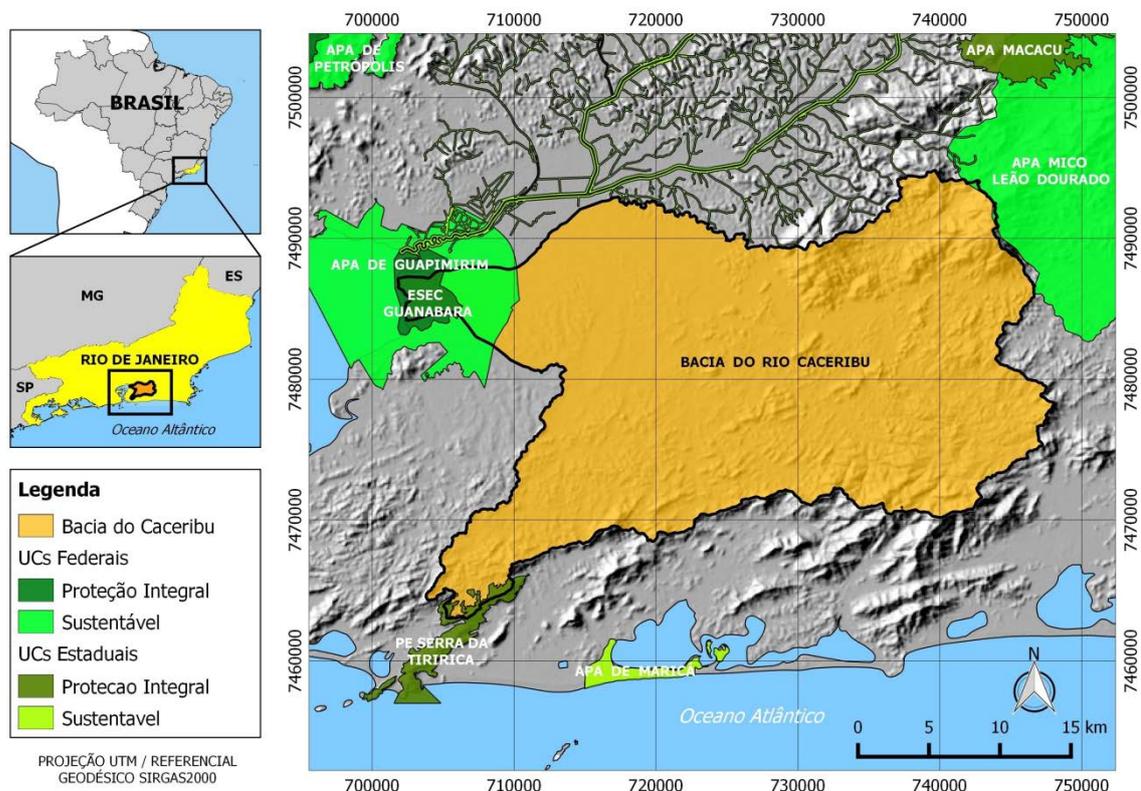
Apresentando destaque na ocupação recente da área da bacia, o Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (Comperj) ocupa uma área de aproximadamente 28Km², e localiza-se na porção norte da bacia, entre os rios Caceribu, Macacu, além de outros

afluentes. A construção do Comperj na área de estudo, com início efetivo em meados de 2010, envolve uma série de conflitos com as comunidades locais, por ser um potencial vetor de impacto ambiental nos ecossistemas e na população localizada na área da bacia (FAUSTINO & FURTADO, 2013). Apesar disso, as obras do referido empreendimento estão praticamente paradas desde 2015, com compromisso de retorno em breve.

Como iniciativas de preservação ambiental, um dos principais instrumentos é a criação das unidades de conservação. Estas podem ser de Proteção Integral, que restringem a alteração das características originais da área, ou de Uso Sustentável, permitindo atividades antrópicas e alterações na paisagem, aliadas a mecanismos como manejo do solo e extrativismo (MMA, 2015). Além disso, podem ser estabelecidas e geridas por iniciativas estaduais ou federais.

O rio Caceribu, que é um dos principais contribuintes em volume d'água da Baía de Guanabara (MMA/IBAMA, 2004), serve também de abastecimento hídrico para a população da bacia e para o próprio Comperj. Apesar da relação entre a dinâmica do canal fluvial e o estado de conservação da vegetação natural, a área compreendida pela bacia é particularmente desprovida da presença de unidades de conservação estabelecidas para preservar a vegetação nativa, ao contrário do caso de bacias hidrográficas vizinhas. As principais unidades de conservação que abrangem a área são a Área de Proteção Ambiental (APA) de Guapimirim, e a Estação Ecológica (ESEC) da Guanabara (Figura 9), ambas federais, e voltadas para a preservação da vegetação de manguezal (ICMBIO, 2015). Além disso, um pequeno segmento do Parque Estadual (PE) da Serra da Tiririca abrange a BHRC, à sudoeste da área da bacia. Dos 803km² da BHRC, 32km² estão localizados dentro de unidades de conservação federais ou estaduais, correspondendo a apenas 3,98% da área total da bacia.

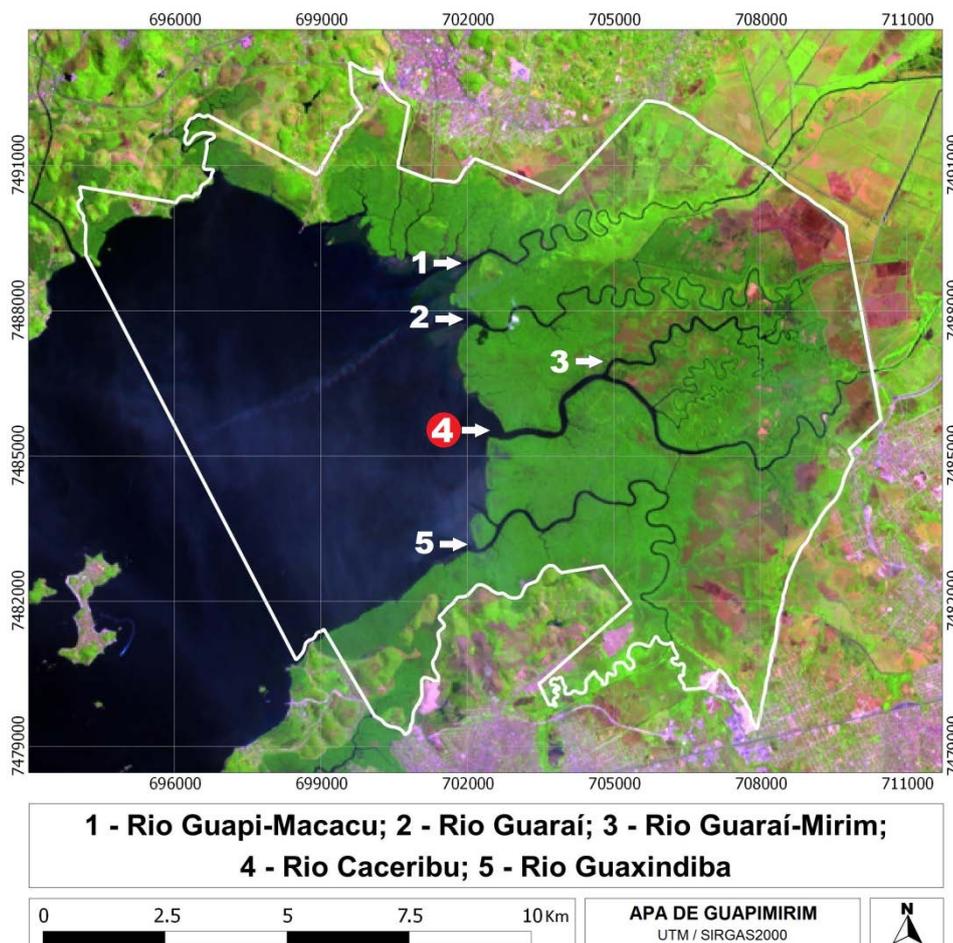
Figura 9 - Unidades de conservação da BHRC e entorno



Fonte: Própria. Adaptado de IBGE (2016), MMA (2015) e TOPODATA (2015).

A principal unidade de conservação da BHRC, a APA de Guapimirim, envolve, na parte que compreende a bacia, 29km² dos municípios de Itaboraí e Guapimirim, sobre uma região de baixadas formadas por depósitos de sedimentos fluvio-marinhos, a maioria trazida pelos rios que ali desembocam (PIRES, 1992, p.28). A área total da APA de Guapimirim é drenada pelos baixos cursos de diversos rios e canais, com destaque para os cinco rios de grande vazão: Guapi-Macacu, Caceribu, Guaraí, Guaraí-Mirim e Guaxindiba (Figura 10), que são responsáveis por mais de 70% de toda a contribuição fluvial da Baía de Guanabara (MMA/IBAMA, 2004, p.208).

Figura 10 - Rios da APA de Guapimirim



Fonte: Própria. Adaptado de INPE (2015) e MMA (2015).

Devido a suas características, a APA de Guapimirim possui uma grande diversidade específica da fauna característica de mangue (OLIVEIRA, 2001). Além disso, a APA também conta com um histórico de intervenções humanas, como a retirada de madeira lenhosa, e a alteração da morfologia original dos cursos d'água e canais da região para saneamento e viabilização de culturas agropecuárias (PIRES, 1986, p.4). Vale ressaltar também que ações antrópicas no entorno da APA podem influenciar negativamente a dinâmica ambiental desta, como a expansão urbana e seus vetores de poluição. A construção do Comperj, à montante dos rios que passam pela APA de Guapimirim, é um exemplo de empreendimento que impacta a estabilidade natural da região (FAUSTINO & FURTADO, 2013, p.43). Em destaque na Figura 11, o baixo curso e a foz do rio Caceribu, localizados dentro dos limites da APA de Guapimirim.

Figura 11 - Baixo curso e foz do rio Caceribu



Fonte: Própria.

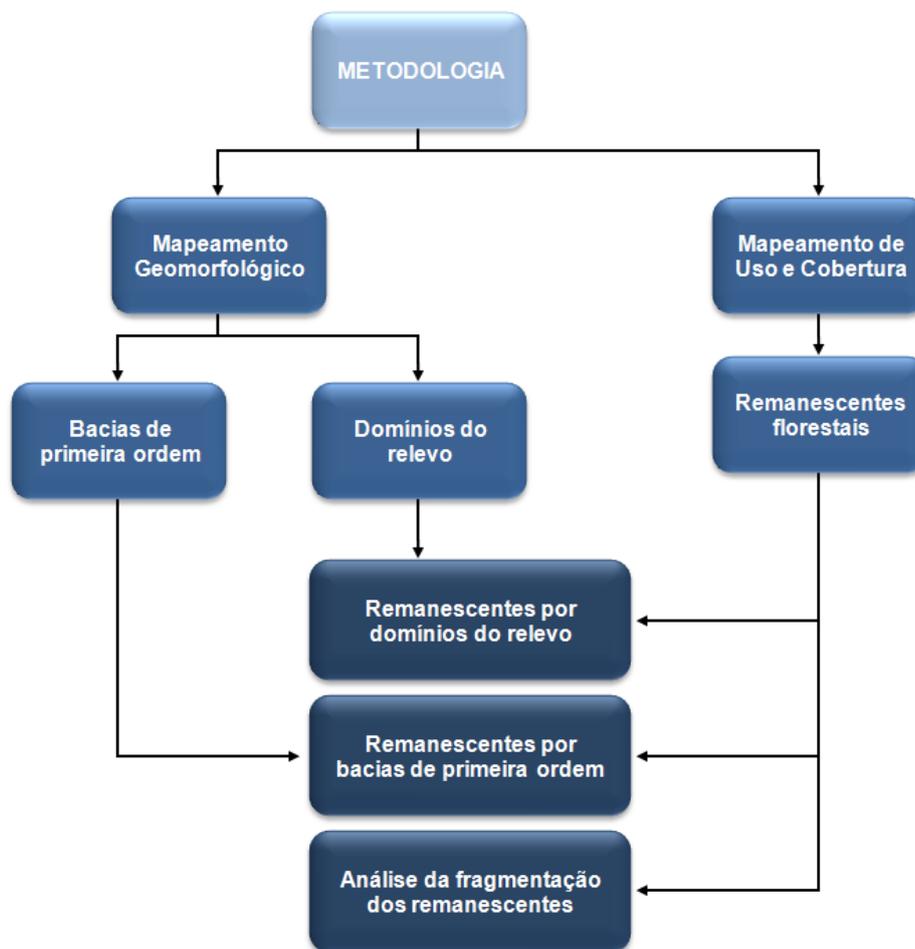
Apesar de não abrangidas pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), os parques municipais desempenham um relevante papel de preservação da vegetação nativa. Na BHRC localizam-se os Parques Naturais Municipais da Serra do Sambê, e da Serra do Barbosão. Com as iniciativas, o INEA (2010) destacou o município de Tanguá como responsável pelo melhor índice de conservação da área da bacia, bem como de toda a região leste fluminense.

Outra questão que recentemente merece atenção são os conflitos por água e a tensão hídrica ao redor da área de estudo, sobretudo o que envolve a construção da barragem do Guapiaçu, rio da bacia vizinha a norte do Caceribu. Barcelos et al (2015) abordaram o quanto o discurso da crise hídrica fundamentam as desigualdades no consumo e na distribuição de água no Brasil e na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, perpetuando a construção de empreendimentos que degradam o ambiente e prejudicam a sociedade, sem sanar as reais necessidades de abastecimento da população

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais e os métodos utilizados na pesquisa visam o alcance dos objetivos propostos, através de técnicas e produtos embasados nas perspectivas teóricas e conceituais anteriormente revisadas e apresentadas. Como objetivo final, aspira-se a análise da distribuição dos remanescentes florestais por domínios geomorfológicos, e nas sub-bacias de terceira e de primeira ordem, na BHRC, considerando a declividade do relevo. Além disso, objetiva-se também a classificação dos padrões de fragmentação dos remanescentes florestais, segundo os pressupostos ecológicos da paisagem. A metodologia utilizou as ferramentas de geotecnologias, e encaminha-se por dois eixos principais: o mapeamento de uso e cobertura, em escala 1:100.000, e o mapeamento geomorfológico (Figura 12), feito a partir de MDE de escala 1:25.000. O primeiro dará os resultados que possibilitarão a extração dos dados de distribuição dos remanescentes florestais. Pelo segundo eixo pretende-se alcançar os mapas de domínios geomorfológicos e de sub-bacias. Por fim, os resultados serão cruzados, a fim de se alcançar os objetivos finais.

Figura 12 - Metodologia geral do projeto



3.1 Mapeamento geomorfológico

Os Modelos Digitais de Elevação (MDE) representam fontes de conhecimento sobre o relevo da superfície terrestre, permitindo a obtenção de informações como elevação, amplitude, declividade, e mapeamento da rede de drenagem, subsidiando assim os estudos ambientais. Inicialmente, os modelos eram gerados a partir da digitalização de dados topográficos coletados em campo, sendo este método substituído pelo da estereoscopia orbital, ou pela interferometria por radar, que corresponde aos atuais MDE, sendo uma alternativa mais eficiente para a geração de bases topográficas padronizadas, cobrindo áreas relativamente extensas em menor tempo (LANDAU & GUIMARÃES, 2011, p.4003).

Os cálculos das variáveis morfométricas foram realizados através da manipulação do MDE Socet SET/ATE, utilizando o SIG *ESRI ArcGIS 10.1*, envolvendo as funcionalidades do *watershed delineation*, um módulo presente nas ferramentas do referido SIG. O MDE foi disponibilizado gratuitamente pelo IBGE (2015) como parte do programa RJ-25, e representa o modelo numérico das características altimétricas da superfície no estado do Rio de Janeiro, articuladas por folhas segundo o recorte do mapeamento sistemático brasileiro.

O MDE foi gerado pelo IBGE (2015), através do módulo *Automatic Terrain Extraction* (ATE), do *software* Socet SET, utilizando fotografias aéreas obtidas a partir de aerolevanteamento. Segundo o IBGE (2015), o produto foi gerado por correlação automática através do algoritmo *Direct Linear Transformation* (DLT). O arquivo possui formato *geotiff*, projeção UTM zona 23S, sistema de referência SIRGAS2000, escala 1:25.000, e resolução espacial de 20 metros por pixel, sendo caracterizado por uma resolução espacial superior à de modelos como o ASTER e o TOPODATA, que possuem 30 metros, e o SRTM, com 90 metros (LANDAU & GUIMARÃES, 2011).

Para a viabilização da metodologia, foram utilizados 14 recortes do MDE Socet SET/ATE, de escala 1:25.000, entre as coordenadas -22°98';-43°15' e -22°60'; -42°50', sendo realizado em seguida um mosaico com a abrangência da área de interesse. A partir de então, foi adotada a metodologia do IPT (1981) para o mapeamento geomorfológico, calculando as seguintes variáveis morfométricas, conforme Seabra (2012): extração da drenagem, sub-bacias de terceira ordem, níveis de base, amplitude do relevo e declividade do relevo, com as classes de domínios geomorfológicos sendo derivadas de cruzamentos espaciais das geometrias geradas nas etapas anteriores, seguidos da edição manual, e de confecção do mapa. Além disso, foi gerado também o mapeamento das sub-bacias de primeira ordem, um dos objetivos da pesquisa, não envolvido pela metodologia do IPT. O fluxograma desta etapa da metodologia está exposto na Figura 13.

Figura 13 - Metodologia do mapeamento geomorfológico

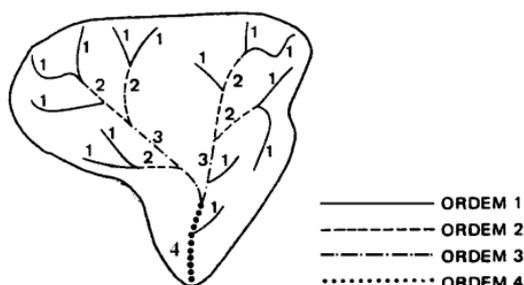


3.1.1 Extração da drenagem e delimitação das sub-bacias

A primeira etapa metodológica após o tratamento do MDE foi a extração semiautomática da rede de drenagem, e a delimitação das sub-bacias de terceira ordem, utilizando a ferramenta *watershed deliniation*, no software *ArcGIS 10.1*, com parâmetro 3.000, limiar definido após testes. Esta etapa permitiu a delimitação e ajuste também da bacia principal, com as sub-bacias de terceira ordem compreendendo, somadas, toda a área da bacia, que corresponde a 803km². Para a classificação da drenagem, foi adotada a hierarquia fluvial de Strahler (1952), para quem os canais de primeira ordem são os tributários dotados de nascentes e sem contribuintes, com a ordem aumentando a cada confluência com outros canais de mesma ordem em direção ao canal principal (Figura 14). A drenagem gerada em formato matricial foi convertida para formato vetorial, e editada para ser ajustada em alguns trechos utilizando como base a drenagem do IBGE (1:25.000), o sombreamento do MDE original, e dados de trabalhos de campo realizados

em 2015. Os produtos gerados serão apresentados no capítulo de resultados, e serão utilizados para os cruzamentos com os dados de uso e cobertura e remanescentes florestais.

Figura 14 - Classificação hierárquica de drenagem de Strahler (1952)



Fonte: Adaptado de Christofolletti (1980).

Após esta etapa, foi realizado o mapeamento das sub-bacias de primeira ordem. As bacias de primeira são as áreas de drenagem compreendidas pelos canais de primeira ordem, segundo a hierarquia de Strahler (1952), estando localizadas nelas as nascentes dos rios. A retirada de vegetação nativa destas áreas reduz a capacidade de captação de água das chuvas, diminuindo a infiltração e o armazenamento hídrico no solo, favorecendo o escoamento superficial. Este processo repercute na ocorrência de erosão do solo nas vertentes, enchentes nos vales, diminuição ou extinção do volume dos cursos d'água, comprometendo o suprimento para as populações que se encontram à jusante da bacia, e a alteração da dinâmica natural de remoção, transporte e deposição de sedimentos, podendo causar a supressão ou o assoreamento do canal, alterando a forma, a largura e a profundidade do curso d'água (CHRISTOFOLETTI, 2015). Daí a importância da delimitação e preocupação com o estado de conservação destas áreas.

Para a delimitação das sub-bacias de primeira ordem, foi utilizada a drenagem gerada na etapa anterior, a qual foi submetida a processamento, no módulo *watershed delineation*, através da definição do limiar de 1.000 pixels. O resultado será discutido no capítulo de resultados, e utilizado para cruzamento com os dados de uso e cobertura da terra e remanescentes florestais.

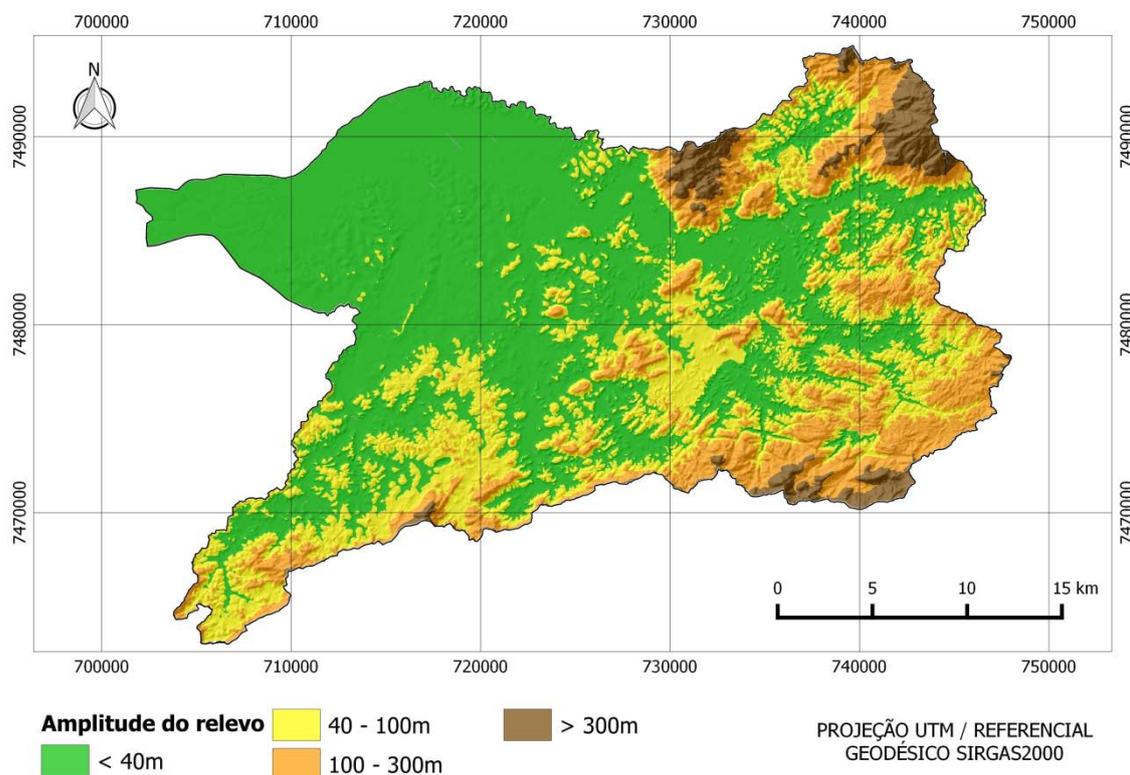
3.1.2 Cálculo da amplitude do relevo da BHRC

A amplitude do relevo refere-se à diferença entre a altitude de um ponto e a altitude do nível de base local. A amplitude relativa de um relevo é dada pelas alturas ou cotas relativas, que não devem ser confundidas com a altitude absoluta, que é tomada em relação ao nível do mar ou superfície de referência (GUERRA & GUERRA, 1997).

Para cada uma das sub-bacias de terceira ordem geradas anteriormente, foram definidos os níveis de base a partir da confluência dos rios. A partir dos pontos correspondentes aos níveis de base, e da altitude absoluta, obtida a partir do MDE, foi calculada a amplitude em cada sub-bacia de terceira ordem e na bacia hidrográfica inteira.

Para representar a amplitude do relevo, quatro classes foram adotadas, seguindo a metodologia do IPT (1981): <40m; 40-100m; 100-300m; >300m. A classe de amplitudes inferiores a 40m ocupou cerca de 54,5% da área total, distribuída por toda a bacia, sobretudo nos vales dos rios principais e na porção noroeste, onde encontra-se a planície fluvial do rio principal (Figura 15). A classe 40-100m destacou-se nos sopés das partes mais altas, também distribuída por toda a bacia, ocupando 24,95% da área total. Nas partes mais altas, a classe 100-300m ocupou 16,01% da área total, e a classe de amplitudes superiores a 300m representaram 4,54% da bacia. O referido produto possui o potencial de subsidiar a geração de outras informações que buscam auxiliar nas análises ambientais.

Figura 15 - Amplitude do relevo da BHRC



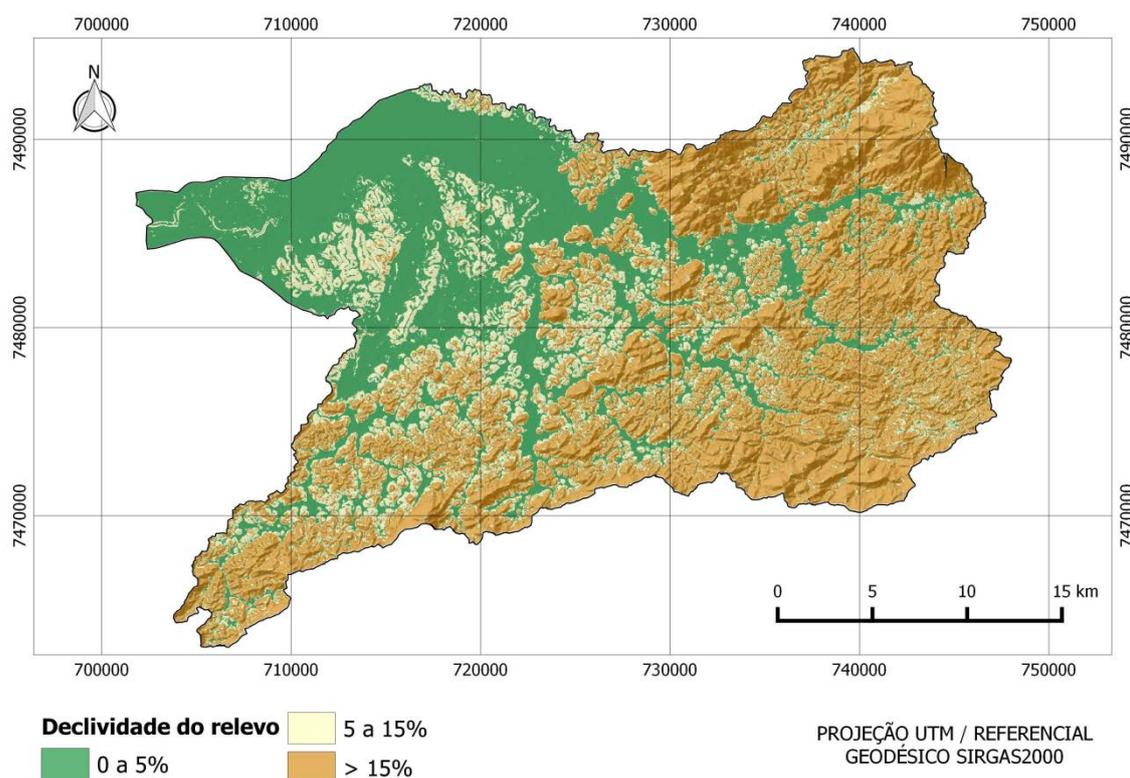
3.1.3 Cálculo da declividade do relevo da BHRC

A declividade é o grau de inclinação de um terreno em relação à linha do horizonte, podendo ser expressa também em porcentagem, medida pela tangente do ângulo de inclinação multiplicada por 100. A declividade do relevo influencia nos processos erosivos e nas potencialidades e restrições para estabelecimento de atividades humanas.

