

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA / INSTITUTO
MULTIDISCIPLINAR
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

DISSERTAÇÃO

**A heterogeneidade e as mudanças na paisagem da bacia
hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí (RJ) e seus efeitos
nas inundações urbanas**

Wallace de Araújo Menezes

2018



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA / INSTITUTO MULTIDISCIPLINAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**A HETEROGENEIDADE E AS MUDANÇAS NA PAISAGEM DA BACIA
HIDROGRÁFICA DOS RIOS IGUAÇU-SARAPUÍ (RJ)
E SEUS EFEITOS NAS INUNDAÇÕES URBANAS**

WALLACE DE ARAÚJO MENEZES

Sob a Orientação da Professora

Laura Delgado Mendes

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Geografia**, no Programa de Pós-Graduação em Geografia, Área de Concentração Espaço, Questões Ambientais e Formação em Geografia

Nova Iguaçu, RJ
Junho de 2018

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Biblioteca
Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M541h Menezes, Wallace de Araújo, 1990-
A heterogeneidade e as mudanças na paisagem da bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí (RJ) e seus efeitos nas inundações urbanas / Wallace de Araújo Menezes. - 2018.
99 f.: il.
Orientadora: Laura Delgado Mendes.
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2018.

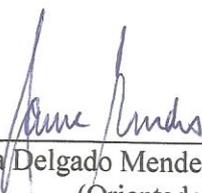
1. permeabilidade. 2. cobertura e uso da terra. 3. inundações urbanas. I. Mendes, Laura Delgado, 1977-, orient. II Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Geografia III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA / INSTITUTO MULTIDISCIPLINAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

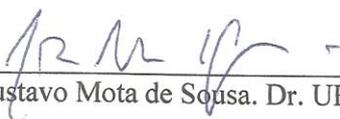
WALLACE DE ARAÚJO MENEZES

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Geografia**, no Programa de Pós-graduação em Geografia, área de concentração em Espaço, Questões Ambientais e Formação em Geografia.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 18/06/2018



Laura Delgado Mendes. Dra. UFRRJ
(Orientadora)



Gustavo Mota de Sousa. Dr. UFRRJ



Telma Mendes da Silva. Dra. UFRJ

Nova Iguaçu – RJ
Junho de 2018

DEDICATÓRIA

A minha esposa Viviane, minha mãe Joseane e minha orientadora Laura, por todo apoio, incentivo e força para que eu chegasse até aqui.

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus, por tudo que tens feito em minha vida, por me dá força e coragem até aqui.

A minha família pelo carinho e apoio constante que me concedem.

A minha esposa Viviane, que acompanhou todos os momentos de minha graduação e pós-graduação. Por todo o seu constante companheirismo, apoio e força.

Institucionalmente, agradeço a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, em particular, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia pela oportunidade que me foi concedida.

A minha querida Professora e Orientadora Laura Mendes, a quem sou imensamente grato por ter aceitado o desafio de me orientar na graduação e na pós-graduação. Pelo seu dedicado apoio sempre que solicitada e pela confiança que sempre demonstrou no meu trabalho!

Aos demais membros da minha banca de defesa do mestrado, Prof. Dr. Gustavo Mota de Sousa e Profa. Dra. Telma Mendes da Silva pelas valiosas sugestões que em muito contribuíram para o aprimoramento do trabalho desenvolvido.

Aos meus colegas mestrandos Henderson Neiva, Daiala Saltoris e Djalma Navarro, pela ajuda e companhia durante a caminhada.

Ao pesquisador Luca Congedo, desenvolvedor da extensão Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), que foi de suma importância para o andamento deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da UFRRJ, agradeço o apoio, na forma de bolsa de mestrado, com a qual pude me dedicar ao desenvolvimento da dissertação.

RESUMO

MENEZES, Wallace de Araújo. **A heterogeneidade e as mudanças na paisagem da bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí (RJ) e seus efeitos nas inundações urbanas.** 2018. 99 p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Agronomia/Instituto Multidisciplinar, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Nova Iguaçu, RJ, 2018.