O cálculo de declividade foi gerado a partir da ferramenta *slope*, dividindo o modelo em três classes: 0 a 5%; 5 a 15%; > 15%. No mapa de declividade (Figura 16) pode-se observar o contraste do relevo na área pesquisada, com a planície fluvial (0-5%) dos principais canais que escoam em direção ao leito do canal principal, que tem sua foz à noroeste da área da bacia hidrográfica. Esta classe representou cerca de 43% da área. Ainda na parte noroeste da bacia, há grande presença de sistemas de relevo com declividade entre 5 e 15%, que ocuparam ao todo cerca de 6% da área total. As declividades acima de 15% estão presentes na maior parte da bacia, com aproximadamente

51% da área total, correspondendo às porções nordeste (Maciços Continentais), leste e sul (Maciços Costeiros). Assim como a amplitude, os dados de declividade possuem potencial de auxiliar na elaboração de informações que dêem subsídios à análises ambientais.

Figura 16 - Declividade do relevo da BHRC



3.1.4 Domínios geomorfológicos da BHRC

Para a identificação dos domínios geomorfológicos na BHRC foi adotada uma adaptação da metodologia empregada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas no mapeamento geomorfológico do estado de São Paulo (IPT, 1981). Esta metodologia não aspira o mapeamento de unidades e a gênese do relevo, mas sim os domínios geomorfológicos, baseados em aspectos morfométricos, e obteve resultados satisfatórios para a compreensão das formas de relevo, sendo adotada por Florenzano (2008), Pires Neto (1992), e Florenzano & Csordas (1993), no desenvolvimento de mapas em diferentes regiões do estado de São Paulo. 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. Os principais critérios adotados para a elaboração do mapa são os dados de amplitude e de declividade do relevo, e a adaptação feita desconsiderou a classe *Morros com vertentes suavizadas*, que registrou apenas 0,7% da área mapeada pelo IPT em São Paulo em 1981, considerando os parâmetros desta classe em *Relevo Colinoso*.

Para a confecção do mapa geomorfológico, foi feito um cruzamento das camadas espaciais de declividade e de amplitude na BHRC, geradas nas etapas anteriores, atribuindo a cada classe os parâmetros de declividade e de amplitude que às caracterizam (Quadro1). As classes estabelecidas foram as de Montanhas, Morros, Morrotes, Colinas e Planícies, se enquadrando no 1º táxon das classificações geomorfológicas definidas por Argento (2015), e no 4º táxon dos tipos de forma de relevo propostos por Ross (1992).

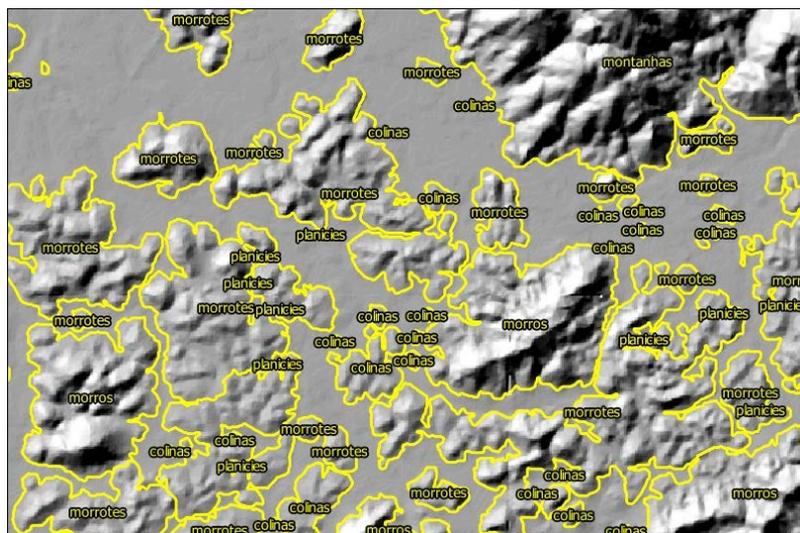
Quadro 1 - Classes de unidades do relevo da BHRC

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

Fonte: Adaptado de IPT (1981).

As áreas inferiores a 2 hectares foram eliminadas, em processo semiautomático, para uma maior generalização do mapa e supressão de ruídos. Por fim, todo o mapa passou por um processo de edição matricial, num *zoom* aproximado de 1:10.000, com o auxílio de uma imagem raster de sombreamento do relevo gerada a partir do MDE original, com valor 1 de exagero vertical, ou fator Z (Figura 17), e com auxílio de dados de trabalhos de campo realizados para verificar a compatibilidade do mapeamento.

Figura 17 - Edição do mapa geomorfológico



Para critério de validação do resultado, as classes foram convertidas para objetos vetoriais, e foram submetidas a um cruzamento espacial com o MDE original, a fim de mensurar os valores máximos e médios de altitude absoluta de cada classe, e um perfil topográfico foi traçado. Os valores de altitude absoluta e o perfil topográfico também foram analisados em campo em alguns pontos com GNSS *Garmin Etrex* e câmera fotográfica. Os produtos finais gerados serão discutidos no capítulo de resultados.

3.2 Mapeamento de uso e cobertura da terra

O início da década de 1970 é marcado por uma nova concepção nos levantamentos do uso e cobertura da terra. O lançamento do sistema ERTS (*Earth Resources Technology Satellites*), em julho de 1972, inicia a produção de imagens multiespectrais destinadas aos levantamentos de recursos terrestres, dentre eles o uso e cobertura da terra (LUCHIARI, 2005). O programa, após três anos, passou a ser denominado de Landsat e, ao longo dos anos, disponibilizou imagens de diferentes sensores, com diferentes resoluções. O sensor MSS, iniciado em 1975, possuía resolução espacial de 80x80m por pixel. Após os lançamentos dos satélites com sensor TM, nos anos 1980, 1990 e 2000, hoje o programa Landsat está oitavo satélite da série, com o sensor OLI, lançado em 2013. O Brasil, por meio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), recebe as imagens desde 1973.

Para realização da pesquisa, foi utilizada uma imagem do satélite Landsat 8, sensor OLI, órbita 217 ponto 76, correspondendo à Baía de Guanabara e Região Metropolitana do Rio de Janeiro. O download da imagem foi realizado na página do *United States Geological Survey* (USGS, 2015). A imagem é fornecida com correção geométrica, ou ortorretificação, e encontra-se em projeção UTM e referencial geodésico WGS84, zona 23 Sul, com data de aquisição de 13 de fevereiro de 2015, sendo utilizadas sete bandas espectrais, conforme a Tabela 4. Ambas as bandas selecionadas na imagem adquirida possuem resolução espacial de 30x30m por pixel, resolução radiométrica de 16 bits por pixel, e foram geradas pelo sensor OLI do satélite Landsat.

Quadro 2 - Bandas da imagem LANDSAT OLI 13/02/2016

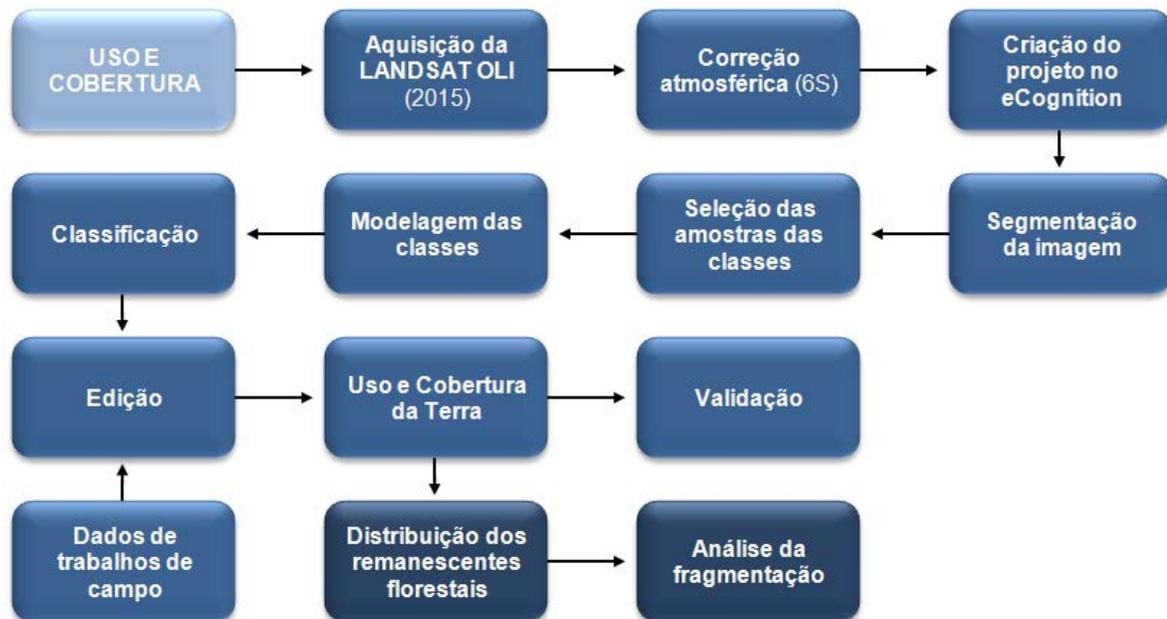
Nº da banda	Faixa espectral	Sensores	Resolução
2	0.45 - 0.51 (blue)	OLI	30m
3	0.53 - 0.59 (green)	OLI	30m
4	0.64 - 0.67 (red)	OLI	30m
5	0.85 - 0.88 (NIR)	OLI	30m
6	1.57 - 1.65 (SWIR-1)	OLI	30m
7	2.11 - 2.29 (SWIR-2)	OLI	30m

A faixa espectral corresponde aos comprimentos de ondas captados em cada banda. O azul (banda 2) apresenta grandes penetrações em corpos d'água, destacando-os dos demais alvos. O verde (banda 3) apresenta sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão. O vermelho (banda 4) apresenta grande absorção de energia por parte da vegetação densa e uniforme, ficando escura, permitindo a análise de diferentes tipos de cobertura vegetal e a diferenciação da vegetação com demais tipos de usos do solo. No infravermelho próximo (banda 5) a vegetação densa e uniforme reflete muita energia, aparecendo clara, apresentando sensibilidade à rugosidade, e os corpos d'água apresentam grande absorção, ficando escuros. Esta banda propicia maior detalhamento em relação ao delineamento de redes de drenagem. O infravermelho médio (bandas 6 e 7) apresentam a captação da sensibilidade ao teor de umidade das plantas. As referidas descrições a respeito das características das bandas são disponibilizadas pelo INPE (2015).

A primeira etapa pretendida com uso das imagens é o pré-processamento, ou tratamento, através da correção atmosférica, com o objetivo de aprimorar sua nitidez. Após isso, a imagem será importada para o projeto criado no software responsável por seu

processamento, envolvendo as etapas de segmentação, seleção de amostras de classes, modelagem, pré-classificação, edição, envolvendo os dados coletados em trabalho de campo, e classificação (Figura 18).

Figura 18 - Metodologia do mapeamento de uso e cobertura da terra



As etapas de classificação envolverão o método baseado em objetos. Por fim, uma análise quantitativa das classes de uso e cobertura será feita, e as informações sobre os remanescentes florestais serão destacadas para serem usadas para geração dos resultados finais da pesquisa, objetivando o cruzamento com as informações de geomorfologia, além da análise e classificação dos padrões de fragmentação.

3.2.1 Correção Atmosférica

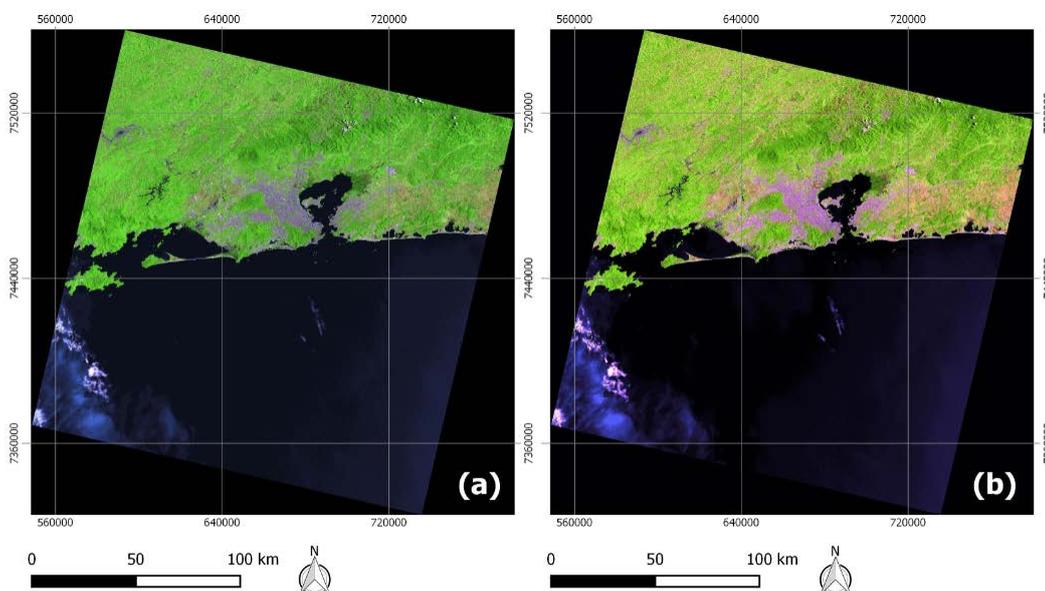
Com o objetivo de aprimorar a qualidade das imagens, um processo de correção atmosférica foi aplicado utilizando o algoritmo 6S. O 6S (*Second Simulation of a Satellite Signal in the Solar Spectrum*) é um algoritmo que utiliza o modelo de transferência radiativa, através do preenchimento de parâmetros requisitados pelo programa, como metadados e condições atmosféricas da data e local de aquisição da imagem, diminuindo a

interferência dos fenômenos atmosféricos, e convertendo os valores dos pixels de números digitais (DN) para reflectância de superfície (ANTUNES et al, 2012).

Os parâmetros de entrada foram definidos como: modelo de atmosfera tropical; modelo de aerossóis urbano; e parâmetro de visibilidade de 30 km, de acordo com as características locais e da época do ano. O referido parâmetro de visibilidade foi estimado pelo *AtcorII*, além disso, após uma série de testes no 6S, valores de visibilidade inferiores a este não surtiram em maiores diferenças visuais. A superfície média é de 150m acima do nível do mar, obtida após análise da média de altitude na área da bacia utilizando a calculadora de campo do *software* QGIS. Além destas informações, foram adicionados também outros parâmetros requeridos pelo programa e que se encontram nos metadados fornecidos juntos com a imagem, dentre eles o zênite solar (33,6), o azimute solar (79,3), a data da imagem (13/02/2015), a hora universal em números decimais (17.375800), e as coordenadas geográficas do centro da cena (-43.43557100; -23.11535100).

Para a correção no 6S, a imagem *tiff* original precisa ser convertida para o formato *raw*, utilizando para isso o *software* *Spring* 5.2.7, e em seguida os parâmetros acima citados são inseridos através da confecção manual de um arquivo de *input* em formato *txt*, lido pelo programa 6S. Com a execução da correção, as imagens adotam valores de reflectância de superfície, tendo amenizadas as interferências dos efeitos atmosféricos, apresentando maior nitidez. As imagens foram importadas no *Spring* e convertidas para o formato *tiff*, tipo de arquivo passível de leitura para as próximas etapas da metodologia. Ao ser observado ainda no *Spring*, o produto gerado apresentou uma melhora visual significativa em relação a imagem bruta, conforme observado na Figura 19, onde duas composições R6G5B4 foram criadas, com a mesma qualidade de contraste aplicada.

Figura 19 - Composição R6G5B4 da imagem original (a) e da imagem corrigida no 6S (b)

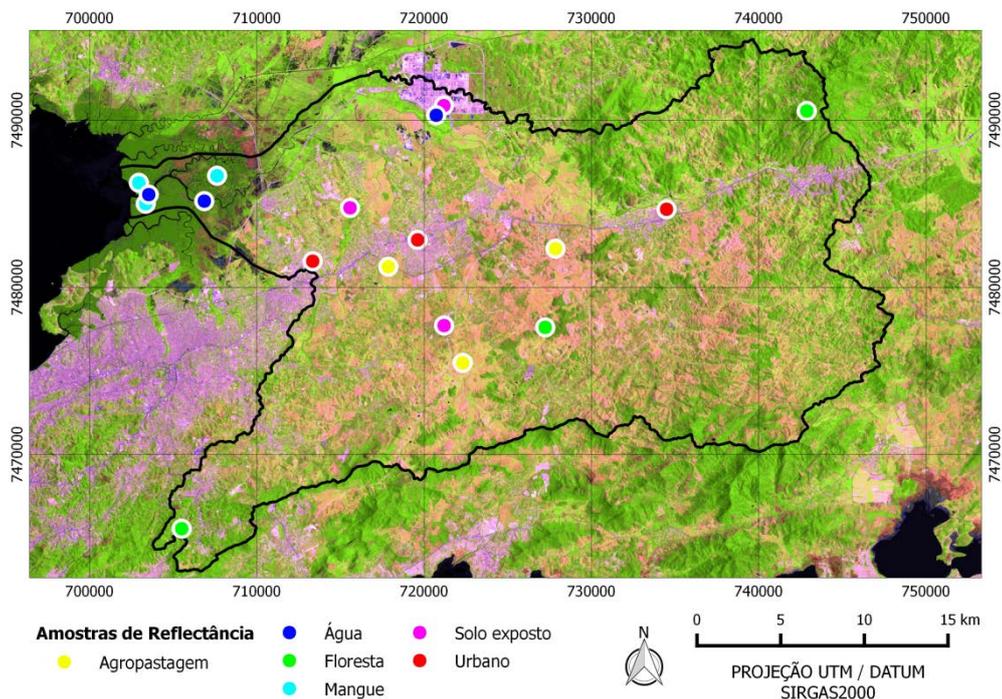


Para que seja feita uma adequada comparação entre a imagem original e a imagem corrigida no 6S, para além da aparência visual, os valores digitais da imagem original devem também ser convertidos para valores físicos, passando de níveis de cinza (ND) para reflectância aparente, ou reflectância de topo de atmosfera (TOA). Tal conversão é possível através da aplicação de fórmula matemática na calculadora raster do *software*, fornecida pela USGS (2016).

$$\rho\lambda' = \frac{M\rho Q_{cal} + A\rho}{\sin(\theta SE)}$$

Para a conversão, a reflectância aparente ($\rho\lambda$) deve ser igual a reflectância *multiband* de cada banda da imagem ($M\rho$) multiplicada pela imagem (Q_{cal}), somada à reflectância *addband* de cada banda ($A\rho$), valores divididos pelo seno da angulação solar do momento da aquisição da imagem ($\sin\theta SE$). Todos os valores podem ser consultados nos próprios metadados que foram adquiridos juntamente com as imagens. Os valores de reflectância de topo de atmosfera são dados em percentual, na mesma unidade de medida e escala dos valores de reflectância de superfície, adotados nas imagens corrigidas no 6S, permitindo, desta forma, a comparação entre os valores físicos das duas. Para a comparação, três amostras de cada classe definida foram selecionadas (Figura 20).

Figura 20 - Localização das amostras da correção atmosférica



As amostras de cada classe, em formato *shapefile*, passaram por uma interseção com as imagens originais e com as corrigidas, para extração dos valores de média de cada uma. Por fim, as médias das três amostras de cada classe foram calculadas, sendo gerado um gráfico com as linhas correspondentes a resposta espectral da imagem original (TOA) e da imagem corrigida (6S) para cada classe temática, em cada banda, conforme Figuras 21, 22 e 23. A metodologia de correção e de comparação seguiu a proposta de Soares et al (2015). A análise dos gráficos permitiu observar que as classes de áreas urbanas, agropastos, florestas, e sobretudo de mangue e água, caracterizadas por uma reflectância inferior às outras, tiveram com o 6S os seus valores inferiores ainda mais acentuados nas bandas 2 (azul) e 3 (verde).

Figura 21 - Reflectância (em %) das amostras de água e de solo exposto

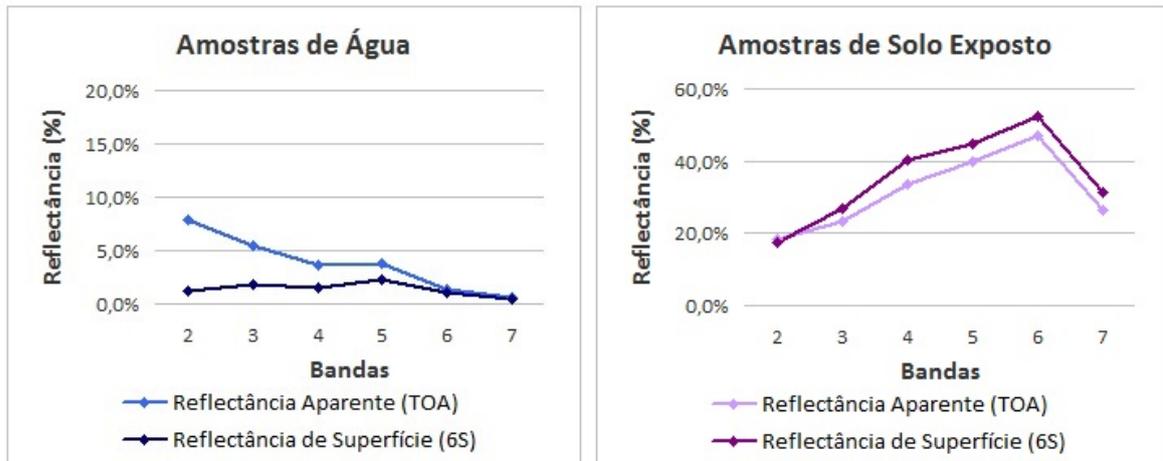


Figura 22 - Reflectância (em %) das amostras de floresta e de mangue

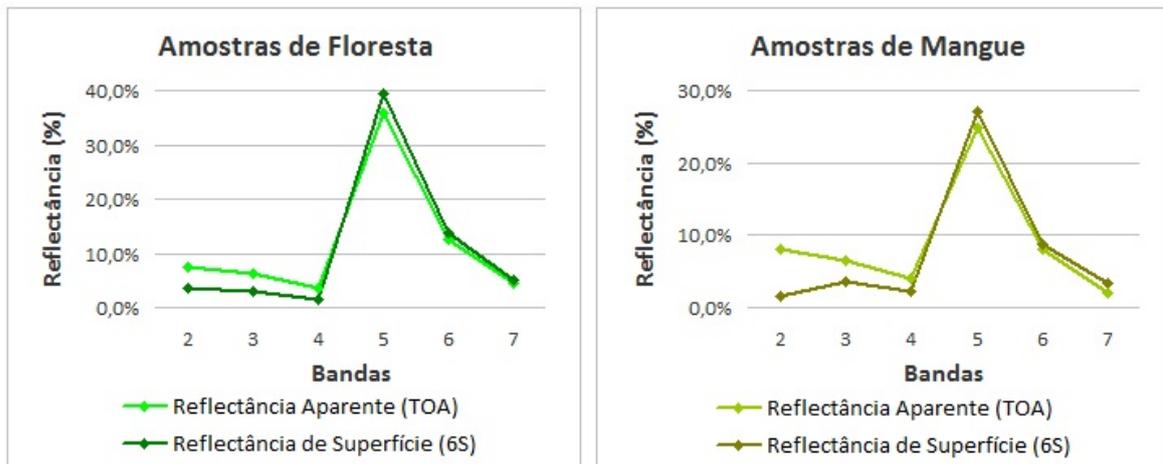
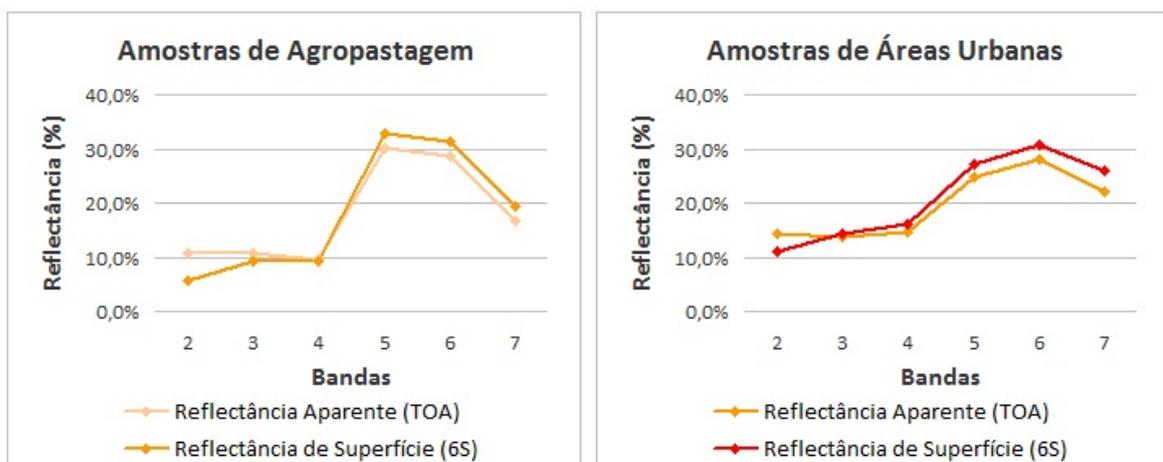


Figura 23 - Reflectância (em %) das amostras de agropasto e de áreas urbanas



Nas bandas do vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio (4, 5,6 e 7), todas as classes, exceto a água, obtiveram uma resposta espectral superior no 6S, sobretudo o solo exposto, as áreas urbanas e o agropasto. Na banda do infravermelho próximo (5), a floresta e o mangue, caracterizados por grande biomassa, obtiveram no 6S uma resposta superior à da reflectância aparente.

Os resultados analisados refletem bem a resposta visual apresentada na imagem, que teve acentuadas as diferenças entre os alvos de características opostas, como a água – que ficou ainda mais escura, e o solo exposto – que ficou ainda mais claro, na maioria das bandas. As amostras obtiveram os resultados esperados, baseados na pesquisa de Soares et al (2013) e Pimenta et al (2013). As referidas características influenciaram na escolha das amostras selecionadas para a classificação, fornecendo suporte para uma decisão mais firme. Além disso, têm o potencial de aprimorar a etapa de interpretação da imagem para realização da edição manual, já que amenizou a interferência atmosférica das imagens.

3.2.2 Modelagem e classificação de uso e cobertura

Após a realização da correção atmosférica, um projeto foi criado no *softwareeCognition Developer 64*, com a projeção UTM e o referencial geodésico SIRGAS2000. As imagens não passaram por processos de georreferenciamento ou ortorretificação já que estas já são fornecidas com correção geométrica, e foram convertidas para os mesmos parâmetros do projeto. No ato da criação do projeto, as imagens foram importadas e recortadas com uma máscara *shapefile*, contendo um polígono da área da bacia, gerado na etapa do mapeamento geomorfológico, com área aproximada de 803km², conforme a Figura 24. Em seguida, foram segmentadas utilizando o algoritmo *multiresolution segmentation*, com parâmetros de escala 40, forma 0.1 e compacidade 0.5. Os referidos parâmetros foram definidos após uma série de testes até que a segmentação mais satisfatória fosse atingida, em relação à homogeneidade da resposta espectral dos pixels contidos em cada segmento (Figura 25).

Figura 24 - Carta-imagem da BHRC com composição Landsat R6G5B4

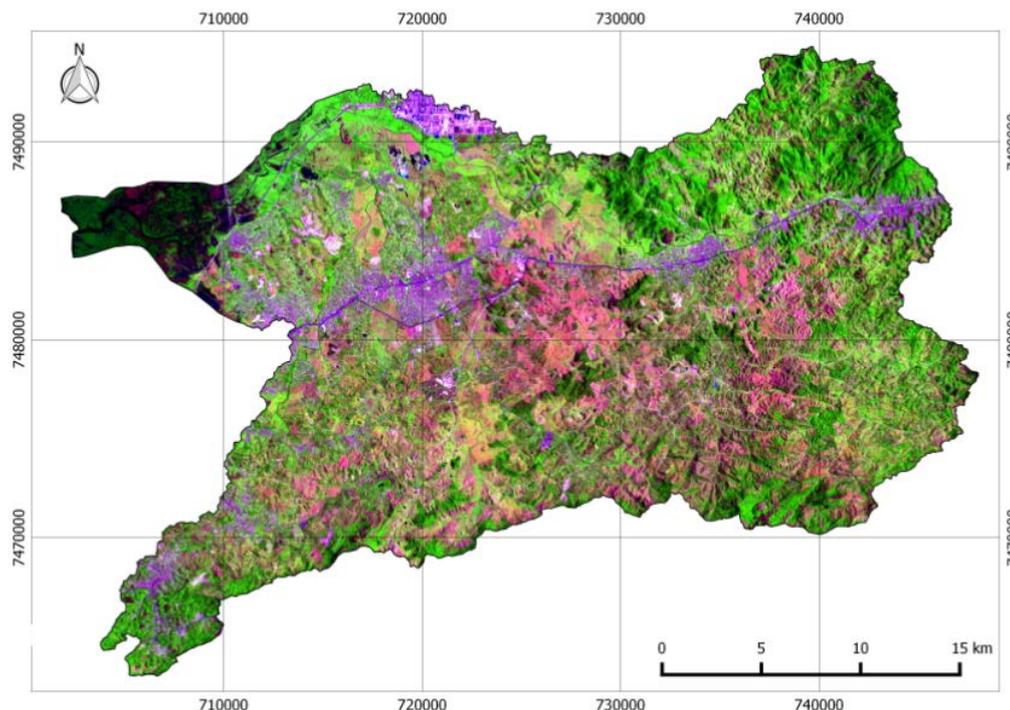
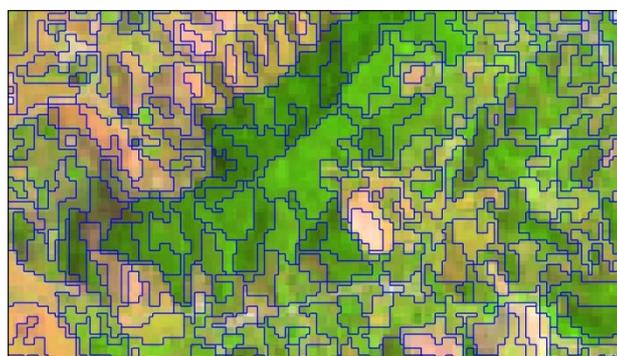


Figura 25 - Segmentação da imagem Landsat



Após a segmentação, foram definidas as classes – floresta, mangue, agropasto, urbanização, solo exposto, água – segundo as chaves de interpretação contidas na Figura 25. Cerca de quinze amostras foram coletadas para cada classe em toda a área da bacia, e a descrição de cada classe definida segue:

- Floresta – Vegetação natural aluvial e demais coberturas naturais arbóreas e arbustivas, exceto mangue, abarcando nesta classe também os remanescentes primários, os diferentes estágios sucessionais de recomposição florestal, e os reflorestamentos (IBGE, 2013). Na área da bacia, a vegetação está associado ao Bioma Mata Atlântica (IBGE, 2004), enquadrando-se na Região Fitoecológica da

Floresta Ombrófila Densa (INEA, 2010), sendo esta uma vegetação perenifólia, predominantemente arbórea, com dossel de até 50m (IBGE, 2013);

Figura 26 - Floresta em área montanhosa. (S 22.7181; O 42.7434)



Figura 27 - Fragmento de floresta em área plana. (S 22.7880; O 42.8350)



- Mangue – Vegetação natural pioneira associada às margens de baías, enseadas, barras, desembocaduras de rios, lagoas e reentrâncias costeiras, onde haja encontro de águas de rios com a do mar, sofrendo influência fluviomarinha (IBGE, 2013). Na área da bacia, a vegetação consiste num ecossistema associado ao Bioma Mata Atlântica (IBGE, 2004), enquadrando-se na Região Fitoecológica da Floresta Ombrófila Densa (INEA, 2010), sendo caracterizada como uma vegetação de manguezal de fundo de baía, do tipo ribeirinho (ARAÚJO & MACIEL, 1979). As principais espécies encontradas são: *Rhizophora mangle* (mangue vermelho); *Laguncularia racemosa* (mangue branco); e *Avicennia schaueriana* (mangue preto), ambas de padrão arbóreo (ARAÚJO & MACIEL, 1979);

Figura 28 - Mangue na APA de Guapimirim. (S 22.7180; O 42.9946)



- Agropasto – Áreas de vegetação rasteira, ou pasto, e áreas de macega, também chamadas de pasto sujo, utilizadas para criação de gado, abrangendo nesta classe também as ocorrências de cultivos agrícolas em pequena escala, como os cultivos familiares, e os solos preparados para cultivo, quando houver (IBGE, 2013);

Figura 29 - Pasto limpo dominado por gramíneas. (S 22.8565; O 42.8365)



Figura 30 - Pasto sujo com presença de arbustos. (S 22.7145; O 42.7742)



- Urbanização – Ocupação urbana caracterizada por construções envolvendo nesta classificação os seus diferentes estágios: rarefeito (menor ocupação, envolvendo lotes vazios intercalando com residências); médio (ocupação contínua, com poucas interrupções, entre um e dois pavimentos); intensa (ocupação contínua, sem interrupções, com presença de variados tipos de construções acima de um pavimento), assim como diferentes tipos de urbanização, como instalações industriais;

Figura 31 - Perímetro urbano de Manilha, em Itaboraí. (S 22.7710; O 42.9271)



- Água – Espelhos d'água das lagoas ou de rios, incluindo áreas alagadas temporárias que estejam presentes na imagem, como afloramentos de lençol freático (IBGE, 2013), e os lagos provenientes de extração em atividades mineradoras (DNPM, 2015);

Figura 32 - Médio curso do Rio Caceribu. (S 22.7230; O 42.7748)



Figura 33 - Baixo curso do Rio Caceribu. (S 22.7152; O 43.0009)



- Solo exposto – Áreas de exploração de saibro (DNPM, 2015), pedreiras, e solos preparados para construção civil em áreas urbanas ou industriais.

Figura 34 - Solo exposto em Tanguá. (S 22.7476; O 42.7161)



Figura 35 - Chaves de interpretação das classes de uso e cobertura na BHRC



Após as amostras coletadas, foi definida uma hierarquia de classes, e cada classe foi modelada utilizando lógica booleana nos descritores das médias (*mean*) das bandas onde a resposta espectral apresentou maior particularidade em comparação com as outras classes (Figura 36). As primeiras classes modeladas foram as de água e outros, sendo esta dividida em verde, urbano, solo exposto e agropasto. Uma imagem raster temática de geomorfologia da área da bacia foi adicionada ao projeto, e utilizada como descritor para definir que áreas verdes em áreas de planícies fossem correspondentes à classe de mangue, diferenciando-a da classe de floresta. A hierarquia de classes e os descritores utilizados estão apresentados no fluxograma da modelagem (Figura 37).

Figura 36 - Modelagem booleana de classes utilizando descritores. Classe verde (amostras em preto) modelada nas bandas 4 e brilho; classe urbana (amostras em azul) modelada na banda 4

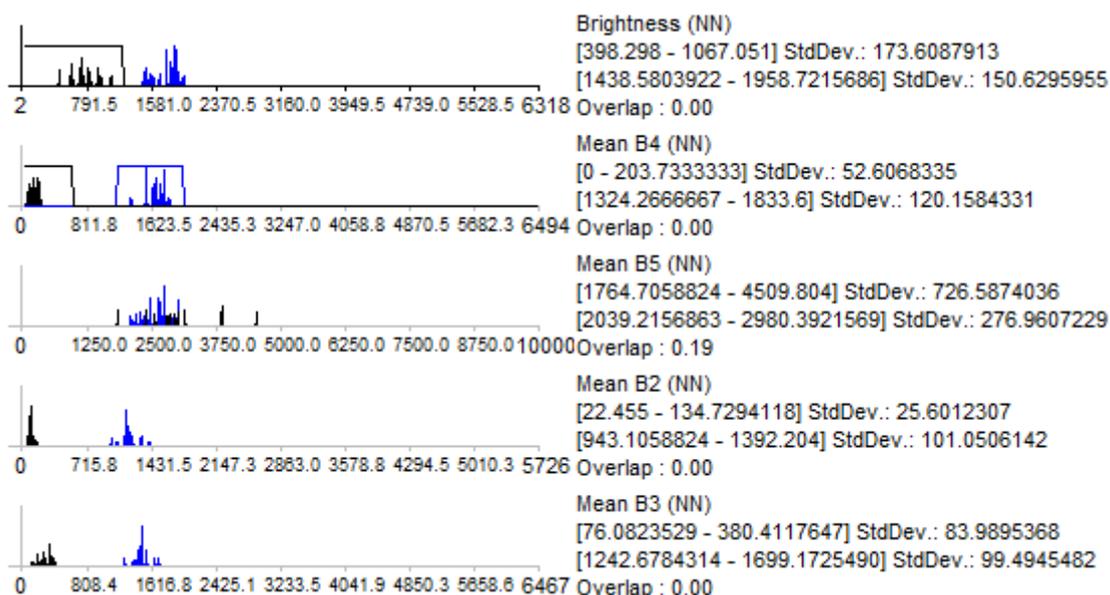
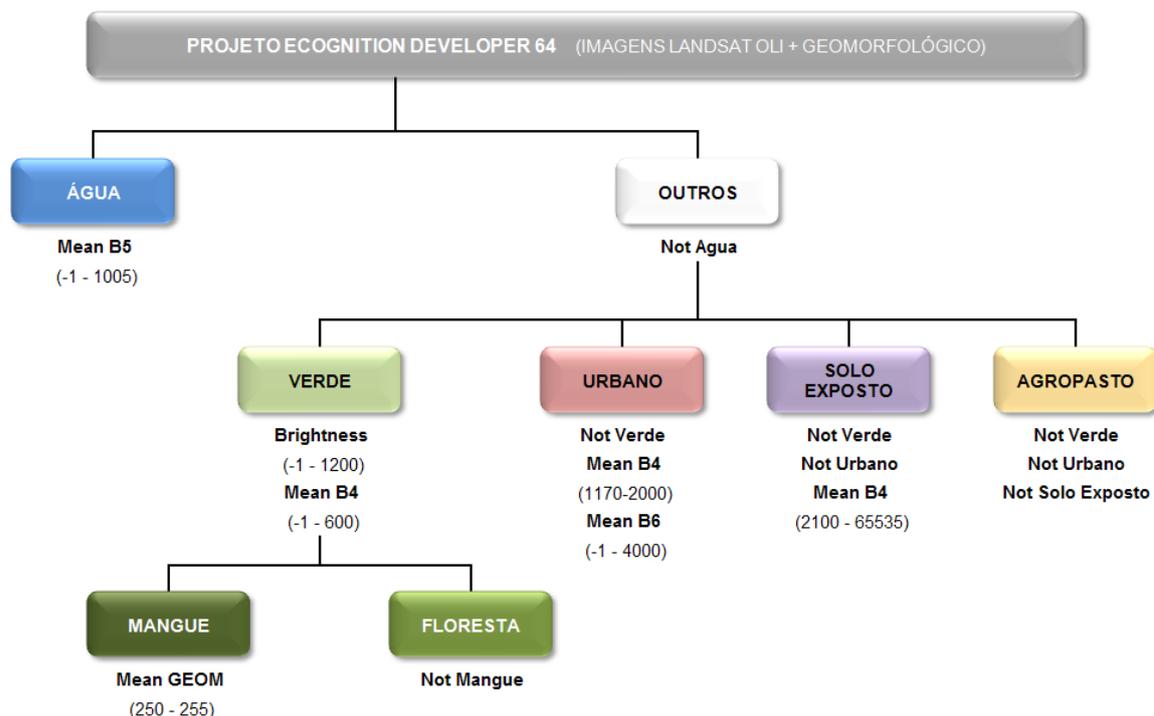


Figura 37 - Modelagem das classes de uso e cobertura



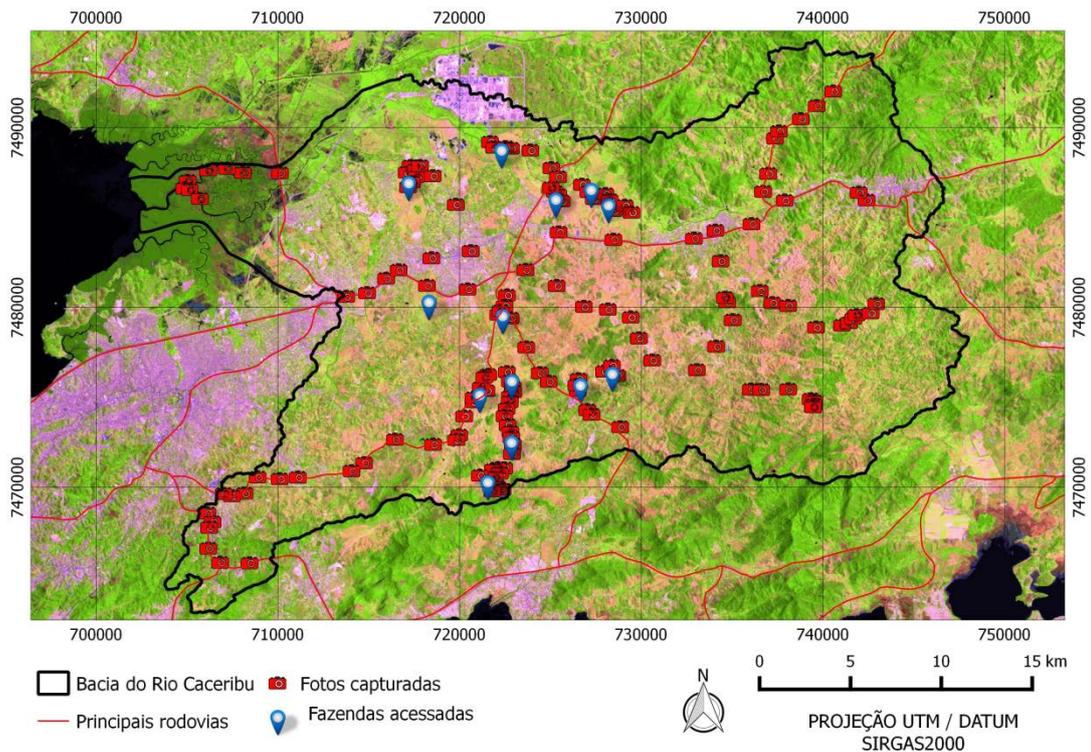
Após a conclusão da modelagem, três processos de classificação prévia foram executados, seguindo a hierarquia da modelagem, e utilizando o algoritmo *classification*. A primeira classificação envolveu a classe água, utilizando como descritor a média da banda 5, e a classe outros como as demais áreas. A segunda classificação envolveu as demais áreas, e utilizou a média da banda 4 e o brilho para definir a classe verde; as médias das bandas 4 e 6 para classificar a classe urbana; a média da banda 4 para classificar solo exposto; e o agropasto como a classe que não corresponde às anteriores. Por fim, duas modelagens foram feitas na classe verde: a geomorfologia foi utilizada como descritor para definir que áreas da classe verde localizadas em planícies são de mangue; e as demais áreas da classe verde são de floresta.

3.2.3 Edição e atividades de campo

A classificação foi submetida à edição manual, variando entre um *zoom* aproximado de 1:5.000 e 1:10.000, baseada em dados coletados em trabalhos de campos realizados em 2015, com fotografias associadas a pontos contendo coordenadas coletadas

através de navegador GNSS *Garmin Etrex*. Os pontos coletados foram transferidos para o *software MapSource*, convertidos de *dxf* para *shapefile*, e adicionados ao mapa da BHRC para critério de localização (Figura 38).

Figura 38 - Coordenadas das fotos das atividades de campo



Sobre as características espectrais das classes em cada chave de interpretação, cabe ressaltar, na etapa de edição manual, a definição de áreas verdes a noroeste da bacia como agropasto, baseado em dados de trabalho de campo que revelaram a existência de áreas úmidas em propriedades dominadas por vegetação rasteira e atividades agropastoris. Estas áreas úmidas refletem um padrão verde de resposta espectral semelhante a algumas áreas de remanescentes florestais, que haviam sido definidos assim na modelagem, sendo então corrigidos na edição. Por fim, cabe destacar que foi realizada também a conversão para floresta das áreas classificadas como mangue em planícies no interior do bacia.

3.2.4 Validação do mapeamento de uso e cobertura

A metodologia abordada para atestar a qualidade do mapeamento de uso e cobertura é a de validação por amostragem aleatória (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.

Diante da possibilidade de utilização da base de imagens do Google Earth para validação, o resultado da classificação foi incorporado em formato vetorial ao *software ArcGIS 10.1*, onde os centróides dos polígonos foram extraídos, gerando 4.365 pontos. Em seguida, os pontos foram submetidos à função *subset features*, do módulo *Geostatistical Analyst*, onde passaram por uma redução percentual de 10%, restando 436 pontos aleatórios. Os pontos, que portam em seus atributos os nomes das classes a quem pertencem, foram importados no *software Google Earth Pro*, e sobrepostos a imagens de alta resolução, onde cada um foi validado (Figura 39). Os pontos com usos compatíveis ou incompatíveis por classes a que pertencem foram descritos e somados em uma planilha contendo a matriz de confusão.

Figura 39 - Validação de pontos aleatórios no Google Earth



Por fim, como método de avaliação da classificação, foi utilizado o Índice de Exatidão Global a partir do resultado da matriz de confusão. Este índice é um dos coeficientes que determinam a precisão de mapeamentos, e é calculado a partir da divisão

da soma da diagonal principal da matriz de confusão pelo número total de amostras (Figueiredo & Vieira, 2007).

3.3 Distribuição dos remanescentes florestais em domínios do relevo e em sub-bacias

Diante da importância ressaltada na revisão teórica por Ross (1997), Christofoletti (2015) e Guerra (2015), sobre a relação entre percentuais de declividade e de vegetação florestal na dinâmica de processos em bacias hidrográficas, um mapa que reúna essas informações em legendas didáticas que apresentem os diferentes graus de degradação ou conservação, baseadas nestes percentuais, tem o poder de indicar em quais bacias há um caráter mais emergencial de aplicação de iniciativas de recuperação ou preservação ambiental. Além disso, o relevo se apresenta como condicionante a estabelecimento de ocupações e atividades antrópicas, estando as classes de domínios do relevo relacionadas diretamente com o grau percentual de declividade do terreno. Áreas de domínios montanhosos possuem valores médios de declividade superiores a áreas planas.

Diante disso, propõe-se a elaboração de dois mapas, a partir do cruzamento dos dados anteriormente gerados. A partir dos resultados do mapeamento de uso e cobertura, as classes de remanescentes florestais, envolvendo a floresta e o mangue, foram extraídos e submetidos a cruzamentos espaciais com as classes de domínios do relevo, em ambiente SIG, para análise e quantificação da distribuição dos fragmentos florestais naquelas.

Em seguida, uma sobreposição espacial dos dados de sub-bacias de primeira ordem, remanescentes florestais, e declividade, foi feita em ambiente SIG, para aplicação da ferramenta *estatísticas por zonas*, algoritmo que extraiu, automaticamente, por sub-bacias de primeira ordem, os valores percentuais médios de declividade e de remanescentes florestais, incorporando estes valores à tabela de atributos das sub-bacias. A partir da referida tabela, foram definidas oito classes com o percentual médio de declividade e de remanescentes florestais conservados, por sub-bacias, baseadas nas classes de declividade do IPT (1981), e nas abordagens teóricas de Ross (1997) e Guerra (2015), sobre o percentual das referidas classes e a relação com a erosão (Quadro 3).

Quadro 3 - Classes de valores percentuais de conservação e declividade em sub-bacias

Classe	Valores %	Indicação
Conservada não-íngreme	VEG >75% / DECLIV <15%	Λ
Conservada íngreme	VEG >75% / DECLIV >15%	
Moderadamente conservada não-íngreme	VEG 50-75% / DECLIV <15%	Maior necessidade de preservação
Moderadamente conservada íngreme	VEG 50-75% / DECLIV >15%	
Moderadamente degradada não-íngreme	VEG 25-50% / DECLIV <15%	Maior necessidade de recuperação
Moderadamente degradada íngreme	VEG 25-50% / DECLIV >15%	
Degradada não-íngreme	VEG <25% / DECLIV <15%	V
Degradada íngreme	VEG <25% / DECLIV >15%	

3.4 Análise da fragmentação dos remanescentes florestais

Para esta etapa, as classes de remanescentes florestais, envolvendo a floresta e o mangue, foram extraídas dos resultados do mapeamento de uso e cobertura, e convertidas para o formato matricial, mantendo a resolução espacial de 30x30m por pixel. Em seguida, foram importados e manipulados no *software* GUIDOS. O referido programa é um *software* livre, desenvolvido pela EC-JRC (*European Commission – Joint Research Centre*), voltado para a análise espacial e classificação de fragmentos florestais (VOGT, 2012). Os fragmentos foram manipulados a partir do módulo MSPA (*Morphological Spatial Pattern Analysis*), sendo definido como valor de borda o valor de 4 pixels (*Edge Width*), que corresponde a largura de 120m. O referido valor foi estabelecido de acordo com trabalhos de Seabra (2013) e Lacerda & Pimenta (2015), para a escala de 1:100.000, a mesma do mapeamento de uso e cobertura da pesquisa atual.