O presente trabalho teve como objetivo identificar e analisar a heterogeneidade e mudanças da paisagem a partir da relação entre padrões de cobertura e uso da terra e a permeabilidade provocada por essas alterações que influenciam nas ocorrências de inundações urbanas na bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí (RJ), a partir de dados de sensores remotos processados em programa de Sistema de Informações Geográficas de código aberto. Inicialmente, buscou-se identificar e quantificar os padrões de Cobertura e Uso da Terra a fim de correlacioná-los com a permeabilidade da superfície. Posteriormente essa base de dados serviu para relacionar com as áreas definidas pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM como suscetíveis à ocorrências de inundações. Os resultados indicaram o aumento da classe definida como áreas construídas e a supressão das classes vegetação densa e pastagens e ou campos abertos. Consequentemente as áreas impermeáveis também apresentaram um acréscimo enquanto as áreas permeáveis foram reduzidas. Tal fator, merece extrema atenção na medida em que as áreas impermeabilizadas estavam incluídas como suscetíveis a ocorrências de inundações, fazendo com que este processo influencie as dinâmicas hidrogeomorfológicas em diferentes escalas. Além disso, constatou-se o papel da cobertura vegetal na redução das coberturas impermeáveis nas áreas de Unidades de Conservação. Compreendendo a bacia hidrográfica como uma unidade básica de evolução geomorfológica e uma excelente unidade de gestão tanto de elementos naturais, quanto sociais, devido ao seu aspecto integrador, buscou-se ressaltar as interações e interferências no sistema fluvial nessa área e apresentar as possibilidades da utilização de geotecnologias disponíveis de forma gratuita e de fácil acesso que podem servir como instrumentos fundamentais para o estudo da heterogeneidade e mudanças da paisagem ao longo do tempo.

Palavras-chave: permeabilidade, cobertura e uso da terra, inundações urbanas.

ABSTRACT

MENEZES, Wallace de Araújo. **The heterogeneity and landscape changes in the Iguaçu-Sarapuí drainage basin (RJ) and their effects on urban floods.** 2018. 99 p. Dissertation (Master Science in Geography). Instituto de Agronomia/Instituto Multidisciplinar, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Nova Iguaçu, RJ, 2018.

The aim of this study was to identify and analyze the heterogeneity and landscape changes based on the relationship between land cover and land use patterns and the permeability caused by these changes that influence the occurrence of urban floods in the Iguaçu-Sarapuí drainage basin (RJ), from remote sensing data processed through an Open Source Geographic Information System software. Initially, we looked for identifying and quantifying the Coverage and Land Use patterns in order to correlate them with the surface permeability. Later, this database was useful for relating the defined areas by the Company of Research of Mineral Resources (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM) as susceptible to the occurrence of floods. The results indicated an increase in the class defined as built-up areas and reduction on dense vegetation and pasture classes and on free field areas. Consequently, the impermeable areas also increased while permeable areas were reduced. This aspect deserves extreme attention whereas the impermeable areas were included as susceptible to flood occurrences, making this process to influence the hydrogeomorphological dynamics on different scales. Besides that, the importance of vegetation in the reduction of impermeable covers in the areas of Units of Conservation was verified. This way, understanding the drainage basin as a basic unit of geomorphological evolution and an excellent management unit for both natural and social elements, due to its integrative aspect, it was tried to emphasize the interactions and interferences in the fluvial system in this area and to present the possibilities for the usage of geotechnologies available for free and through an easy access that can be used as essential instruments for the study of the heterogeneity and changes of the landscape throughout the time.

Keywords: permeability, land cover and land use, urban floods.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Os sistemas antecedentes controladores do sistema geomorfológico.....	10
Figura 2 - Porcentagem da população urbana no Brasil, 1950 a 2010.....	14
Figura 3 - Variáveis hidrológicas: (a): Área natural ou pouco urbanizada; (b) Área com processo de urbanização acelerado ou estabilizado com alta taxa de impermeabilização.....	17
Figura 4 - Efeito da urbanização sobre a vazão máxima.....	17
Figura 5 - Principais problemas decorrentes da urbanização que incidem sobre a quantidade e a qualidade das águas.....	18
Figura 6 - Hidrograma de vazão em áreas urbana e rural.....	19
Figura 7 - Perfil esquemático do processo de enchentes, inundações e alagamentos.....	21
Figura 8 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica dos Rios Iguaçu-Sarapuí (RJ).....	26
Figura 9 – Drenagem com os principais canais fluviais da bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí.....	27
Figura 10 - Unidades de Conservação presentes na Bacia Hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí (RJ).....	31
Figura 11 - Encontro das águas dos rios Iguaçu e Sarapuí, após obras de intervenção no baixo curso dos canais.....	35
Figura 12 - Localização do antigo Aterro Sanitário de Gramacho próximo a áreas de manguezais e a foz da BHRIS.....	36
Figura 13 - Fluxograma com a esquematização das etapas da pesquisa	39
Figura 14 - Fluxograma das três etapas básicas executadas para fins de análise, classificação e zoneamento da suscetibilidade a inundações.....	49
Figura 15 - Mapa de Cobertura e uso da Terra da bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí (RJ) no ano de 1985.....	54
Figura 16 - Mapa de Cobertura e uso da Terra da bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí (RJ) no ano de 1995.....	55
Figura 17 - Mapa de Cobertura e uso da Terra da bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí (RJ) no ano de 2005.....	56
Figura 18 - Mapa de Cobertura e uso da Terra da bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí (RJ) no ano de 2017.....	57
Figura 19 - Escassez de mata ciliar e estado de assoreamento do Rio Botas, no bairro Lote XV, em Belford Roxo.....	59