As classes de fragmentação mapeadas a partir do processo automático realizado no MSPA GUIDOS seguem os padrões de fragmentação e conectividade espacial discutidos na revisão teórica, sob uma perspectiva ecológica da paisagem (ODUM, 2004; VIANA, 1990; VALERI & SENÔ, 2004; BARROS, 2006). O mapeamento automático foi gerado para toda a área compreendida pela BHRC. O resultado final foi, em seguida, incorporado ao projeto Caceribu em ambiente SIG, onde foram calculadas as áreas, e gerados os layouts e gráficos finais, para toda a área de estudo e por sub-bacias de terceira ordem, para exposição da análise detalhada por recortes espaciais. Os referidos produtos serão

discutidos no capítulo de resultados, e a descrição das classes a seguir, mapeadas no *software* GUIDOS, segue a abordada na metodologia de Seabra (2013):

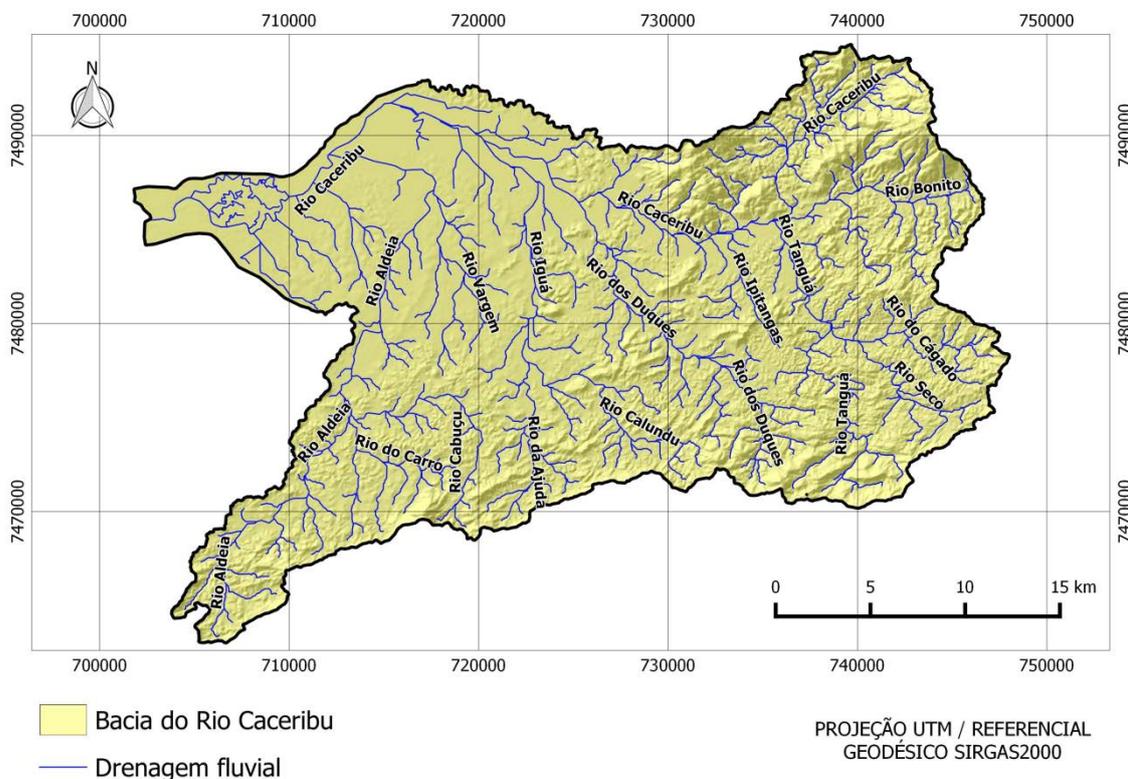
- Áreas Núcleo – Área interna dos fragmentos florestais.
- Matriz – Áreas desmatadas, externas aos fragmentos florestais.
- Bordas – Faixas de floresta mais externa ao fragmento florestal (borda) com extensão de 120 metros, em contato com a matriz.
- Clareiras – Áreas desmatadas no interior dos fragmentos florestais.
- Bordas de clareira – Faixas de floresta, com extensão de 120m, 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.
- Ilhas ou *Stepping Stones* – Ilhas de floresta inseridas no interior da matriz.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Drenagem e sub-bacias de primeira e terceira ordem na BHRC

Após o processamento do MDE 1:25.000 no módulo *watershed delineation*, foram gerados 58 afluentes diretos do rio principal, e 19 sub-bacias de terceira ordem, revelando também um padrão de drenagem dentrítica na bacia, segundo a classificação de Christofoletti (1980), com o canal do rio principal apresentando meandros tortuosos próximo à foz (Figura 15). No banco de dados, as sub-bacias herdaram o nome de seus rios principais, de acordo com levantamentos de toponímia realizados em trabalhos de campo, sendo estes os maiores contribuintes do rio principal, incluindo a segmentação de três diferentes trechos do curso do rio Caceribu e dois trechos do Rio Aldeia (Figura 40).

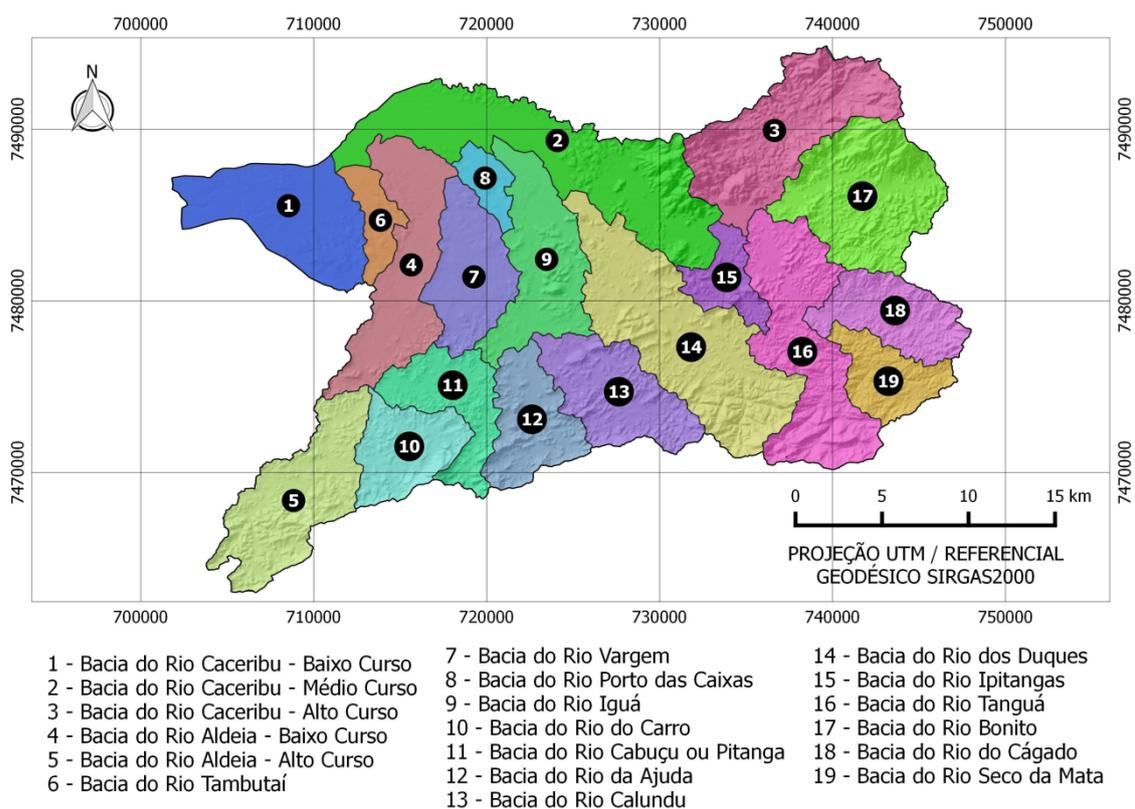
Figura 40 - Drenagem fluvial da BHRC



Os resultados foram convertidos para o formato vetorial para edição baseada em dados de trabalho de campo. Este processo manual encontrou a necessidade de correção,

sobretudo, de canais de drenagem localizados em áreas planas a noroeste da bacia, que haviam sido representados de forma retilínea pelo processo automático. O resultado editado foi comparado com a drenagem do IBGE (2015), que possui escala 1:25.000, se mostrando compatível com esta, para elaboração do mapa (Figura 41) e viabilização de futuras operações na etapa final. As bacias que apresentaram a maior área foram

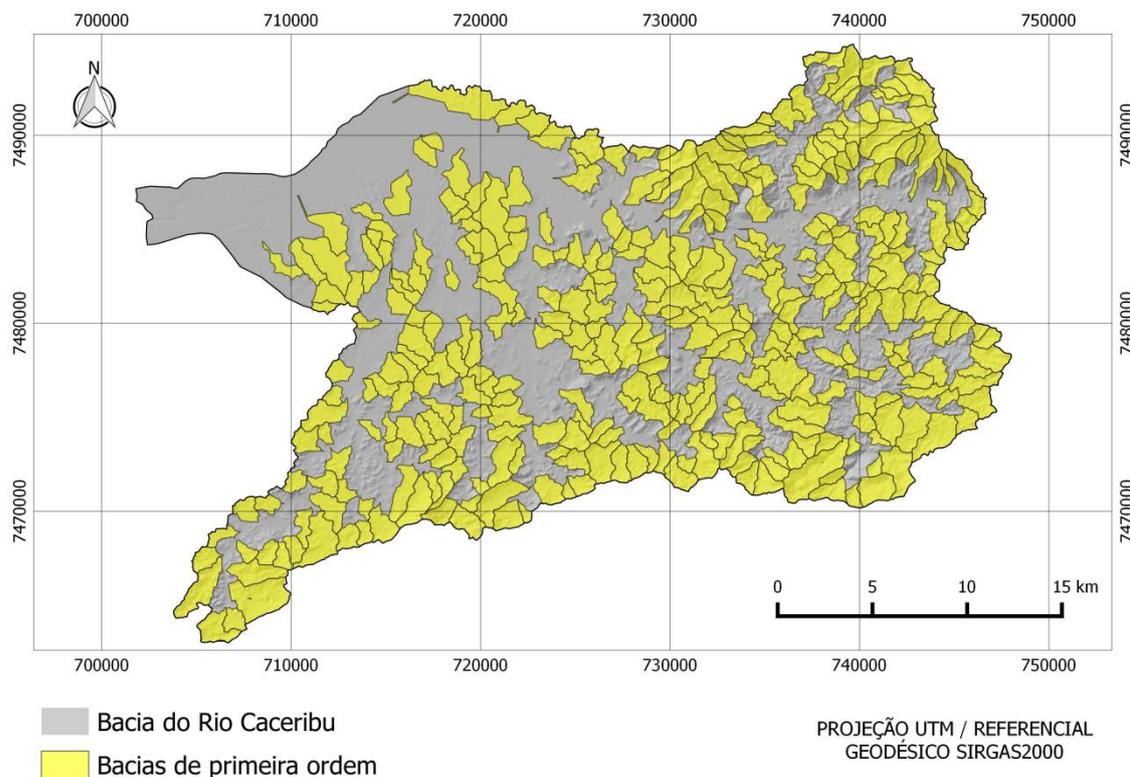
Figura 41 - Sub-bacias de terceira ordem da BHRC



Ao contrário das sub-bacias de terceira ordem, a soma das sub-bacias de primeira ordem não compreendeu a área total da BHRC, já que se restringe somente às cabeceiras de drenagem, porções do relevo compreendidas pela área drenada pelos canais de primeira ordem, onde localizam-se as nascentes. Foram delimitadas ao todo 366 sub-bacias, compreendendo uma área de 465km², ou 57,9% da área total (Figura 42). Os limites das sub-bacias de primeira ordem apresentaram concordância com os limites das sub-bacias de terceira ordem, não havendo informações espaciais conflituosas entre estes. A sub-bacia de terceira ordem que apresentou a maior quantidade de sub-bacias de primeira ordem é a bacia dos Duques, contendo 48 unidades. Cabe ressaltar a bacia dos Duques possui a

segunda maior área entre as sub-bacias de terceira ordem, com 84,28km², possuindo área menor apenas que o médio curso da bacia do Caceribu, que possui 86,65km².

Figura 42 - Sub-bacias de primeira ordem da BHRC



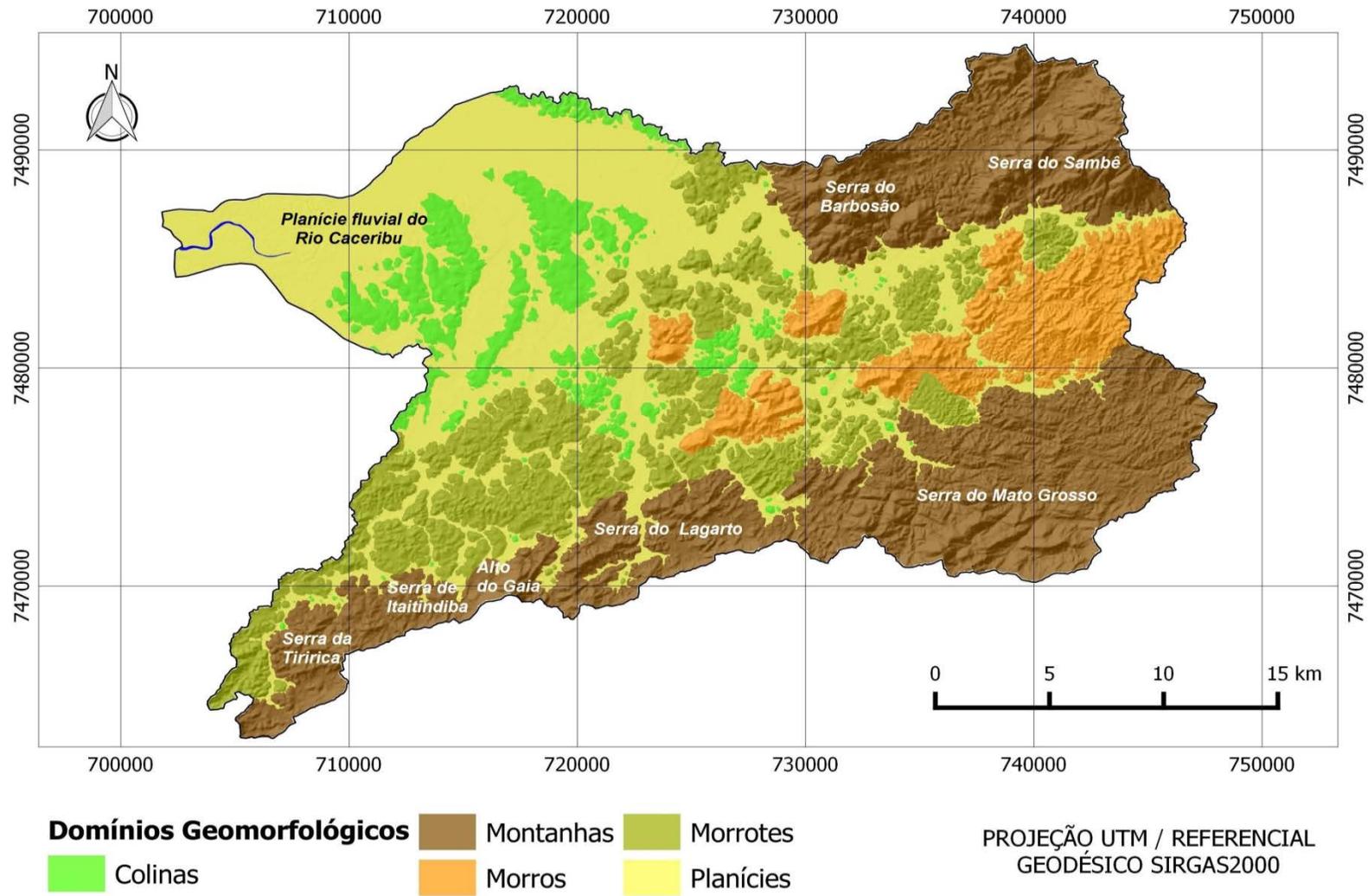
4.2 Domínios geomorfológicos da BHRC

O mapa de domínios geomorfológicos foi elaborado a partir do cruzamento dos dados de declividade e amplitude, apresentados na metodologia. Após a conclusão da edição, o mapa geomorfológico mostrou-se compatível com o relevo da BHRC (Figura 43). A classe de montanhas apresentou a maior área, com 33,33% da área total (Tabela 1), concentrada em sua maior parte na porção nordeste da bacia, além de toda a porção sul da bacia, representando parte dos maciços costeiros que limitam a área de estudo.

Tabela 1 - Quantitativos de classes dos domínios geomorfológicos da BHRC

Domínio Geomorfológico	Km²	%
Planícies	253 km ²	31,83%
Colinas	49 km ²	6,16%
Morrotes	173 km ²	21,76%
Morros	55 km ²	6,92%
Montanhas	265 km ²	33,33%
Corpos hídricos	1 km ²	0,12%

Figura 43 - Mapa de domínios geomorfológicos da BHRC



A altitude absoluta média da área compreendida pela classe de montanhas é de 229,83m, com o ponto mais alto correspondendo a 945m. As altitudes médias e máximas de cada classe estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores médios e máximos por domínios geomorfológicos na BHRC

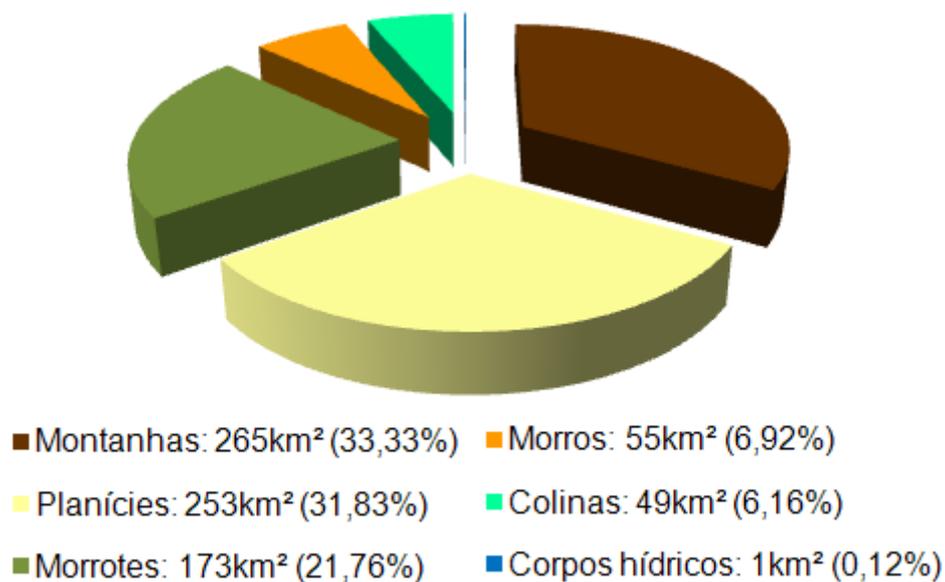
Domínio Geomorfológico	Média	Valor máximo
Planícies	28.89m	85m
Colinas	37.08m	90m
Morrotes	68.23m	240m
Morros	117.22m	285m
Montanhas	229.83m	945m

Com grande representatividade no quantitativo total, as planícies apresentaram 31,83% do mapeamento, mais concentradas na porção noroeste, 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 áreas de planície apresentaram média de altitude absoluta de 28,89m, com o ponto mais alto em 85m.

Com 21,76%, a classe de morrotes foi a terceira mais presente na bacia, despendida por toda a área de estudo, apresentando uma morfologia de transição entre as áreas mais altas e as planícies. Sua altitude média verificada foi de 68,23m, com o valor mais alto representado por 240m.

As classes de colinas e morros apresentaram áreas menos expressivas, com esta compondo 6,92% da área total, presente em porções mais altas em áreas com predominância de morrotes, e à leste da bacia, na transição entre os dois maciços de classe montanhosa. A primeira apresentou maior presença à oeste da bacia, como suaves elevações em áreas dominadas por planícies. A classe de morros compreendeu áreas com média de altitude absoluta de 117,22m, com ponto mais alto em 285m, enquanto que as colinas apresentaram média de altitude de 37,08m, com o ponto mais alto em 90m. A classe de corpos hídricos representou apenas 0,12% da área total, estando presente na porção do canal principal que apresenta maior distância entre as margens, próximo à sua foz. O gráfico proporcional com a área de cada classe está apresentado na Figura 44.

Figura 44 - Gráfico de área dos domínios geomorfológicos da BHRC



O perfil topográfico traçado mostrou-se compatível com o mapa e com a realidade da bacia (Figuras 45; 46). O cálculo dos valores médios e máximos de altitude por unidades de relevo revelaram valores que não refletem uma regra para os devidos domínios em outras áreas, já que dizem respeito à altitude absoluta, e as unidades de relevo foram determinadas a partir de cálculos morfométricos que consideram os valores relativos. Apesar disso, os valores absolutos refletem as características das unidades mapeadas na área de estudo, atestando a compatibilidade de cada domínio a partir da realidade da bacia.

Figura 45 - Localização do perfil topográfico traçado entre os pontos A e B. 722m de altitude absoluta no ponto A; 11m de altitude absoluta no ponto B

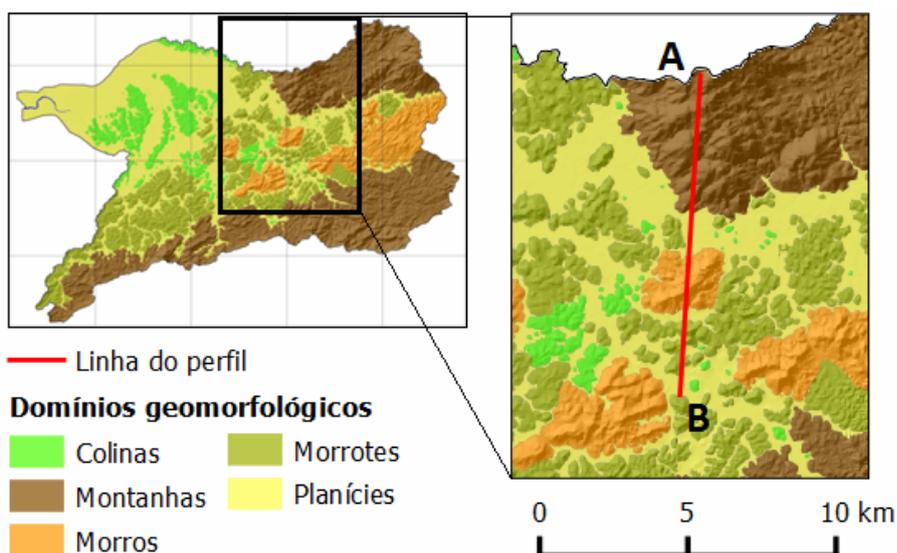
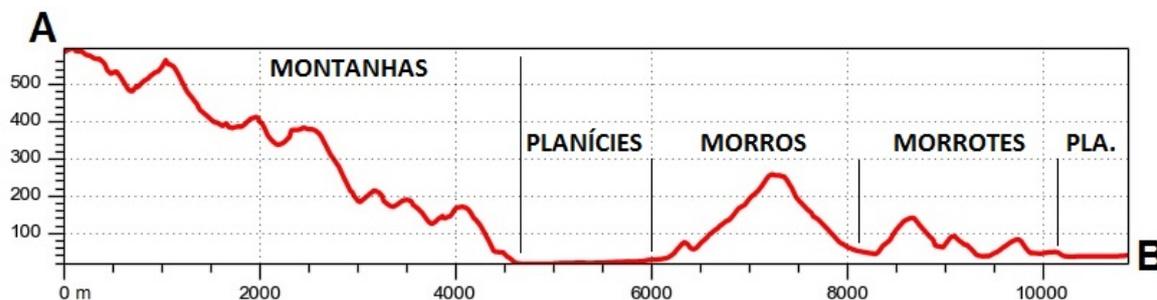


Figura 46 - Perfil topográfico traçado entre os pontos A e B



O mapeamento e as análises dos dados e informações realizadas nesta pesquisa evidenciaram o potencial dos produtos de sensoriamento remoto e das ferramentas de SIG para os estudos ambientais, no que diz respeito à caracterização espacial de componentes estruturais do relevo. A utilização do MDE Socet SET/ATE, adquirido gratuitamente junto ao IBGE em escala 1:25.000, proporcionou uma satisfatória análise, alcançando os objetivos temáticos inicialmente pretendidos, possibilitando a geração de diversos produtos de qualidade, até a elaboração do mapa final.

O mapa geomorfológico gerado mostrou-se compatível com a realidade da área de estudo, apresentando como viável a aplicação da metodologia proposta pelo IPT (1981) numa bacia hidrográfica. Além disso, foi incorporado ao projeto, em ambiente SIG, o produto de domínios geomorfológicos da bacia hidrográfica do rio São João (SEABRA, 2012), vizinha à leste da BHRC, para comparação da forma das classes na linha de fronteira, apresentando total compatibilidade e concordância entre as duas.

A edição dos contornos das unidades de relevo utilizando o sombreamento gerado a partir do MDE ajudaram a refinar a qualidade do produto final, cabendo ressaltar o maior nível de detalhamento deste MDE frente à outros, já que possui uma resolução espacial de 20x20m por pixel. Os dados coletados em trabalhos de campo com navegador portátil, a verificação dos valores de altitude média e máxima por domínios geomorfológicos, e o perfil topográfico traçado foram metodologias que ajudaram a verificar a compatibilidade do mapeamento com a realidade da bacia. As informações geradas nesta etapa podem fornecer subsídios também à tomada de decisão, auxiliando no planejamento urbano e ambiental.

4.3 Uso e cobertura da terra da BHRC

Com a conclusão da edição manual, o mapa temático de uso e cobertura da terra foi gerado utilizando um compositor de layout em ambiente SIG (Figura 47), em escala 1:100.000, e as áreas das classes foram calculadas em km², gerando uma tabela quantitativa (Tabela 3) e um gráfico proporcional com a área das classes (Figura 48). Os resultados apresentaram a classe de agropasto como a dominante na área da bacia, com 436,5km², ou cerca de 54,37% da área total. Esta classe encontra-se representada em toda a área da bacia, porém mais concentrada na parte oeste, sobretudo no município de Itaboraí, onde grandes quantidades de propriedades apresentam rebanhos bovinos, caracterizando a pecuária como a principal atividade rural da bacia. Estes dados foram observados em trabalhos de campo realizados em 2015 e evidenciados nos resultados da classificação.

Tabela 3- Quantitativo de classes de uso e cobertura da terra na BHRC

Classe	Área (km²)	%
Agropasto	436,50	54,37%
Floresta	258,50	32,20%
Urbanização	61,18	7,62%
Mangue	28,54	3,56%
Solo exposto	15,29	1,90%
Água	2,77	0,35%
Total	802,78	100%

A classe com a segunda maior área apresentada foi a de floresta, com 258,5km² ou cerca de 32,20% da área total, estando esta mais concentrada na parte leste da bacia, com maior presença nas vertentes e interflúvios, e nas encostas da Serra do Barbosão, nos municípios de Tanguá e Rio Bonito. Seguida da floresta, a área urbana apresentou 61,18km² ou cerca de 7,62% da área da bacia, tendo maior representatividade nos perímetros urbanos de Rio Bonito e Tanguá, à leste, e sobretudo no perímetro urbano de Itaboraí, maior concentração urbana da bacia, à oeste. Áreas urbanas menores também à oeste correspondem à distritos de Itaboraí: Manilha, Itambi, Venda das Pedras, Porto das Caixas, Visconde de Itaboraí e Cabuçu; e distritos de São Gonçalo: Ipiiba e Santa Izabel; além da área provida de instalações industriais no Comperj.

Figura 47 - Mapa de uso e cobertura da terra da BHRC

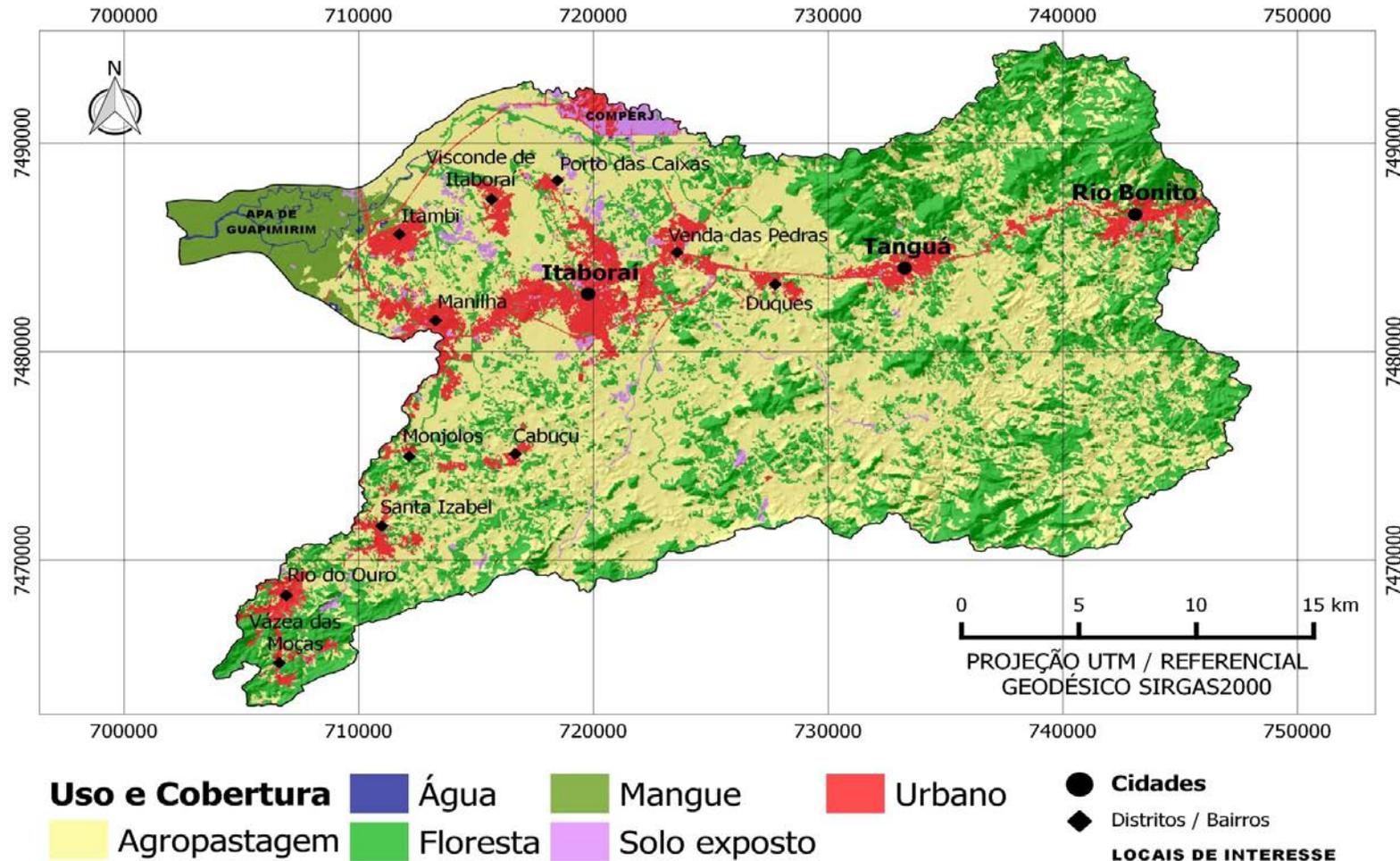
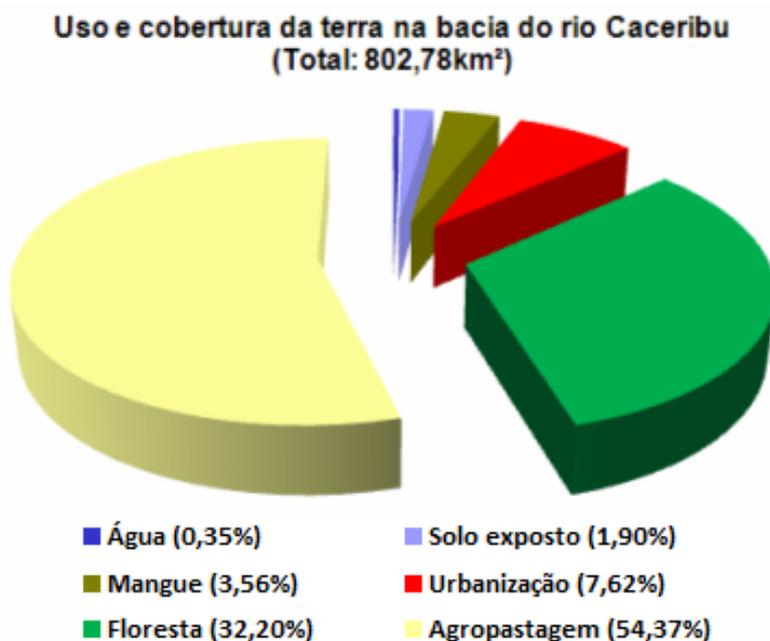


Figura 48 - Gráfico de área as classes de uso e cobertura da terra da BHRC

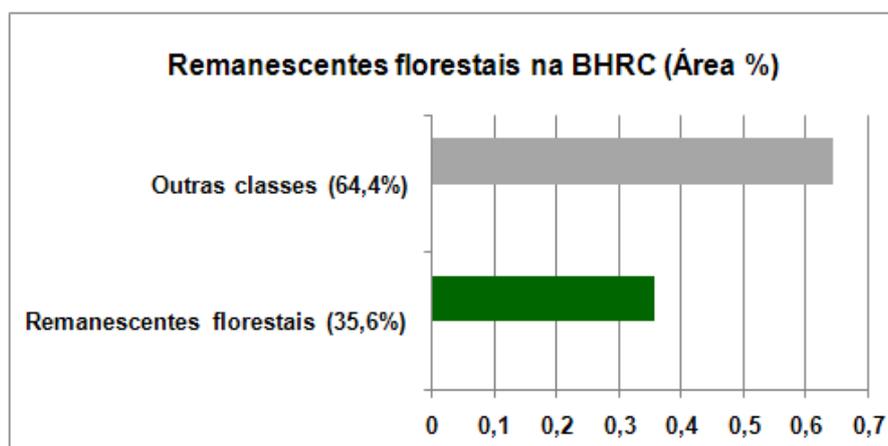


Também mais concentrada a oeste, mais precisamente nos limites da Área de Proteção Ambiental (APA) de Guapimirim e da Estação Ecológica (ESEC) da Guanabara, onde encontra-se a foz do rio Caceribu, a classe de mangue apresentou 28,54km², ou cerca de 3,56% da área total. Por se tratar de estar localizada em unidades de conservação, esta classe de vegetação natural apresentou considerável contigüidade espacial, refletindo uma relativa preservação deste ecossistema fluvio-marinho.

Apresentando áreas bem menores, as classes de solo exposto e de água completam a classificação. O solo exposto apresentou 15,29km², ou cerca de 1,9% da área total, estando mais concentrado na parte norte da bacia, onde encontram-se as obras de construção do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (Comperj), além de áreas menores espalhadas sobretudo em volta do perímetro urbano de Itaboraí, e em locais de extração de saibro, também em Itaboraí (DNPM, 2015). Seguido do solo exposto, a classe de água, mais representada na APA de Guapimirim e ESEC da Guanabara, à oeste da bacia, apresentou 2,77km², ou cerca de 0,35% da área total. A água apresenta-se na forma da foz do rio Caceribu e de alguns afluentes na rede hidrográfica que compõe a localização das unidades de conservação ali localizadas, estando envolvidas em sua maior parte pela classe de mangue.

Para a geração dos objetivos finais, envolvendo o cruzamento com os dados geomorfológicos, somente a classe de remanescentes florestais foi utilizada. A referida classe corresponde às classes de Floresta e Mangue no mapeamento de uso e cobertura, possuindo uma área total de 288km², ou 35,6% da área total da bacia (Figura 49).

Figura 49 - Percentual de remanescentes florestais na BHRC



A utilização de técnicas de sensoriamento remoto para a construção do mapa de uso e cobertura do solo, através de classificação orientada a objetos, mostrou resultados muito satisfatórios, refletindo num menor esforço de edição dos mapas finais. O mapeamento dos tipos de usos e coberturas possibilitou espacializar as ocorrências de cobertura vegetal e uso do solo na BHRC, nas quais se verificou o amplo domínio da agropasto em detrimento das áreas de cobertura de vegetação natural, apresentando considerável presença também áreas urbanas e de mangue.

A classificação orientada a objetos na bacia do rio Caceribu configura-se como um importante resultado desta pesquisa, uma vez que não só gerou subsídios para a determinação da distribuição do uso e cobertura da terra, como também abriu uma série de possibilidades de investigação relacionadas à análise e gestão ambiental, auxiliando assim na tomada de decisão. É importante ainda salientar que todos os resultados encontram-se disponíveis em ambiente SIG, assim como as informações do mapeamento geomorfológico, podendo ser utilizados em pesquisas de diferentes temáticas na área de estudo. O mapa de uso e cobertura ainda foi submetido à validação, conforme etapas expostas na metodologia.

A matriz de confusão (Tabela 4) representa o resultado da validação da classificação feita no Google Earth, onde os pontos de cada classe temática foram

analisados e tiveram suas classes reais indicadas na tabela, de acordo com as imagens do Google Earth. As imagens do Google Earth foram ajustadas para 06/01/2015, data mais próxima da imagem Landsat. Dos pontos aleatórios gerados pelo ArcGIS, 169 foram de floresta, onde 151 confirmaram a classe no Google Earth, representando 89,35% de acertos. Todos os 18 pontos da classe floresta que foram classificados equivocadamente eram compatíveis com a classe de agropasto.

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

Classes	Agropasto	Floresta	Mangue	Urbanização	Solo exposto	Total	Acertos
Agropasto	112	9	0	17	0	138	81,16%
Floresta	18	151	0	0	0	169	89,35%
Mangue	1	0	9	0	0	10	90%
Urbanização	6	0	0	40	8	54	74,07%
Solo exposto	6	0	0	10	50	66	75,75%
Total	143	160	9	67	58	437	82,06%

A classe de agropasto apresentou 81,16% de acertos, e os pontos classificados errados se apresentaram mais compatíveis com as classes de floresta e de urbanização. A classe com maior acerto percentual foi a de mangue, com 90%, onde 9 de seus pontos estavam compatíveis com a classe, e 1 se enquadrou mais com a classe de agropasto. As classes com menores índices de exatidão foram as de urbanização, com 74,07%, e de solo exposto, com 75,75%. Os pontos errados nestas duas classes apresentaram grande confusão entre elas e entre a classe de agropasto, segundo a interpretação da imagem. O percentual total de acerto foi de 82,06%, enquanto que o Índice de Exatidão Global foi 0,828.

A validação do mapa final, utilizando pontos aleatórios em imagens do Google Earth, revelou as limitações da modelagem dos descritores utilizados na classificação. Os pontos que representaram erros em todas as classes apresentaram particular tendência à pertencerem a classes exclusivas, como no caso da floresta, onde todos os pontos incompatíveis com a classe pertenciam à classe de agropasto. Esta particularidade, exibida na matriz de confusões, aponta em quais limites de classes ocorreram as incongruências da modelagem.

Além disso, cabe destacar as limitações da própria técnica de validação, como o problema da escala em 1:100.000 do mapa, a data e a subjetividade da interpretação. Com um nível de detalhamento muito maior no Google Earth, alguns possíveis erros podem estar relacionados a objetos que podem não ser observados na escala do mapeamento,

cabendo destacar a simplificação deste. Sobre a data, fator significativo, cabe elencar que a da imagem era cerca de três meses anterior à da data mais próxima disponível no Google Earth, fato que pode contribuir para algumas imprecisões da validação. Além disso, o fator subjetividade da interpretação está agregado tanto no processo de classificação, como no de validação. Quanto à geometria das imagens, apesar das possíveis variações de precisão, os pontos aleatórios aparentaram compatibilidade com a localização do centro dos fragmentos das diferentes classes.

4.4 Remanescentes florestais por domínios geomorfológicos

Após o cruzamento dos dados de remanescentes florestais com as classes de geomorfologia, foram elaboradas as análises quantitativas correspondentes a quantidade de vegetação natural por domínios do relevo (Figura 50), e o mapa, em escala 1:100.000 (Figura 51). O domínio geomorfológico que possui a maior quantidade de remanescentes florestais é o de montanhas, com 149,12km², ocupando 56,22% de seus 265km² de área. Cabe ressaltar que as montanhas correspondem ao maior domínio de relevo da bacia, seguidas das planícies, que possuem 253km², conforme o mapa geomorfológico. Apesar de sua grande área total, nas planícies encontram-se apenas 53,77km² de remanescentes florestais, o que corresponde a 20,9% de sua área total. Cabe destacar que nesta classe encontram-se a maioria das ocupações urbanas e rurais.

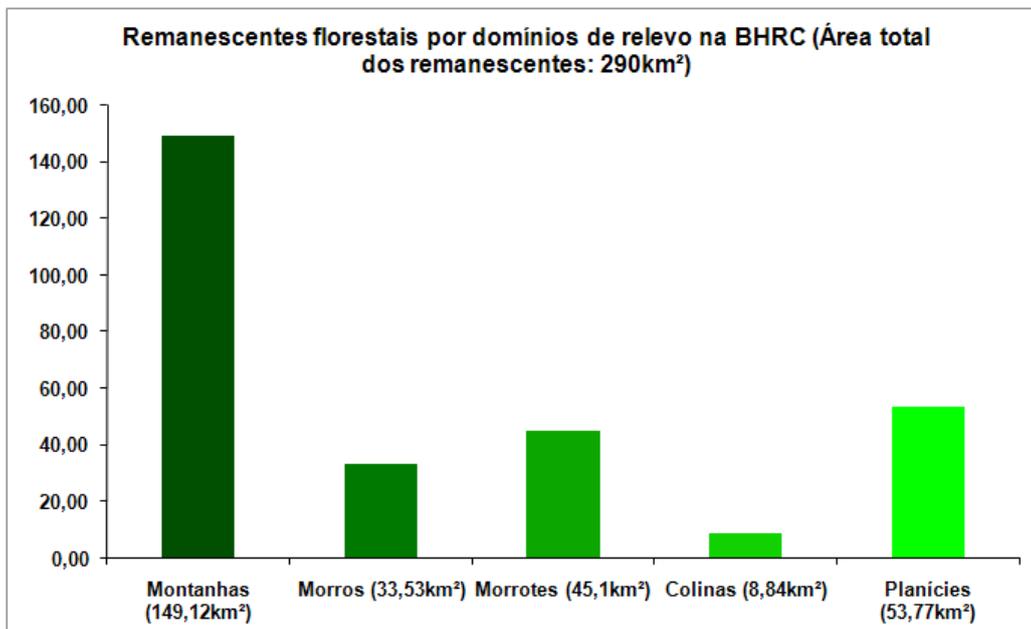
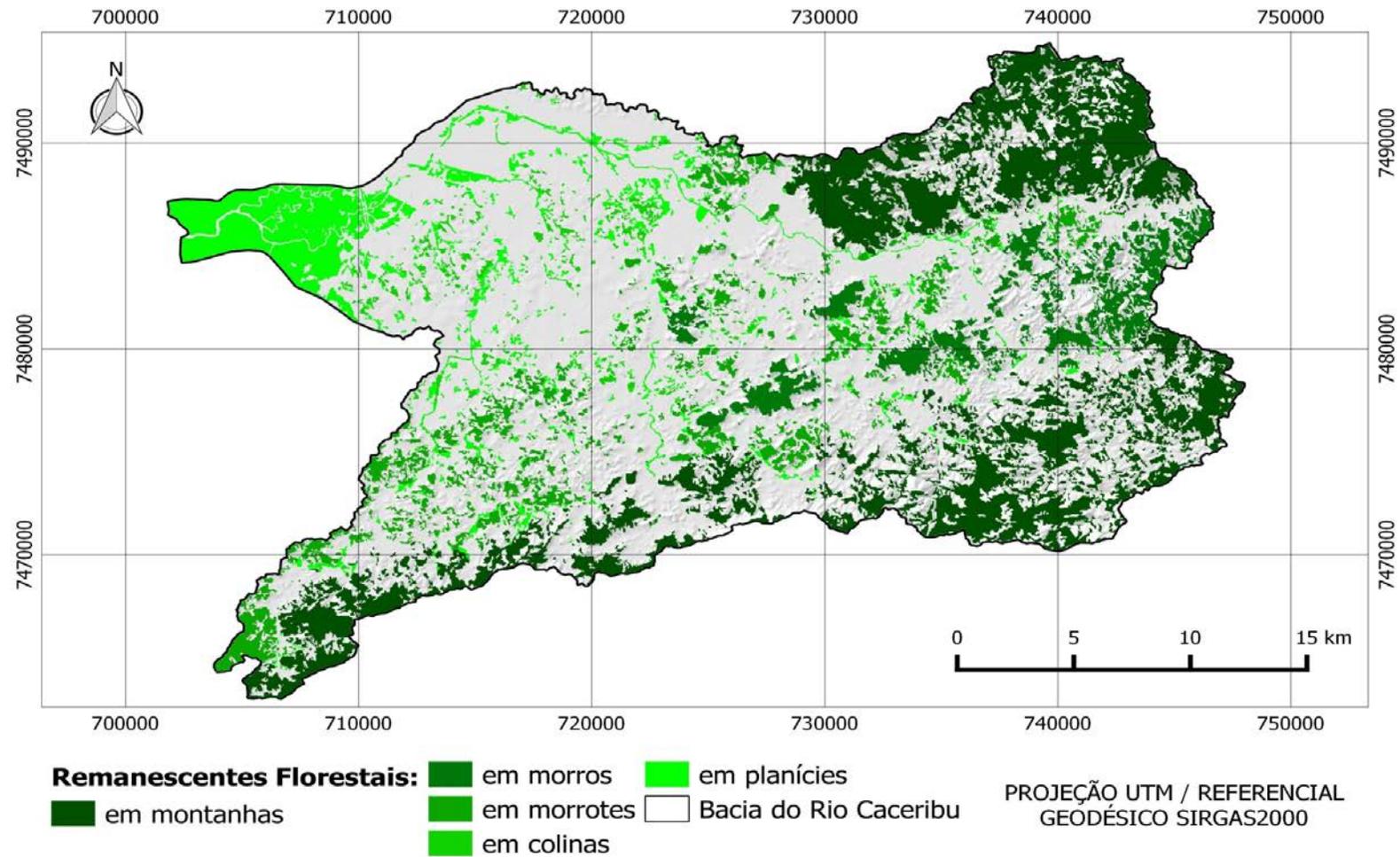
Figura 50 - Gráfico de remanescentes florestais (km²) por domínios do relevo na BHRC

Figura 51 - Mapa de remanescentes florestais por domínios geomorfológicos na BHRC



Seguida das montanhas e das planícies, o domínio geomorfológico que possui a maior quantidade de remanescentes florestais é o de morrotes. 45,1km² de fragmentos florestais ocupam o equivalente a 26,1% dos 175km² de área deste domínio de relevo, que também é o terceiro maior da bacia. Seguido dos morrotes, o domínio de morros possui 33,53km² de fragmentos florestais, o que corresponde a 60,9% dos 55km² de área deste domínio. É, até então, o domínio de relevo com o maior percentual de preservação da vegetação natural, superior ao de montanhas, que possui 56,22%.

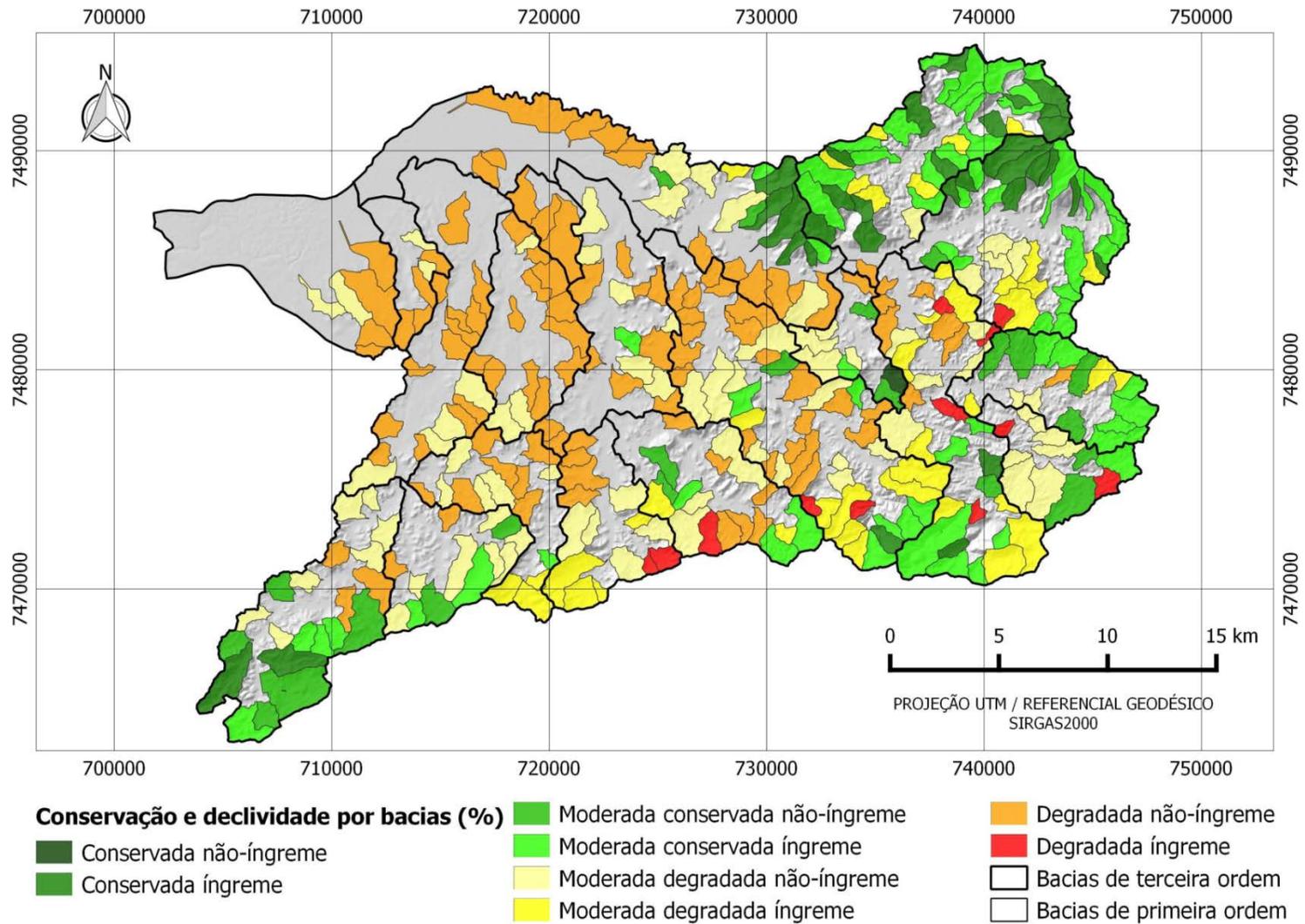
Por último, o domínio de colinas possui 8,84km² de remanescentes florestais, que ocupam 18,04% dos 49km² de área deste domínio de relevo. Localizado sobretudo em áreas de pastoreio, este domínio geomorfológico é o que possui a menor quantidade percentual de fragmentos florestais em comparação com os outros, além da menor quantidade absoluta de remanescentes na bacia, possuindo índices inferiores até mesmo que o das planícies. Cabe destacar que, nas planícies, estão localizados 100% dos 28,54km² de mangue, compreendidos pela Área de Proteção Ambiental (APA) de Guapimirim, o que contribui para melhorar os números de vegetação natural em áreas de planícies, apesar de estarem localizados nesta classe a maioria das ocupações urbanas e rurais. O referido mapeamento e seus dados quantitativos derivados podem subsidiar zoneamentos e ordenamentos territoriais, com vias a guiar processos de ocupação urbanas e rurais, considerando os domínios de relevo e a preservação da vegetação remanescente na área da bacia.

4.5 Remanescentes florestais e declividade em sub-bacias de primeira ordem

Um dos principais objetivos da atual pesquisa é analisar o estado de conservação das sub-bacias de primeira ordem, em escala 1:100.000, conciliando os dados de remanescentes florestais e de declividade do terreno, o que, dependendo dos índices, podem revelar condicionantes à erosão. As bacias de primeira ordem são os locais onde se encontram as nascentes dos rios, sendo de fundamental importância a preocupação com seu estado de conservação. Após o cruzamento e a geração dos valores médios de declividade e de área ocupada por remanescentes, as oito classes geradas revelam uma grande diversidade em toda a bacia. As sub-bacias que possuem percentual de declividade

superior a 15% e de remanescentes florestais inferior a 25%, definidas como degradadas íngremes, são as mais susceptíveis a erosão (Figura 52).

Figura 52 - Mapa de conservação e declividade percentual por sub-bacias de primeira ordem

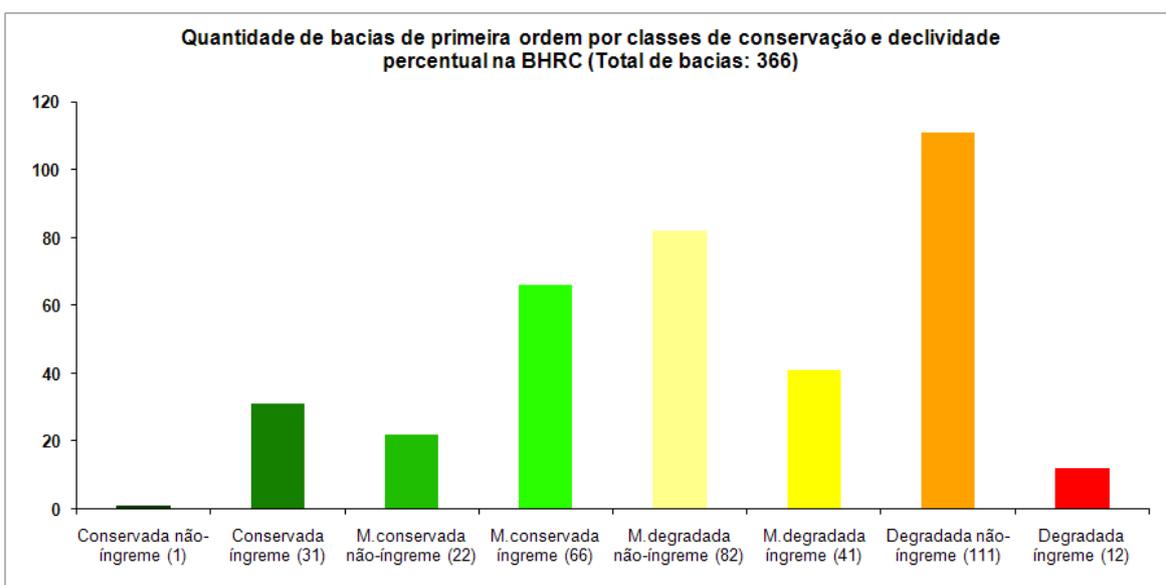


Das 366 sub-bacias de primeira ordem, 12 possuem percentual de declividade superior a 15% e de remanescentes florestais inferior a 25%, sendo estes considerados percentuais que demandam uma maior atenção, por apresentarem um estado mais crítico. Apenas uma sub-bacia possui enquadrar-se como conservada não-íngreme, com vegetação superior a 75% e declividade inferior a 15%. A maior quantidade de sub-bacias está compreendida pela classe degradada não-íngreme, que possui declividade inferior a 15% e percentual de remanescentes inferior a 25%. Nesta classe, a quantidade de vegetação florestal percentual é muito baixa, porém a declividade média não é tão acentuada. A quantidade total de bacias por classes estão apresentadas na Tabela 5 e na Figura 53.