Figura 20 – Grande aglomerado de áreas construídas margeando o maciço do Marapicu-Gericinó-Mendanha no município de Nova Iguaçu.....	60
Figura 21 – Bairro Parque Barão do Amapá em 2003, a esquerda, antes da presença de corpos hídricos e no ano de 2017, a direita, após a presença de dezenas de corpos hídricos.....	62
Figura 22 – Presença de banhistas próximos a máquinas de extração de areia, a esquerda, e motos aquáticas, a direita, na “Lagoa Azul”.....	63
Figura 23 - Gráfico evolutivo da Classificação de Cobertura e Uso da Terra nos anos 1985, 1995, 2005 e 2017.....	64
Figura 24 - Mapa de permeabilidade da bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí (RJ) no ano de 1985.....	66
Figura 25 - Mapa de permeabilidade da bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí (RJ) no ano de 1995.....	67
Figura 26 - Mapa de permeabilidade da bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí (RJ) no ano de 2005.....	68
Figura 27 - Mapa de permeabilidade da bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí (RJ) no ano de 2017.....	69
Figura 28 – À esquerda, reportagem sobre problemas de impermeabilização no município de São João de Meriti, e à direita, para efeito de localização, o Mapa de Permeabilidade do ano de 2017.....	71
Figura 29 – Presença de diversas construções nas margens do rio Botas, no bairro Xavantes em Belford Roxo.....	72
Figura 30 – Presença de áreas permeáveis nas margens do rio Iguaçu em áreas próximas a montante.....	74
Figura 31 – Fábrica da Bonafont Água Leve (Danone) instalada no interior da APA do Alto Iguaçu, no bairro de Tinguá.....	74
Figura 32 – Margens do rio Tinguá com ocupações.....	75
Figura 33 - Gráfico evolutivo das áreas permeáveis e impermeáveis nos anos 1985, 1995, 2005 e 2017 (%)......	76
Figura 34 - Áreas suscetíveis a inundações (CPRM) no interior da bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí.....	79
Figura 35 – Perfil longitudinal dos rios Iguaçu e Sarapuí.....	80
Figura 36 – Mapa de permeabilidade no interior das áreas suscetíveis a inundações (definidas pelo CPRM) para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2017.....	82

Figura 37 – Quantificação das classes alta, média e baixa suscetibilidade à inundações em áreas permeáveis e impermeáveis nos anos de 1985, 1995, 2005 e 2017 (%).....84

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Conceitos de Enchentes, Inundações e Alagamentos.....	20
Quadro 2 - População, área total e área inserida dos municípios na bacia dos rios Iguazu-Sarapuí.....	37
Quadro 3 - Informações sobre as imagens do satélite Landsat utilizadas na pesquisa.....	41
Quadro 4 – Reclassificação para mapeamento de áreas permeáveis e impermeáveis.....	47
Quadro 5 - Parâmetros e índices morfométricos selecionados, contendo referência, modo de cálculo e influência possível acerca da suscetibilidade a inundações.....	50
Quadro 6 – Síntese dos dados da classificação da cobertura e uso da terra, referentes aos anos de 1985, 1995, 2005 e 2017.....	58
Quadro 7 – Síntese dos dados de mapeamentos de permeabilidade, referentes aos anos de 1985, 1995, 2005 e 2017.....	70
Quadro 8 – Síntese dos dados de mapeamentos de permeabilidade, referentes aos anos de 1985, 1995, 2005 e 2017, no interior das áreas suscetíveis a inundações definidas pelo CPRM.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Escala de valor Kappa.....	46
Tabela 2 - Valores de Índice Kappa para os quatro anos analisados.....	52
Tabela 3 - Exatidão Global para os quatro anos analisados.....	53