Tabela 5 - Quantidade de sub-bacias de primeira ordem por classes

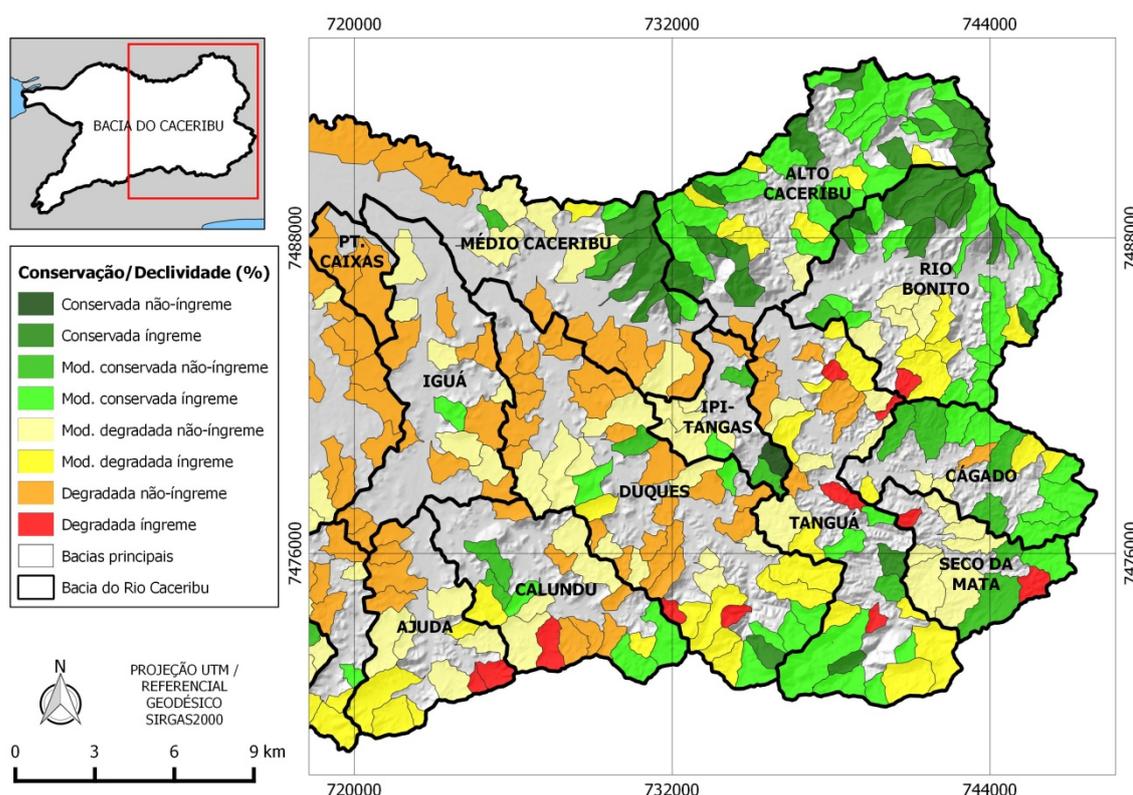
Classe	Bacias	%
Conservada não-íngreme (1)	1	0,27%
Conservada íngreme (31)	31	8,47%
Moderadamente conservada não-íngreme (22)	22	6,01%
Moderadamente conservada íngreme (66)	66	18,33%
Moderadamente degradada não-íngreme (82)	82	22,40%
Moderadamente degradada íngreme (41)	41	11,20%
Degradada não-íngreme (111)	111	30,32%
Degradada íngreme (12)	12	3,27%
Total (100%)	366	100%

Figura 53- Gráfico de quantidade de sub-bacias de primeira ordem por classes



As 12 sub-bacias de primeira ordem que possuem os piores índices percentuais de conservação e declividade estão distribuídas em 6 das 19 sub-bacias de terceira ordem. Uma na bacia do Rio Calundu, uma na bacia do Rio Bonito, duas na bacia do Rio da Ajuda, duas na bacia do Rio Seco da Mata, duas na bacia do Rio dos Duques, e três na bacia do Rio Tanguá, todas estas localizadas na porção leste da BHRC (Figura 54), em áreas dominadas pela classe de montanhas, que possui relevo predominantemente declivoso. A única sub-bacia de primeira ordem conservada não-íngreme, com percentual de vegetação superior a 75% e de declividade inferior a 15%, está localizada na bacia do Rio Ipitangas, também na parte leste da BHRC. Ainda na parte leste localiza-se um grande número de sub-bacias com percentuais de vegetação superiores a 50% e 75%.

Figura 54 - Classificação das sub-bacias de primeira ordem na parte leste da BHRC

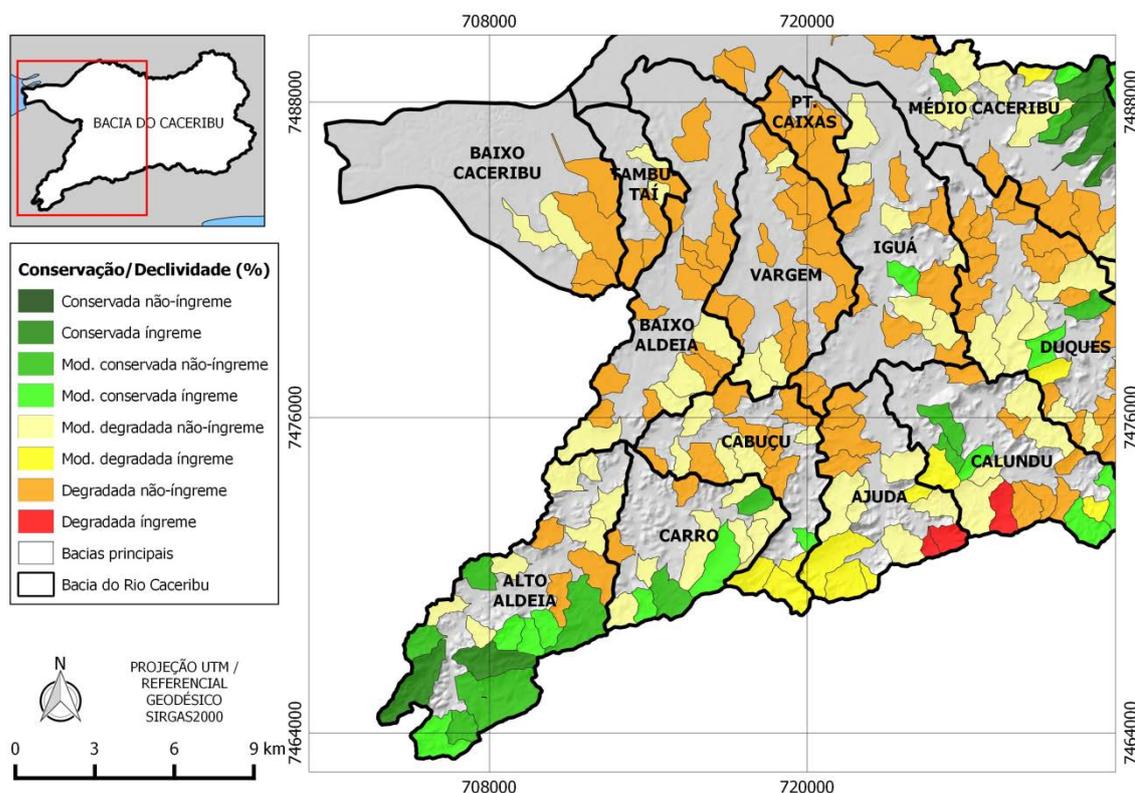


As bacias dos rios Bonito, Cágado, e Alto Caceribu, na parte centro-leste da BHRC, e Alto Aldeia, na parte centro-oeste, são as únicas possuem em sua maioria sub-bacias de primeira ordem conservadas ou moderadamente conservadas, com percentuais de floresta superior a 50%, sendo estas distribuídas em áreas que possuem percentual de declividade média superior ou inferior a 15%. A bacia do Alto Caceribu, que possui os melhores

índices, possui 30 de suas 38 sub-bacias de primeira conservadas ou moderadamente conservadas, estando todas estas localizadas em áreas com médias de declividade superior a 15%. A bacia do Rio do Cágado também se destaca por possuir 10 de suas 16 sub-bacias conservadas ou moderadamente conservadas, distribuídas em áreas com declividade que variam entre maior ou menor que 15%.

Destacando-se de forma oposta, as bacias dos rios Cabuçu e Iguá possuem apenas uma sub-bacia de primeira ordem moderadamente conservada, cada uma, sendo estas dispostas em áreas que possuem percentual de declividade média superior a 15%. As sub-bacias dos rios Porto das Caixas, Vargem, Baixo Aldeia, Tambutaí, Baixo Caceribu e Ajuda são as únicas que não possuem nenhuma sub-bacia de primeira ordem conservada ou moderadamente conservada. Cabe destacar que todas estas seis bacias encontram-se na parte centro-oeste da BHRC (Figura 55), e destas, a bacia do Rio Porto das Caixas, que possui apenas três sub-bacias de primeira ordem, possui todas elas compreendidas na classe degradada. Apesar do baixo índice percentual de remanescentes florestais na bacia do Baixo Caceribu, é nesta área que está localizada a grande área de mangue da APA de Guapimirim, que, porém, não está contida em bacias de primeira ordem.

Figura 55 - Classificação das sub-bacias de primeira ordem na parte oeste da BHRC



Observa-se que, apesar da localização das doze sub-bacias com piores índices serem na parte centro-leste da BHRC, é na parte centro-este que estão localizadas as seis bacias de terceira ordem que possuem todas as sub-bacias de primeira ordem enquadradas na classe degradada, revelando, desta forma, um padrão de maior diversidade de classes na porção centro-leste, e um padrão de baixo percentual de remanescentes florestais na porção centro-oeste, com a exceção das bacias do Alto Aldeia e do Carro. Os produtos e as análises derivadas neste capítulo possuem potencial de subsidiar o planejamento ambiental, auxiliando na tomada de decisão, apontando e definindo áreas que são prioritárias para iniciativas de reflorestamento, recuperação ou preservação ambiental, de acordo com o grau de vegetação percentual e valores médios de declividade do terreno. Os dados e informações que dão maiores detalhes sobre a quantidade e os padrões dos remanescentes florestais por sub-bacias de terceira ordem estão expostos na próxima etapa.

4.6 Análise dos padrões de fragmentação dos remanescentes florestais

A análise da fragmentação dos remanescentes florestais é a última etapa dos objetivos finais da presente pesquisa, sendo esta feita sob os pressupostos teóricos da Geocologia das Paisagens, utilizando como recorte de análise as sub-bacias hidrográficas de terceira ordem e a área total compreendida pela BHRC, tendo sido aplicada a metodologia proposta utilizando o *software* GUIDOS.

Conforme os resultados do mapeamento de uso e cobertura da terra, os remanescentes florestais ocupam 35,6% da área total da BHRC, compreendendo 288km² dos 803km² da área da bacia. Após o processamento automático gerado no GUIDOS *toolbox*, a referida ferramenta identificou e mapeou os padrões espaciais de fragmentação dos remanescentes da BHRC, em escala 1:100.000, dando origem aos dados quantitativos por classes contidos na Tabela 6 e na Figura 56. Os dados foram ordenados em tamanho percentual decrescente em relação a área total ocupada por fragmentos florestais, que corresponde a cerca de 35% da BHRC.

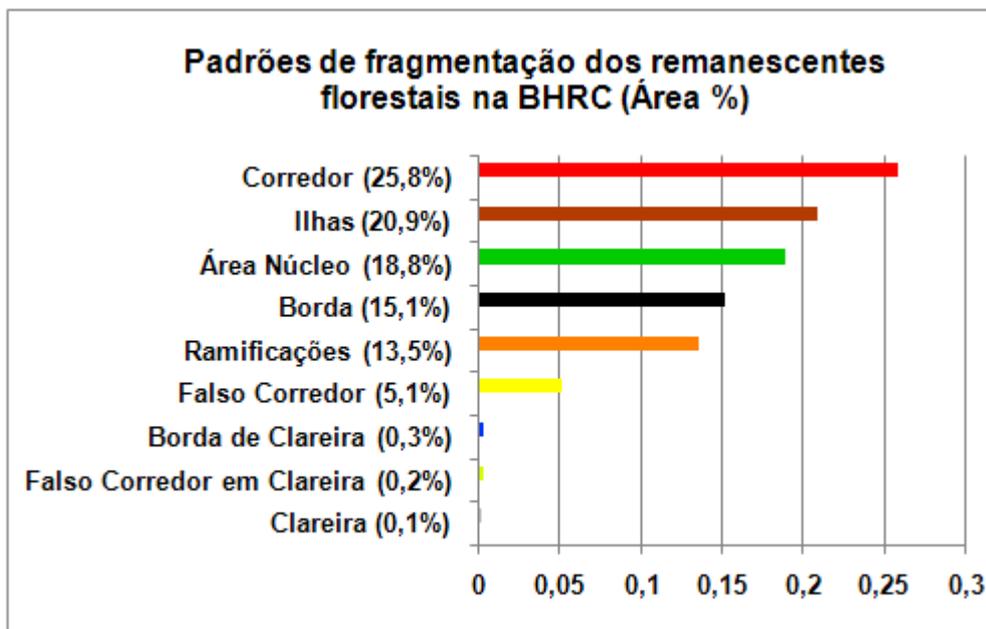
Segundo os resultados, a classe de corredores, padrão espacial de remanescente que une dois fragmentos florestais diferentes, é a que possui maior área, com 74,4km², ou 25,8% da área de remanescentes florestais. É seguida pelos padrões de ilhas, caracterizados como fragmentos de menor diâmetro e extensão territorial, e que ocupam 20,9% da área de

remanescentes florestais, com 60,1km². A área-núcleo, fragmentos contíguos de maior extensão, ocupa 54,2km², ou 18,8% da área de remanescentes florestais. As bordas de áreas-núcleo ocupam 15,1%, com 43,5km², e as ramificações, faixas que se estendem do fragmento sem se conectarem a outro, ocupam 38,9km², ou 13,5% da área de remanescentes.

Tabela 6 - Padrões de fragmentação florestal na BHRC

Classe	Área (Km ²)	%
Corredor	74,4	25,80%
Ilhas	60,1	20,90%
Área Núcleo	54,2	18,80%
Borda	43,5	15,10%
Ramificações	38,9	13,50%
Falso Corredor	14,8	5,10%
Borda de Clareira	0,9	0,30%
Falso Corredor em Clareira	0,6	0,20%
Clareira	0,3	0,10%
Total	288	100%

Figura 56 - Gráfico dos padrões de fragmentação florestal na BHRC

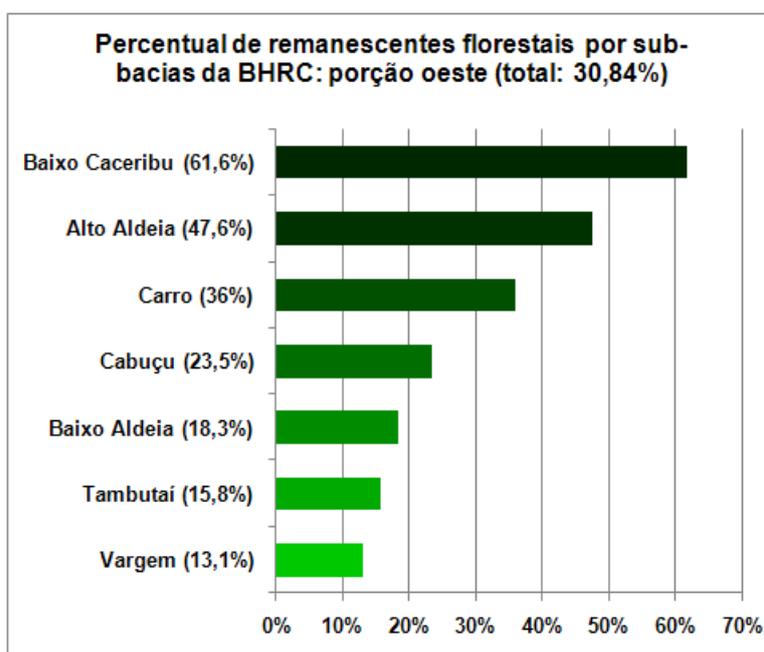


Os falsos corredores, padrões que se estendem unindo dois pontos de um mesmo fragmentos, ocupam 5,1% da área de remanescentes, com 14,8km², ocupando uma área muito inferior a dos cinco padrões espacialmente hegemônicos. Possuindo ainda uma área

muito inferior às demais, os padrões de clareiras, bordas de clareira e falsos corredores em clareira possuem áreas inferiores a 1km², o que corresponde a menos de 1%.

A totalidade da área dos fragmentos florestais foi analisada por sub-bacias de terceira ordem, conforme exposto, e por porções da BHRC: oeste; centro; e leste. A porção oeste, onde localizam-se a foz do Caceribu, a APA de Guapimirim, e os perímetros urbanos de Itaboraí e distritos de São Gonçalo, está representando os dados quantitativos de seis sub-bacias, totalizando 269km², dos quais 82,96km², ou 30,84%, estão compreendidos por classes de remanescentes florestais. Das seis sub-bacias, a que apresenta maior percentual de ocupação por fragmentos florestais é a do Baixo Caceribu, com 61,6%, seguida do Alto Aldeia, com 47,6%, Carro, com 36% e Cabuçu, com 23,5%. As bacias do Baixo Aldeia, Tambutai e Vargem possuem menos de 20% de área ocupada por remanescentes, sendo a última com apenas 13,1% (Figura 57).

Figura 57 - Gráfico dos padrões de fragmentação florestal na BHRC



A área-núcleo, que corresponde aos remanescentes florestais que apresentam maior contigüidade espacial, encontra seu maior fragmento na sub-bacia do Baixo Caceribu, compreendendo a área ocupada pela vegetação de mangue da APA de Guapimirim (Figura 58). Na sub-bacia do Baixo Caceribu, o fragmento de área-núcleo ocupa 14,3km², ou 45,16% das áreas de remanescentes florestais presentes nesta sub-bacia. É seguido em área pelo padrão de borda, que possui 6,1km². Esta sub-bacia é a que possui a maior quantidade

de remanescentes florestais na porção oeste da BHRC, com 61,6% de sua área total ocupada por vegetação florestal (Tabela 7).

Figura 58 - Mapa de padrões de fragmentação florestal na porção oeste

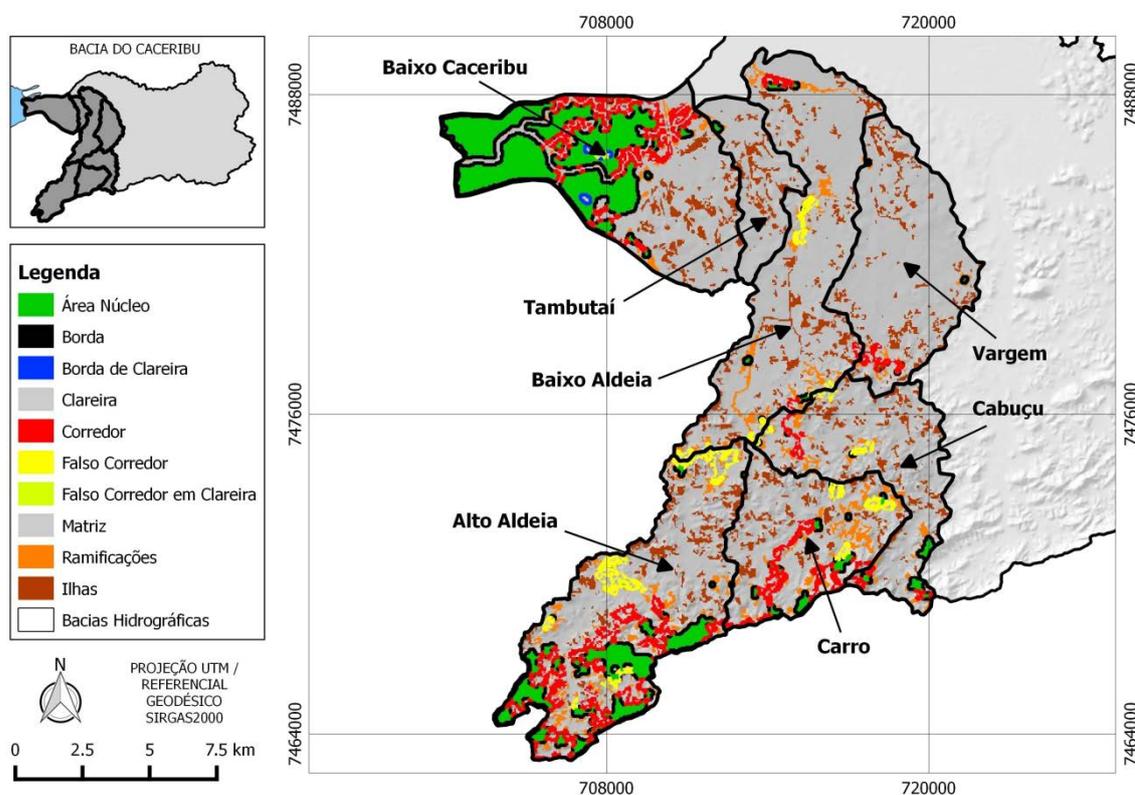


Tabela 7 - Quantitativo de padrões de fragmentação florestal na porção oeste

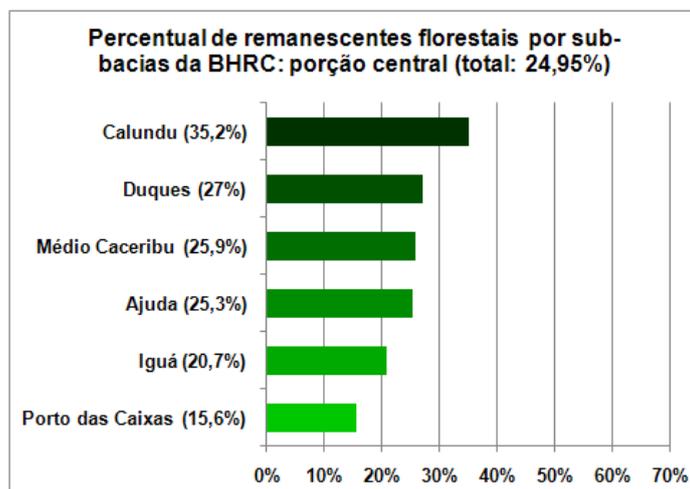
Classe	Sub-bacias da porção oeste (área em km ²)						
	Alto Aldeia	Baixo Aldeia	Bx. Caceribu	Cabuçu	Carro	Tambutaí	Vargem
Área Núcleo	4,7	0,1	14,3	0,4	0,5	0,1	0,1
Borda	4,1	0,5	6,3	0,7	1,1	0,2	0,2
Borda de Clareira	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
Clareira	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Corredor	6,9	0,6	5,9	1,0	2,7	0,0	0,7
Falso Corredor	2,2	1,1	0,0	0,5	0,9	0,0	0,0
Falso Corredor em Clareira	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
Ramificações	2,8	2,4	1,1	1,4	2,3	0,1	0,3
Ilhas	4,0	4,5	3,1	3,0	2,8	1,6	3,3
Área dos Fragmentos	24,7	9,2	31,3	7,0	10,3	2,0	4,6
%	47,6%	18,3%	61,6%	23,5%	36,0%	15,8%	13,1%
Matriz (Outras classes)	27,2	40,7	19,5	22,8	18,3	10,6	30,6
%	52,4%	81,7%	38,4%	76,5%	64,0%	84,2%	86,9%
Área da Bacia	51,9	49,9	50,8	29,8	28,6	12,6	35,2

Também possuindo destaque na porção oeste da BHRC, a sub-bacia do Alto Aldeia possui 4,7km² de fragmentos com padrão de área-núcleo, o que corresponde a 20% de seus fragmentos. Além disso, possui 4,1km² de Bordas de fragmentos. O padrão de corredores, classe predominante no total da BHRC, possui 6,9km² de área na sub-bacia do Alto Aldeia, e 5,9km² na sub-bacia do Baixo Caceribu, além de 2,7km² na sub-bacia do Rio do Carro. Na porção oeste da BHRC, essa classe totaliza 17,8km², sendo superada pelo padrão de área-núcleo, que possui 20,2km², e pelo padrão de ilhas, que possui 22,3km²

As ilhas, que correspondem aos fragmentos florestais de menor diâmetro e menor contigüidade espacial, ocupam cerca de 25% dos 89,2km² de fragmentos florestais na porção oeste da BHRC. Este padrão reflete a grande segmentação a que foi submetida a vegetação natural nesta porção da bacia, sendo o padrão de fragmentos hegemônico nas sub-bacias do Baixo Aldeia, Cabuçu, Carro, Tambutaí e Vargem, totalizando cinco das sete sub-bacias da porção oeste. Na sub-bacia do Baixo Aldeia, o padrão de ilhas compreende 48% do total dos fragmentos florestais. Na sub-bacia do Rio Vargem, este padrão compreende 71% dos remanescentes, e na sub-bacia do Rio Tambutaí, 80% do total de fragmentos. Com 22,3km², o padrão de ilhas apresenta grande destaque na porção oeste da bacia, compreendendo 37,1% do total desta classe, que possui 60,1km² em toda a BHRC.

A porção central, onde localizam-se partes dos perímetro urbanos de Itaboraí e Tanguá, e extensas áreas de agropasto, compreende 287,06km² de área ocupada por seis sub-bacias de terceira ordem. Das três porções definidas para análise dos padrões de fragmentos na BHRC, esta é a que possui maior área total, porém a que possui menor área ocupada por fragmentos florestais: 78,3km², o que corresponde a apenas 24,95% de área ocupada por florestas na BHRC (Figura 59).

Figura 59- Percentual de remanescentes por sub-bacias na porção central



Enquanto na porção oeste três sub-bacias possuíam percentual superior a 36% de suas áreas ocupadas por fragmentos florestais, na porção central a bacia que possui maior percentual é a do Rio Calundu, com 35,2% de vegetação. A sub-bacia do Rio dos Duques possui 27%, seguida do Médio Caceribu, com 25,9% e do Iguá, com 20,7%. A sub-bacia do Rio Porto das Caixas possui um dos menores índices de remanescentes florestais da BHRC: apenas 15,6%, sendo superada negativamente apenas pela sub-bacia do Rio Vargem, na porção oeste, que possui 13,1%.

O padrão de área-núcleo encontra maior representatividade somente na sub-bacia do Médio Caceribu, onde ocupa 6,1km², ou 27,1% da área de remanescentes florestais desta sub-bacia, sendo sua principal classe (Figura 60). A área-núcleo também ocupa 2,4km² na sub-bacia do Rio dos Duques, 1,4km² na sub-bacia do Rio Calundu, e 1,3km² de área na sub-bacia do Rio da Ajuda. Nas sub-bacias dos rios Iguá e Porto das Caixas este padrão possui pouca representatividade espacial. O padrão de corredores, predominante na área total da BHRC, possui 14,6km² distribuídos nas sub-bacias da porção central, o que corresponde a 19,62% do total do padrão de corredores na BHRC (Tabela 8).

Figura 60 - Mapa de padrões de fragmentação florestal na porção central

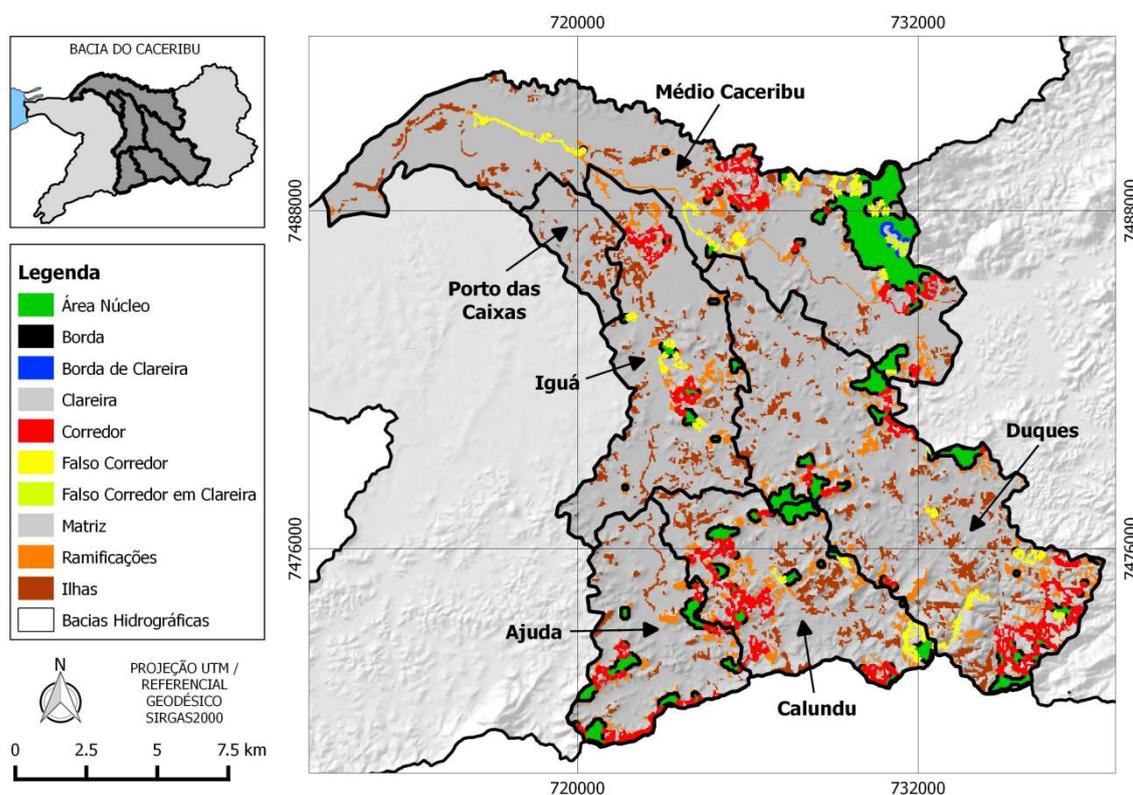


Tabela 8- Quantitativo de padrões de fragmentação florestal na porção central

Classe	Sub-bacias da porção central (área em km ²)					
	Ajuda	Calundu	Duques	Iguá	Md. Caceribu	Pt. Caixas
Área Núcleo	1,3	1,4	2,4	0,3	6,1	0,0
Borda	1,8	2,0	3,4	0,9	3,1	0,1
Borda de Clareira	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0
Clareira	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
Corredor	2,2	3,3	4,5	1,5	3,0	0,1
Falso Corredor	0,0	0,9	1,1	0,6	2,4	0,0
Falso Corredor em Clareira	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0
Ramificações	1,3	2,7	4,2	1,9	3,1	0,1
Ilhas	1,4	3,8	7,2	4,2	4,1	1,2
Área dos Fragmentos	8,0	14,1	22,8	9,4	22,5	1,5
%	25,3%	35,2%	27,0%	20,7%	25,9%	15,6%
Matriz (Outras classes)	23,5	26,0	61,5	35,9	64,2	8,1
%	74,7%	64,8%	73,0%	79,3%	74,1%	84,4%
Área da Bacia	31,5	40,1	84,3	45,3	86,7	9,6

Assim como na porção oeste, o padrão de ilhas é o predominante na porção central da BHRC, ocupando 21,9km² dos 78,3km² de fragmentos compreendidos por estas seis sub-bacias, o que corresponde a 27,96% da área total ocupada por remanescentes florestais nesta porção, e o que corresponde a 35,49% da área total ocupada pelo padrão de ilhas na BHRC. Seguido do padrão de ilhas, o padrão de corredores possui 14,6km² de área, o de ramificações 13,3km², e as áreas-núcleo, 11,5km².

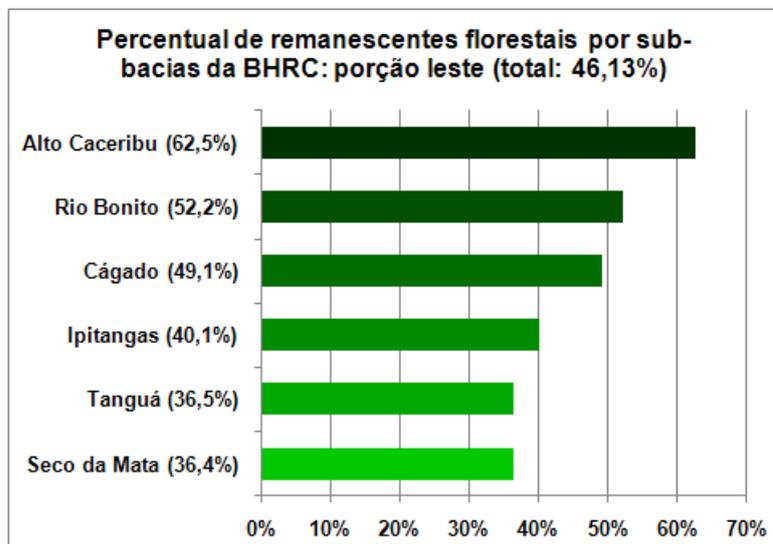
Conforme destacado anteriormente, o padrão de ilhas reflete o alto nível de segmentação e dispersão da vegetação natural, já que corresponde a fragmentos de menor diâmetro e menor contiguidade espacial. O padrão de ilhas predomina de maneira absoluta nas sub-bacias dos rios Iguá, Duques, Calundu e Porto das Caixas. Nesta última, este padrão representa 1,2km² do total de 1,5km² de fragmentos florestais que nela existem.

As ramificações, presentes em todas as sub-bacias com um total de 13,3km², são a terceira classe mais representada na porção central, e se apresentam espacialmente próximas as áreas-núcleo. Este padrão poderia ser um fator ecológico de grande eficácia se transformados em corredores através de iniciativas de reflorestamento, sobretudo em sub-bacias que apresentam alto grau de declividade do terreno. Além disso, o reflorestamento no entorno da numerosa quantidade de Ilhas poderia conectá-las, gerando novos padrões de área-núcleo, com maior contiguidade espacial.

Exibindo uma quantidade de remanescentes florestais e um padrão de fragmentação consideravelmente distinto das duas porções anteriores, a porção leste da BHRC possui 117,23km² de remanescentes, o que corresponde a 46,13% do total de vegetação natural da BHRC. Enquanto na porção central a sub-bacia que possui o maior percentual de

fragmentos florestais exibe 35,2%, na porção leste todas as seis sub-bacias apresentam valores percentuais superiores a 36% (Figura 61).

Figura 61 - Percentual de remanescentes por sub-bacias na porção leste



Entre as seis sub-bacias, a do Alto Caceribu é a que possui maior percentual de vegetação florestal, com 62,5%, sendo também a que possui os maiores valores absolutos e percentuais em toda a BHRC. Nesta sub-bacia, estão presentes 38,9km² dos 288km² de florestas da BHRC, o que corresponde a 13% do total de remanescentes florestais de toda a bacia concentrados somente nesta sub-bacia. Voltando as análises para a porção leste, seguida do Alto Caceribu, a que possui maior percentual de remanescentes em seu interior é a sub-bacia do Rio Bonito, com 52,2%. Além desta, as sub-bacias do Rio do Cágado possui 49,1%, a do Ipitangas 40,1%, a do Rio Tanguá, 36,5%, e a do Rio Seco da Mata, 36,4%.

As áreas-núcleo apresentam grandes áreas nas sub-bacias do Alto Caceribu, com 10,7km², Rio Bonito, com 7,4km², e Tanguá, com 2,9km². Apesar da sub-bacia do Alto Caceribu ser a que possui maior quantidade absoluta e percentual de fragmentos florestais em toda a BHRC, a extensão ocupada por áreas-núcleo não supera a da sub-bacia do Baixo Caceribu, na porção oeste. O padrão que apresenta maior quantidade na sub-bacia do Alto Caceribu é o de corredores, com 13,1km², o que corresponde a 33,67% do total de fragmentos presentes nesta sub-bacia (Figura 62). Ao todo, o padrão de corredores apresenta 41,8km² na porção leste da BHRC, o que corresponde a 35,89% do total dos 117,23km² de remanescentes florestais presentes nesta porção da bacia. A classe de

corredores é a predominante em área em cinco das seis sub-bacias da porção leste da BHRC (Tabela 9).

Figura 62 - Mapa de padrões de fragmentação florestal na porção leste

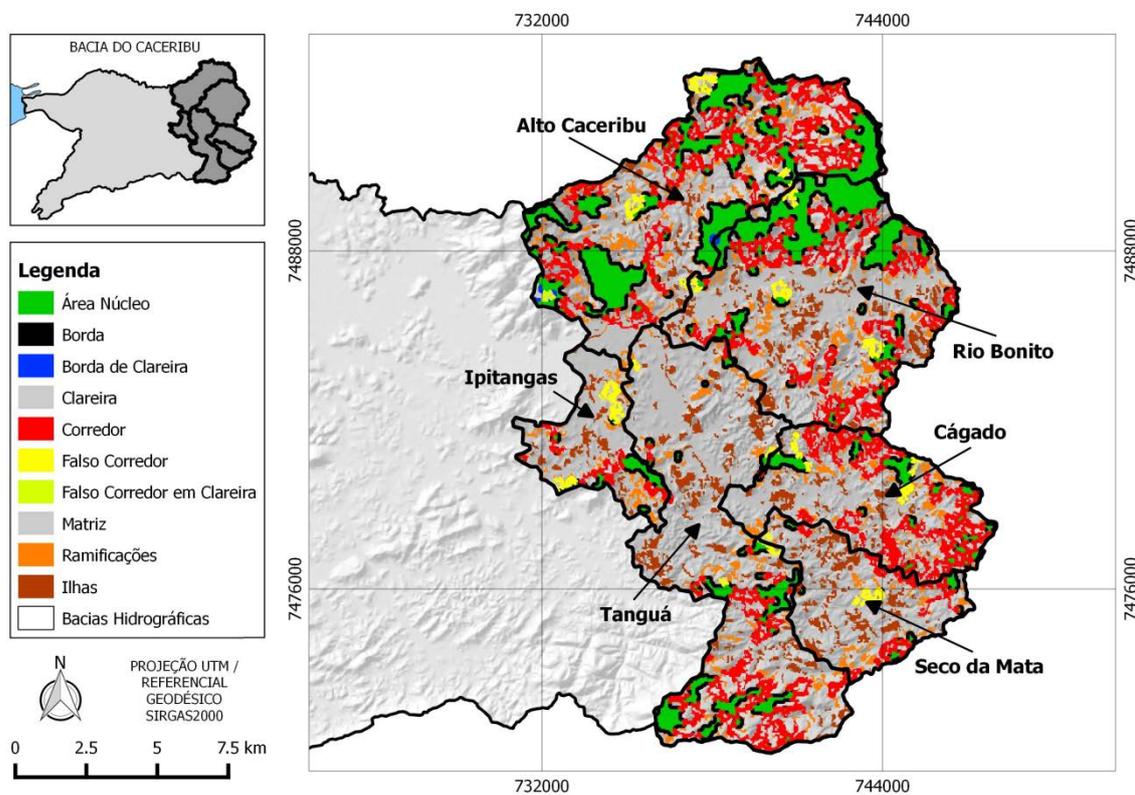


Tabela 9 - Quantitativo de padrões de fragmentação florestal na porção leste

Classe	Sub-bacias da porção leste (área em km ²)					
	At. Caceribu	Cágado	Ipitangas	Rio Bonito	Seco	Tanguá
Área Núcleo	10,7	1,5	0,6	7,4	0,3	2,9
Borda	7,8	1,5	0,8	4,8	0,6	3,6
Borda de Clareira	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
Clareira	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
Corredor	13,1	7,7	1,4	10,1	2,2	7,3
Falso Corredor	1,0	0,7	0,9	0,9	0,5	0,4
Falso Corredor em Clareira	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ramificações	4,5	2,1	1,3	3,5	1,3	3,2
Ilhas	1,4	1,6	1,3	4,3	3,3	5,6
Área dos Fragmentos	38,9	15,1	6,3	31,2	8,2	23,0
%	62,5%	49,1%	40,1%	52,2%	36,4%	36,5%
Matriz (Outras classes)	23,3	15,7	9,4	28,6	14,3	40,0
%	37,5%	50,9%	59,9%	47,8%	63,6%	63,5%
Área da Bacia	62,2	30,8	15,7	59,8	22,5	63,0

Seguido dos corredores, o padrão de áreas-núcleo possui 23,4km², sendo o segundomais extenso da porção leste. As bordas das áreas-núcleo apresentam 19,1km² no total, com presença sobretudo nas sub-bacias do Alto Caceribu, Rio Bonito e Tanguá, bacias que possuem grandes extensões de áreas-núcleo. As ilhas, padrão de fragmentos predominante nas porções oeste e central, apresentam 17,5km², sendo o quarto mais extenso da porção leste, o que reflete que nesta porção da bacia o padrão de fragmentos pequenos e dispersos não é tão extenso quanto os padrões de maior contigüidade espacial e função ecológica, como as áreas-núcleo e os corredores. O padrão de ilhas apresenta maior área nas sub-bacias do Rio Tanguá, Rio Bonito e Rio Seco da Mata, sendo esta última a única da porção leste que possui o padrão de ilhas como o mais extenso, com 3,3km².

As ramificações, padrão de grande representatividade nas porções oeste e central, possuem na porção leste 15,9km², sendo o quinto padrão mais representado. As áreas de clareiras, bordas de clareiras, falsos corredores, e falsos corredores em clareiras possuem áreas bem menos extensas que as demais, em todas as seis sub-bacias. Por se tratar de uma porção da BHRC bem mais preservada que as demais, a porção leste apresentou padrões de fragmentos maiores e mais espacialmente contíguos, além de ter destaque o padrão de corredores, que possui uma importante função ecológica. Além disso, cabe destacar que nesta área estão localizadas as doze sub-bacias de primeira ordem classificadas como degradadas íngremes. Diante disso, as iniciativas de preservação de áreas já conservadas seria de grande eficácia, paralelamente à aplicação localizada de reflorestamentos, ressaltando o fato de que os remanescentes florestais existentes se encontram-se sobretudo em áreas montanhosas e de grande declividade, além de não haver a presença de nenhuma unidade de conservação de âmbito federal ou estadual.

Além dos mapas e tabelas quantitativas, os produtos gerados nesta etapa encontram-se em bancos de dados em ambiente SIG, e possuem potencial de subsidiar o planejamento ambiental, indicando as iniciativas de preservação ou de reflorestamento na área de estudo, através dos pressupostos da Geoecologia das Paisagens. Ao aliar-se aos produtos de geomorfologia, sub-bacias de primeira ordem, e declividade, podem orientar as áreas para aplicação da tomada de decisão, como complementação de falsos corredores, ampliação da vegetação em ramificações para conversão destes em corredores, além de preenchimento de áreas de clareiras localizadas no interior de grandes fragmentos florestais, estabelecendo prioridades de acordo com os outros produtos, como a declividade do terreno.

4.7 Estudo de caso: proposta de aplicação de reflorestamento

A proposta geral da pesquisa segue 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 reflorestamento ou de preservação de áreas já conservadas, considerando áreas prioritárias. Diante destas possibilidades, foi elaborado um estudo de caso aplicado a uma área específica, com a proposta de reflorestamento, baseada nas abordagens teóricas e metodológicas trabalhadas até então, considerando a perspectiva geossistêmica e a Geoecologia das Paisagens.

A área selecionada pertence à bacia do Rio da Ajuda, bacia de terceira ordem que possui apenas 25,3% de remanescentes florestais, e se localiza na porção central da BHRC (Figura 63). A área corresponde a três sub-bacias de primeira ordem, que, juntas, possuem 3,84km², equivalendo a apenas 0,37% do total da BHRC. Destas sub-bacias, duas pertencem à classe que demanda maior atenção: degradadas íngremes. A escolha da área considerou este fator, e os padrões de fragmentos existentes (Figura 64), além das condições gerais da bacia do Rio da Ajuda, que possui reduzido percentual de florestas. Estas variáveis são multiescalares, e consideram todos os produtos gerados na pesquisa.

Figura 63 - Sub-bacias selecionadas para proposta de aplicação de reflorestamento

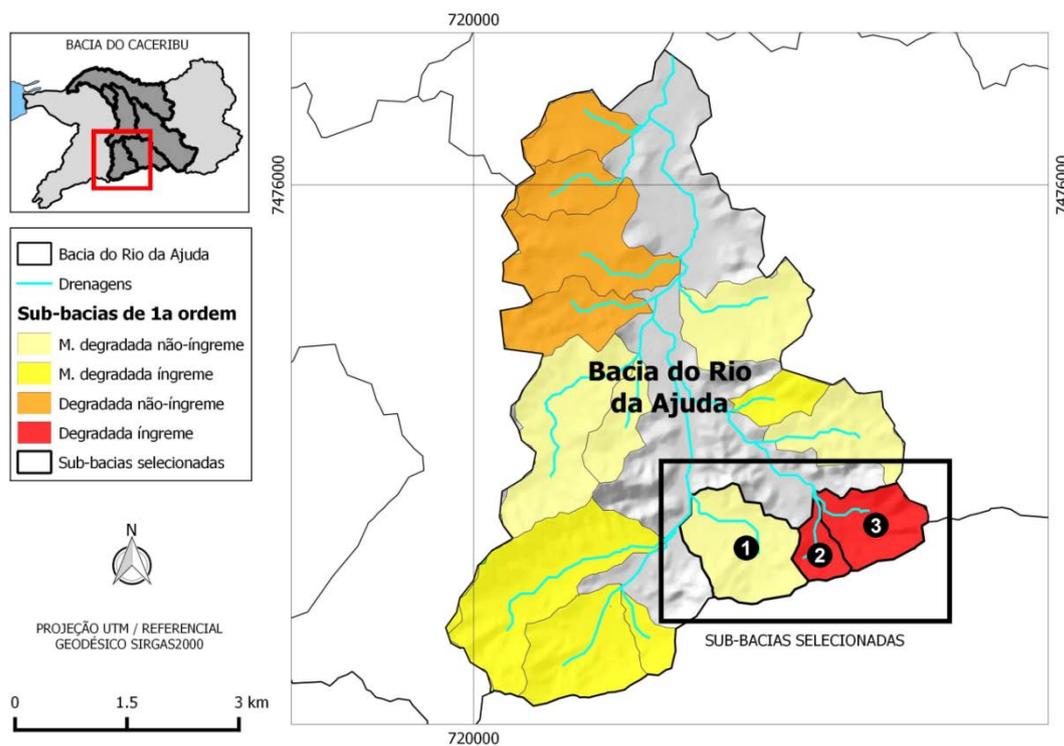
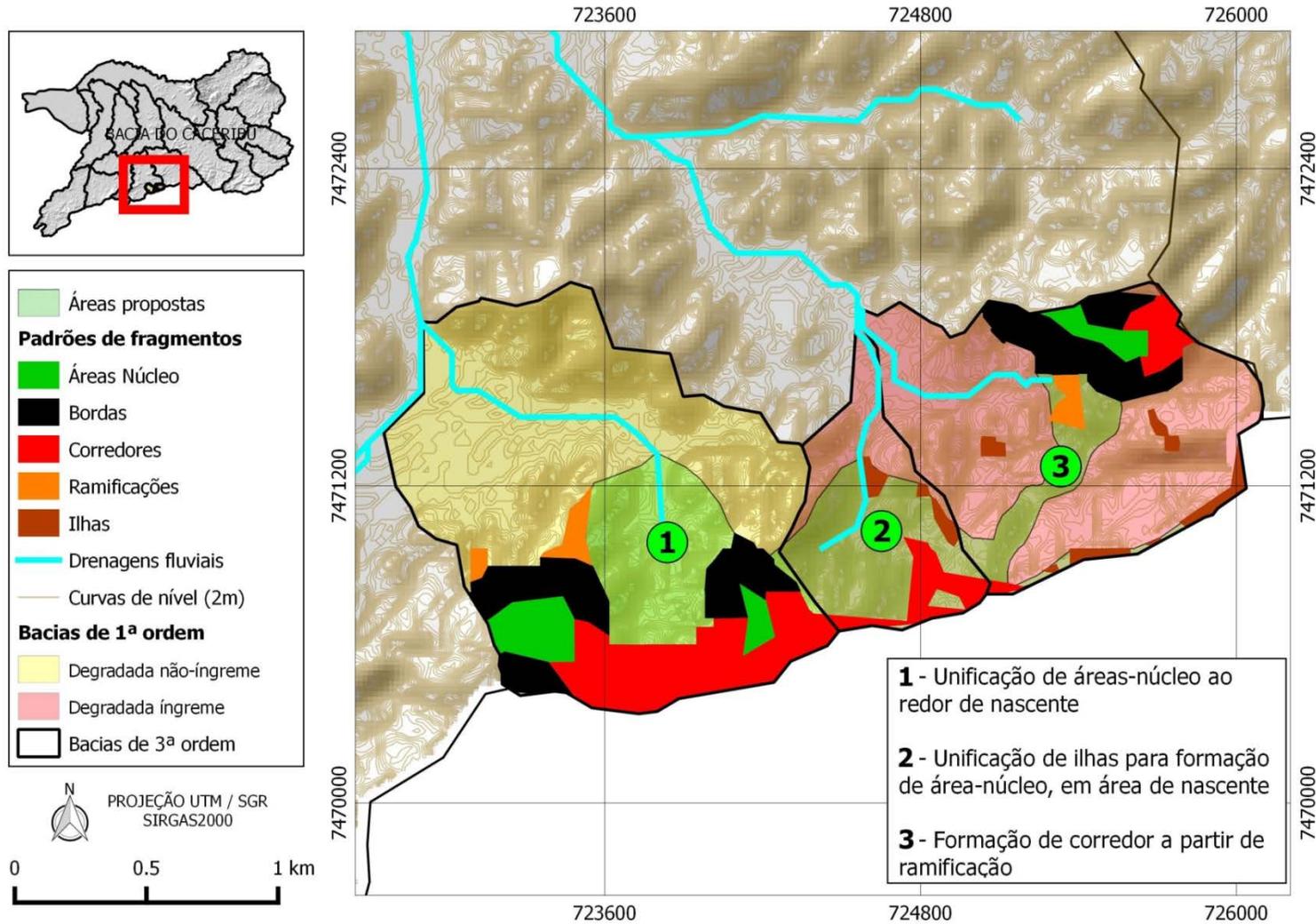


Figura 64 - Proposta de aplicação de reflorestamento em sub-bacias



Compreendidos entre as três sub-bacias, existem 11,8ha de área-núcleo, 30,76ha de bordas, 34,56ha de corredores, 4,96ha de ramificações, e 6,14ha de ilhas, totalizando 88,24ha de remanescentes florestais. A partir de então, foram delimitadas três áreas propostas para reflorestamento, cada uma localizada numa sub-bacia de primeira ordem, totalizando 79ha. As três sub-bacias encontram-se no domínio de montanhas, e o traçado manual das áreas propostas considerou os padrões espaciais dos fragmentos existentes e as cotas de relevo, representadas pelas curvas de nível, com intervalo de 2 metros.

A área 1, apontada na Figura 63, define uma área de 30ha proposta para reflorestamento, através da unificação de duas áreas-núcleo existentes ao redor da nascente do curso fluvial da sub-bacia de primeira ordem localizada a oeste. A área 2 define 33ha de área proposta para reflorestamento, envolvendo a unificação de fragmentos em padrão de ilhas para formação de uma área-núcleo, também compreendendo uma área de nascente, na sub-bacia central. Por fim, a área 3 define 16ha de área para reflorestamento através da implantação de um corredor, a partir do prolongamento de uma ramificação existente, para unificação com área-núcleo. Esta última também abrange uma área de nascente, referente a sub-bacia localizada a leste.

Por se tratarem de sub-bacias de primeira ordem, o reflorestamento de maneira integral e a posterior conservação da área seriam as iniciativas mais indicadas, considerando também o fato de que a bacia de terceira ordem em que se encontram possui baixa quantidade total de remanescentes. Apesar disso, as referidas propostas seriam as mínimas ações requeridas, considerando as características topográficas, os remanescentes existentes, e a posição exata das nascentes, que devem ser verificadas. Cabe ressaltar que um trabalho de campo minucioso é requerido para real aplicação das iniciativas, já que os arranjos espaciais das propriedades rurais, os tipos de atividades destas, e o nível de ocupações antrópicas em geral, interferem na área pré-determinada para o reflorestamento. Este tipo de execução deve considerar os limites entre as propriedades, as passagens de gados, os canais de drenagem artificiais construídos para escoamento hídrico, entre outras características sócio-biofísicas que devem ser analisadas de maneira mais aprofundada.

Diante disso, cabe destacar o fato de que estas são 3 das 366 sub-bacias de primeira ordem, ocupando apenas um total de 0,37% da área da BHRC, e que cada área, para além destas, apresenta um caso específico a ser analisado. Sendo assim, a proposta deste tópico é, exclusivamente, ser um exemplo 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 biofísicas da bacia, esta pesquisa propôs a geração de produtos que, se analisados de maneira integrada e multiescalar, tragam perspectivas e auxílios a tomada de decisões, envolvendo iniciativas de preservação, recuperação ambiental, ou reflorestamento, baseados nos pressupostos teóricos levantados e aplicados na metodologia.

A revisão teórica proposta objetivou um levantamento bibliográfico adequado com o compromisso assumido nos objetivos da pesquisa, envolvendo a paisagem numa perspectiva geossistêmica, a Geoecologia das Paisagens, a bacia hidrográfica como uma unidade geossistêmica da paisagem, a importância dos remanescentes florestais nos sistemas naturais, e as potencialidades do geoprocessamento e do sensoriamento remoto.

As análises morfométricas do relevo, utilizando o MDE RJ25 (IBGE, 2015) e a metodologia do IPT (1981), caracterizam a rede de drenagem, a amplitude, e a declividade do terreno, revelando 19 sub-bacias de terceira ordem, e 366 sub-bacias de primeira ordem, local das nascentes dos cursos d'água. A partir dos produtos anteriores gerados, foi possível a elaboração do mapa de domínios geomorfológicos, o que revelou a classe de montanhas como a predominante na área da BHRC, com 265km², ou 33% da área da bacia. Após a edição manual, os métodos de validação e a aferição dos valores médio e máximo de cada domínio de relevo contribuíram para validar o mapeamento realizado. Ao longo das etapas metodológicas, o MDE adquirido e a adaptação da metodologia do IPT (1981) obtiveram resultados satisfatórios, e alcançaram os objetivos propostos inicialmente, gerando produtos passíveis de serem utilizados nas etapas seguintes, e em iniciativas de planejamento ambiental.

A correção atmosférica das imagens de satélite OLI Landsat 8, utilizando o algoritmo 6S, e a classificação baseada em objetos, utilizando descritores e modelagem de classes, foram determinantes para um mapeamento de uso e cobertura da terra da BHRC mais confiável, que demandou uma breve etapa de edição manual posterior à classificação automática. O mapeamento de uso e cobertura apresentou como resultado a classe de agropasto como a predominante na bacia, com 436,5km², ou 54,37% da área total da BHRC, estando este dado compatível com a realidade da área da bacia. Dos resultados do mapeamento de uso e cobertura, foram extraídas as classes de floresta e de mangue, que, juntas, representam a classe de remanescentes florestais, utilizadas nas etapas posteriores.

O cruzamento entre os dados do mapeamento geomorfológico e de remanescentes florestais indicaram qual domínio do relevo possui maior valor percentual de áreas florestais conservadas, revelando a classe de montanhas como a que detém 149,12km² de florestas, ocupando 56,22% de seus domínios. A forma do relevo é um importante condicionante no impedimento ou favorecimento de ocupações e atividades urbanas e rurais, e a análise do estado de conservação por domínios do relevo pode auxiliar em iniciativas de zoneamentos territoriais, orientando o setor público no ordenamento da ocupação do território, considerando a classe do relevo e priorizando a conservação da vegetação natural existente.

Um dos principais objetivos da pesquisa, a análise do estado de conservação por sub-bacias de primeira ordem, foi elaborado a partir do cruzamento entre os dados de declividade percentual média e de quantidade percentual média de remanescentes florestais, por sub-bacias de primeira ordem. Este produto revelou a classe degradadas não-íngremes como a mais numerosa na BHRC, com 111 sub-bacias enquadradas. As sub-bacias com melhores condições, consideradas conservadas, foram apenas 32, e as sub-bacias em condições que requerem maior atenção foram 12: as classificadas como degradadas íngremes. Estas condições são as que mais favorecem os movimentos de massa e a erosão dos solos. A pesquisa destacou como os referidos mapas e análises quantitativas podem apontar as áreas prioritárias para reflorestamento ou para preservação, dando subsídios ao planejamento ambiental, através de um produto que indica de maneira objetiva o estado de conservação e a declividade média de áreas que contém as nascentes dos rios. Cabe destacar, se tratando de uma análise multiescalar, que as áreas prioritárias podem envolver tanto as sub-bacias de primeira ordem mais degradadas, como as sub-bacias de terceira ordem com menores percentuais de remanescentes florestais.

A análise dos padrões de fragmentação dos remanescentes florestais foi realizada utilizando as perspectivas teóricas da geoecologia, ao caracterizar a espacialidade e a funcionalidade dos fragmentos florestais. Este mapeamento, utilizando o *software* GUIDOS, revelou o padrão de corredores como o mais numeroso entre os fragmentos da BHRC, com 74,4km², seguido do padrão de ilhas, com 60,1km². As áreas-núcleo, padrão de fragmentos com maior tamanho e contiguidade espacial, representaram 54,2km², com 43,5km² de bordas de fragmentos. A utilização do software GUIDOS alcançou aos objetivos, gerando de maneira semi-automática um produto que complementa com eficácia os anteriores gerados na pesquisa.

Enquanto as informações de localização das sub-bacias de diferentes ordens, de percentual de declividade e de remanescentes florestais, e de características morfométricas do relevo, podem definir as áreas prioritárias para conservação ou para iniciativas de reflorestamento e recuperação ambiental, as análises dos padrões de fragmentação florestal podem indicar ou sugerir o tipo de aplicação destas iniciativas, conforme foi destacado no estudo de caso que propôs a aplicação de reflorestamento em área específica, utilizando os produtos gerados na pesquisa e os pressupostos teóricos levantados.

O mapeamento de padrões de clareiras, ramificações, falsos corredores ecológicos, entre outros, traz à luz as classes de fragmentos florestais que existem na bacia, podendo orientar o tipo de tomada de decisão a ser feita. Entre as aplicações de relevância ecológica estão a implementação de corredores entre diferentes fragmentos, a ampliação de ramificações para conversão destas em corredores ecológicos, ou o preenchimento de clareiras para ampliação da extensão de áreas contíguas de fragmentos florestais, aumentando a conectividade entre os remanescentes florestais na bacia. Além disso, o reflorestamento a partir das ilhas dispersas pode gerar novos fragmentos maiores, sendo primordial também a preocupação com a conservação dos fragmentos maiores já existentes. Tais iniciativas possuem maior relevância se levadas em consideração as áreas prioritárias, definidas a partir das sub-bacias de primeira ordem menos conservadas, o percentual de remanescente das sub-bacias de terceira ordem, e o domínio do relevo.

Diante disso, os materiais e os métodos utilizados alcançaram os objetivos inicialmente propostos, destacando as dificuldades, como a necessidade de edição do mapa de uso e cobertura da terra mesmo após as etapas de modelagem dos descritores, e as viabilidades, como a gratuidade de *softwares* utilizados, imagens orbitais e modelos de elevação. Cabe ressaltar ainda, que todos os produtos encontram-se em ambiente SIG, passíveis de manuseio que objetivem futuras análises integradas. Sendo assim, a pesquisa alcançou seus objetivos, propondo as possibilidades e variedades de análises de remanescentes florestais e de morfometria do relevo que podem ser feitas sobre uma mesma área, e que, trabalhadas em conjunto, podem fornecer aparato técnico para auxílio a tomada de decisão, dentro de uma perspectiva geossistêmica da paisagem.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, J. R.; HARDY, E.E.; ROACH, J.T.; WITNER, H.E. **Sistema de classificação do uso da terra e do revestimento do solo para utilização com dados de sensores remotos**. Tradução de Harold Strang. 78p. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.
- ANTUNES, M.A.H.; DEBIASI, P.; COSTA, A.R.; GLERIANI, J.M. Correção Atmosférica de Imagens Alos/Avnir-2 Utilizando o Modelo 6S. In: **Revista Brasileira de Cartografia**. No 64/4. Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, 2012.
- ARAUJO, D.S.D.; MACIEL, N.C. **Os manguezais do recôncavo da Baía de Guanabara**. 113p. Rio de Janeiro: FEEMA, 1979.
- ARGENTO, M.S.F. Mapeamento geomorfológico. In: **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B (Org.). 13ª Edição. p.365-292. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015.
- BARCELOS, E. A. S.; WANDERLEY, L. J.; ROCHA-LEÃO, O. M.; ALENTEJANO, P. C. R.; COSTA, P. D. A. **Barragem do Guapiaçu: uma necessidade diante da “crise hídrica” ou mais um negócio suspeito?** 22p. Niterói: AGB, 2015.
- BARROS, F.A. **Efeito de borda em fragmentos de Floresta Montana, Nova-Friburgo – RJ**. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental). 112p. Niterói: UFF, 2006.
- BERTALANFFY, L. **Teoria Geral dos Sistemas**. Trad. F. M. Guimarães. Petrópolis: Vozes. [1973 (1901)]
- BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico. In: **Caderno de Ciências da Terra**. No 13. São Paulo: Revista IG-USP, 1971.
- BRAGA, B.; FLECHA, R.; PENA, D.S.; KELMAN, J. A. Reforma Institucional no setor de Recursos Hídricos. In: **Águas doces no Brasil**. REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (Org.). p.639-675. São Paulo: Escrituras, 1999.
- BRIDGEWATER, P. B. *Landscape ecology, geographic information systems and nature conservation*. In: *Landscape ecology and GIS*. Ed. Haines-Young et al., Taylor & Francis: 11-21. 1993.
- BURLEY, T.M. *Land use or Land utilization?* In: *Professional Geographer*. Newcastle, NSW. Australia. 18-20. 1961.
- 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. Publicado como: INPE-8565-PRE/4309. Disponível na biblioteca digital URLib: <http://mtc12.sid.inpe.br/rep/sid.inpe.br/sergio/2004/04.19.14.42>. Acesso em: novembro de 2015.

CAVALCANTI, L.C.S. **Cartografia de Paisagens: fundamentos**. 95p. São Paulo: Oficina de textos, 2014.

CASIMIRO, P.J.C.C. Uso do Solo - Ecologia da Paisagem: Perspectivas de uma abordagem do estudo da paisagem em Geografia. In: **Revista DGPR**, No 2. pp.45-66. Lisboa: FCSH-UNL, 2000.

CASTRO, I. E.. O problema da escala. In: CASTRO, I. E.; GOMES, P. C. C.; CORRÊA, R. L. (Org.). **Geografia: Conceitos e Temas**.pp.117-140. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995.

CHINNAYAKANAHALLI, K.; HILL, R.; OLSON, J.; KROEBER, C.; TARBOTON, D.G.; HAWKINS, C. *The Multi-Watershed Delineation Tool: GIS Software in Support of Regional Watershed*. 44p. Utah: Utah State University, 2006.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª Edição. 188p. São Paulo: Edgard Blücher. 1980.

_____. **Modelagem de sistemas ambientais**. 236p. São Paulo. Edgard Bücher, 1999.

_____. Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. In: **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. GUERRA, A. J. T;

CUNHA, S. B (Org.). 13ª Edição. p.415-436. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B (Org.). 13ª Edição. p93-148. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015.

CRUZ, C.B.M., VICENS, R.S., SEABRA, V.S., REIS, R. B., FABER, O.A., RICHTER, M., ARNAUT, P.K.E., ARAUJO, M. Classificação orientada a objetos no mapeamento dos remanescentes da cobertura vegetal do bioma Mata Atlântica, na escala 1:250.000. **Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis: INPE, 2007.

DANTAS, M.E. Geomorfologia do estado do Rio de Janeiro. **Projeto Rio de Janeiro**. Brasília: CPRM, 2000.

_____.; SHINZATO, E.; MEDINA, A.I.M.; SILVA, C.R.; PIMENTEL, J.; LUMBRERAS, J.F.; CALDERANO, S.B.; CARVALHO FILHO, A. **Diagnóstico geoambiental do estado do Rio de Janeiro**.35p. CPRM, 2005.

DEFINIENS, *The Principles of Definiens Cognition Network Technology*. Disponível em:<<http://earth.definiens.com/learn/technology>>. Acesso em: Janeiro de 2016.

DIAS, J.E.; GÓES, M.H.B.; XAVIER-DA-SILVA, J.; GOMES, O.V.O. Geoprocessamento aplicado a análise ambiental: O caso do município de Volta Redonda. In: XAVIER-DASILVA, J.; ZAIDAN, R.T. (Orgs.). **Geoprocessamento e Análise Ambiental: Aplicações**. 6ª Edição. p.143-178. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004

DINIZ, J.A.F. **Geografia da agricultura**. 278p. São Paulo: DIFEL, 1984.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **SIGMINE**. Disponível em: <<http://sigmine.dnpm.gov.br/webmap/>>. Acesso em: Março de 2016.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA.
Caracterização socioeconômica das bacias hidrográficas dos rios Guapi-Macacu e Caceribu. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2012

FAUSTINO, C.; FURTADO, F. **Indústria do petróleo e conflitos ambientais na Baía de Guanabara: o caso do Comperj**. 85p. Rio de Janeiro: Plataforma Dhesca – Relatoria do Direito Humano ao Meio Ambiente, 2013.

FIGUEIREDO, G. C.; VIEIRA, C. A. O. Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto. In: **Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, 2007, Florianópolis. São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p.5755-5762. CD-ROM, On-Line. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2007/>>. Acesso em: out. 2016.

FITZ, P.R. **Cartografia Básica**. 143p. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLORENZANO, T.G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

_____. Geotecnologias na Geografia aplicada: difusão e acesso. In: **Revista do Departamento de Geografia**. n.17. p.24-29. 2005.

_____. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. 320p. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

_____. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 3ª Edição. 128p. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

_____; CSORDAS, S.M. **Mapa geomorfológico da Região do Médio Vale do Paraíba e Litoral Norte do Estado de São Paulo**. São José dos Campos: INPE, 1993.

GREGORY, K.J. **A Natureza da Geografia Física**. 367p. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992. 367p.

GUERRA, A.J.T. Processos erosivos nas encostas. In: **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B (Org.). 13ª Edição. p149-210. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 648p. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.

HEYMANN, Y. *Corine land cover technical guide*. Colaboração de Chris Steenmans, Guy Croisille e Michel Bossard. 136p. Luxembourg: European Commission, 1994.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE CDDI, 2004.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Uso da Terra**. Número 7. 2ª Edição. Rio de Janeiro: IBGE CDDI, 2006.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE CDDI, 2010.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Uso da Terra**. Número 7. 3ª Edição. Rio de Janeiro: IBGE CDDI, 2013.

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_md_e/rj25/informacoes_tecnicas/Metadados_MDE_RJ25.pdf>. Acesso em: Abril de 2015

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Base Cartográfica Contínua ao Milionésimo**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm#TERRIT> Acesso em: Janeiro de 2016

ICMBIO - INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Área de Proteção Ambiental de Guapimirim e Estação Ecológica da Guanabara**. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/apaguapimirim/>> Acesso em: Maio de 2015.

INEA – INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. **O Estado do Ambiente**. Disponível em: <<http://inea.rj.gov.br/Portal/MegaDropDown/EstudosePublicacoes/Publicaes/EstadodoAmbiente/index.htm&lang=PT-BR>> 2010. Acesso em: Março de 2015.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Tutorial do Spring**. São José dos Campos: INPE, 2006.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. DGI - Divisão de Geração de Imagens: **Características das imagens Landsat**. Disponível em: http://www.dgi.inpe.br/siteDgi/ATUS_LandSat.php. Acesso em: Maio de 2015.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT. 1981
IRWIN, S.; SRIVASTAV, R.; SIMONOVIC, S.P. *Instruction for Watershed Delineation in an ArcGIS Environment for Regionalization Studies*. 46p. Western University of Canada, 2014.

JANSEN, L.J.M.; GREGORIO, A. Di. *Parametric land cover and land use classifications as tools for environmental change detection*. In: Agriculture Ecosystems e Environment. 2002.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução: José Carlos Neves Epiphanyo (Cor.) et al. 2ª Edição. São José dos Campos, SP. 2007.

LACERDA, E.R.; PIMENTA, M.L.F. Estudo multiescalar da fragmentação florestal utilizando análise baseada em objetos. In: **Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**.p.5133-5140. João Pessoa, XVII SBSR. São José dos Campos: INPE, 2015. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p1013.pdf>>

LACOSTE, Y. **A geografia: isso serve, em primeiro lugar, para fazer a guerra**. Tradução de Maria Cecília França. 2ª Edição. 263p. Campinas: Papirus, 1989.

LANDAU, E.C.; GUIMARÃES, D.P. Análise comparativa entre os modelos digitais de elevação ASTER, SRTM e TOPODATA. In: **Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**.p.4003-4010. Curitiba: INPE, 2011.

LANDIM, P.M.B. **Análise Estatística de Dados Geológicos Multivariados**. 208p. São Paulo: Oficina de Textos, 2003.

LANG, S.; BLASHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. 215p. 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. 115p. 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: **Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina**.p.8191-8218. São Paulo, 2005.

MACHADO, L.O. **Diagnóstico sócio-econômico da Bacia do Caceribu-RJ**. Rio de Janeiro: FEEMA/IBG, 1998.

MARQUES, J.S. Ciência geomorfológica. In: **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B (Org.). 13ª Edição. p.23-50. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015.

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

MEDEIROS, J.S.; CÂMARA, G. Geoprocessamento para Projetos Ambientais. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. (Ed.). **Introdução à ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. p. 16. Publicado como: INPE-8565-PRE/4309. Disponível na biblioteca digital URLib: <http://mtc-12.sid.inpe.br/rep/sid.inpe.br/sergio/2004/04.19.14.42>. Acesso em: Janeiro de 2015.

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

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Sistema Nacional de Unidades de Conservação**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/sistema-nacionalde-ucs-snuc>>. Acesso em: Março de 2015.

MMA/IBAMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE / INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Plano de Manejo da APA de Guapimirim**. 384p. Brasília: MMA/IBAMA, 2004.

MONTEIRO, C. A. F. **Os Geossistemas como elemento de integração na síntese geográfica e fator de promoção interdisciplinar na compreensão do ambiente**. Florianópolis: UFSC, 1995.

MORIN, E. Introdução ao pensamento complexo. In: **Ciência com Consciência**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil [2003 (1982)].

NAME, L. O conceito de paisagem na geografia e sua relação com o conceito de cultura. In: **Geotextos**. v.6. p163-186. Salvador, 2010.

NASCIMENTO, A. F.; RUBIM, I. B.; PEREIRA, E. G. S.; BARROS, R. S.; RICHTER, M.. Classificação da cobertura da terra, utilizando os programas livres: InterImage, WEKA e QuantumGIS. In: **Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, 2013, Foz do Iguaçu. São José dos Campos: INPE, 2013. Artigos, p.2258-2265. CD-ROM, On-Line. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/>>. Acesso em: set. 2016

ODUM, E.P. **Fundamentos de Ecologia**. 632p. 6ª Edição. São Paulo: Fundação Calouste Gulbenkian, 2004.

OLIVEIRA, R.F. **Flora e fauna dos ecossistemas da Baía de Guanabara e seus entornos**. Rio de Janeiro: FEEMA, 2001.

PASSARGE, S. *Fundamentals of the geography of landscapes*. 127p. Hamburg: L. Friederuchen & Co., 1919.

PIMENTA, M. L da F., COURA, P. H. F., CRUZ, C. B. M., LACERDA, E. R. Estudo das incertezas da definição de parâmetros no processo de correção atmosférica. In: **Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Foz do Iguaçu, PR, 13 - 18 de abril 2013. p.1915-1922. São José dos Campos: INPE, 2013. On-line. Disponível em: <<http://marte2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.00.18.08/doc/p1019.pdf>>

PIRES, I.O. **Mapeamentos dos manguezais do recôncavo da Baía de Guanabara através da utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). 85p. São José dos Campos: INPE, 1986.

_____. **Monitoramento dos Manguezais da APA de Guapimirim através da correlação dos dados de fitomassa e radiação TM/Landsat**. Tese (Doutorado em Geografia Física). São Paulo: USP, 1992.

PIRES NETO, A. G. **As abordagens sintético-histórica e analítico-dinâmica: uma proposição metodológica para a geomorfologia**. Tese (Doutorado em Geografia Física). São Paulo: USP, 1992.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E.; KUPLICH, T.M. **Sensoriamento Remoto da vegetação**. 2ª Edição. 160p. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

RIÁBCHICOV, A.M. *Estructura y Dinámica de La Esfera Geográfica: Su desarrollo natural y transformación por el hombre*. Traducido del Ruso para Español por Isabel Alvarez Moran. Moscou: Editorial MIR, 1976.

RODRIGUEZ, J.M.M., SILVA, E.V. e CAVALCANTI, A.P.B. **Geoecologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. 2ª Edição. 222p. Fortaleza: Edições UFC, 2007.

ROSS, J.L.S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. In: **Revista do Departamento de Geografia**.No.6. São Paulo: FFLCH/USP, 1992.

_____.; MOROZ, I.C. Mapa Geomorfológico do estado de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia da USP**. 18p. São Paulo: USP, 1996.

_____. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. 88p. São Paulo: Contexto, 1997.

_____. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental**. 208p. São Paulo: Oficina de textos, 2006.

SANTOS, M. **Metamorfoses do espaço habitado**. 136p. São Paulo: Hucitec, 1998. 136p.

SANTOS, M.; SILVEIRA, M. L. **O Brasil: território e sociedade no início do século XXI**. 6ª Edição. 473p. Rio de Janeiro: Record, 2004.

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

SEABRA, V.S., SILVA G.C., CRUZ, C.B.M. *The use of geoprocessing to assess vulnerability on the east coast aquifers of Rio de Janeiro State, Brazil*.In: Environmental Geology, Volume 57. Number 3. Pag. 665-674. DOI 10.1007/s00254-008-1345-6. 2009.

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

_____. Análise espacial e multitemporal do padrão de fragmentação florestal na bacia hidrográfica do rio São João. . In: **Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**,p.7762-7769. Foz do Iguaçu, PR, 13 - 18 de abril 2013. São José dos Campos: INPE, 2013. On-line. Disponível em:
<<http://marte2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.00.18.08/doc/p1019.pdf>>

SILVA, A. R.; TOMASIELLO, D. B.; PRADO, B. R.; VIEIRA, M. A.; BARBARISI, B. F.; ORTIZ, M. J. Extração da cobertura vegetal de áreas urbanas utilizando imagens do satélite GeoEye-1. In: **Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, 2011, Curitiba. São José dos Campos: INPE, 2011. Artigos, p.1576-1583. CD-ROM, On-Line. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/>>. Acesso em: set. 2016

SOARES, F. S., ALMEIDA, R. K., RUBIM, I. B., BARROS, R. S., CRUZ, C. B. M., MELLO, G. V., NETO, J. A. B. Análise comparativa da correção atmosférica de imagem do Landsat 8: o uso do 6S e do ATCOR2. In: **Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**.p.1821-1828. João Pessoa, XVII SBSR. São José dos Campos: INPE, 2015. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0358.pdf>>

SOCHAVA, V. B. **O estudo dos geossistemas**. São Paulo: Revista IG-USP (Caderno Métodos em Questão), n.16. 1977.

_____. **Por uma teoria de classificação de geossistemas de vida terrestre**. São Paulo: Revista do IG-USP (Caderno de Biogeografia), n.14. 1978.

STRAHLER, A.N. *Hypsometric analysis of erosional topography*. In: Geol. Soc. America Bulletin. p.1117-1142. 1952

SUERTEGARAY, D.M.A. Espaço geográfico uno e múltiplo. In: **Revista Geografia y Ciências Sociales**.No 93. Barcelona, 2001.

STIMAMIGLIO, A. Hidrografia. In: KNIE, J. L. W. **Atlas ambiental da região de Joinville: Complexo hídrico da Baía da Babitonga**. p.19-22. Florianópolis: FATMA/GTZ, 2002.

TABACOW J.W.; XAVIER-DA-SILVA, J. Geoprocessamento aplicado à análise da fragmentação da paisagem na Ilha de Santa Catarina. In: XAVIER-DA-SILVA, J.; ZAIDAN, R.T. (Orgs.). **Geoprocessamento e Meio Ambiente**.pp.35-70. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

TOPODATA. **Banco de dados geomorfométricos do Brasil**. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em: Novembro de 2015

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

TROLL, C. A paisagem geográfica e sua investigação. In: **Espaço e cultura**. Rio de Janeiro: UERJ/NEPEC, n.2. [1997 (1950)].

UFF – UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE. **Planejamento Estratégico da região hídrica dos rios Guapi-Macacu e Caceribu-Macacu**. Niterói: UFF/FEC, 2010.

USGS – UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. *Landsat Data Access*. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/Landsat_Search_and_Download.php>. Acesso em: Março de 2015.

USGS – UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. *Using the USGS Landsat 8 Product*.Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php>. Acesso em: Janeiro de 2016.

VALERI, S.V.; SENÔ, M.A.A.F. A importância dos corredores ecológicos para a fauna e a sustentabilidade de remanescentes florestais. In: **Anais do 8º Congresso Internacional de Direito Ambiental**. São Paulo. P.699-709. São Paulo: Imprensaoficial, 2004.

VIANA, V.M. Biologia e manejo de fragmentos florestais naturais. **Anais do 6º Congresso Florestal Brasileiro**. P113-118. São Paulo, 1992.

VIEIRA, V.T.; CUNHA, S.B. Mudanças na rede de drenagem urbana de Teresópolis. In: Guerra, A.J.T.; Cunha, S.B. **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil**. 9ª Edição. p.111-145. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.

VOGT, P. *User Guide of Guidos*. European Commission, Joint Research Centre (JRC). Italy. 2012.

WATERSHED DELINEATION TOOLS.TUTORIAL.*Hydrologic Modeling Technical Workshop*.5p. University of California, 2007.

XAVIER-DA-SILVA, J. A pesquisa ambiental no Brasil: uma visão crítica. **Cadernos de Geociências**.n. 14. pp.15-27. Rio de Janeiro: IBGE, 1995.