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificativa	2
1.2 Hipóteses	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo geral	4
1.3.2 Objetivos específicos	4
2. REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1 A abordagem geossistêmica como uma contribuição à síntese geográfica e a uma melhor compreensão do ambiente	5
2.2 Sistemas Geomorfológicos	9
2.3 Bacia Hidrográfica	10
2.4 Impactos ambientais e impactos da urbanização nos processos hidrogeomorfológicos	12
2.5 Bacias hidrográficas urbanizadas e principais impactos da antropização	15
2.5.1 Os efeitos da urbanização no ciclo hidrológico	16
2.5.2 Impermeabilização	18
2.5.3 Escoamento superficial	19
2.5.4 Enchentes, Inundações e Alagamentos	20
2.5.5 Mudanças no clima local em bacias de drenagens urbanizadas e seus impactos em processos hidrogeomorfológicos	22
2.6 O Conceito de Suscetibilidade	23
3. MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 Localização da área de estudo	25
3.2 Aspectos físico-naturais e ambientais	28
3.3 A evolução socioambiental da Bacia Hidrográfica do rio Iguaçu-Sarapuí	32
3.4 Contextualização da Metodologia	38
3.5 Levantamento de dados cartográficos e de sensores remotos	40
3.5.1 O sensor Landsat	40
3.6 Programas utilizados	41
3.6.1 QGIS	41
3.6.2 Extensão para Classificação Supervisionada Semi-Automática para QGIS	42

3.6.3 Google Earth Pro e outros programas utilizados	42
3.7 Mapeamento de cobertura e uso da terra	42
3.7.1 Classificação supervisionada de dados de sensores remotos	44
3.8 Mapeamento de Áreas Impermeabilizadas	46
3.9 Identificação das áreas com suscetibilidade a inundações (CPRM, 2015)	47
3.9.1 Classificação das áreas com suscetibilidade a inundações (baixa, média, alta)	49
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
4.1 A heterogeneidade e as mudanças na paisagem da bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí: uma análise espaço-temporal da cobertura e o uso da terra	52
4.2 Análise temporal da permeabilidade da superfície da bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí	65
4.3. Análise das mudanças na permeabilidade da bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí, a partir de padrões de cobertura e uso da terra, com as áreas de suscetibilidade à inundações a partir de mapeamentos das Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações (CPRM, 2015).	77
5. CONCLUSÕES	87
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89

1. INTRODUÇÃO

Os processos ambientais, resultantes de dinâmicas de uso e ocupação sem considerar a fragilidade do meio físico-natural, apresentam condições de desequilíbrios ambientais e socioeconômicos que afetam significativamente a qualidade de vida da população. E um dos problemas mais críticos nesse sentido diz respeito às interferências que os corpos hídricos sofrem, principalmente em áreas urbanizadas.

O homem modifica e adapta, segundo suas necessidades e prioridades, a superfície terrestre através da extração da cobertura vegetal, impermeabilização do solo e alterações nas redes hidrográficas, o que interfere nas dinâmicas naturais com alterações climáticas em diferentes escalas, assim como nos processos hidrogeomorfológicos no ambiente urbano devido às condições geradas para concentração de massas úmidas (LOMBARDO, 1985). Assim, quando uma determinada área é modificada pela ação antrópica, principalmente através da urbanização, há uma tendência de remoção da cobertura vegetal existente com as mesmas substituídas por áreas impermeáveis (ruas pavimentadas, calçadas, telhados etc.). Essas mudanças acabam resultando em alterações na dinâmica hidrogeomorfológica, com o acréscimo do escoamento superficial, afetando planícies de inundação e acarretando, assim, inúmeros problemas na bacia hidrográfica, como a erosão da bacia, desequilíbrios no canal fluvial (erosão e assoreamento), e conseqüentemente o aumento e a frequência das inundações urbanas (POLETO, 2014).

Segundo Poletto (2014), de todas as atividades antrópicas, a urbanização é a que produz as maiores alterações locais nos processos do ciclo hidrológico terrestre, devido às mudanças na cobertura do solo, aos movimentos de terra, entre outros. A urbanização acaba aumentando o escoamento superficial das águas pluviais, que causam também problemas de inundações e assoreamento de corpos d'água (ROSSETI *et al.*, 2007).

Tais fatores são fundamentais na análise de processos hidrogeomorfológicos devido à sensibilidade que os ambientes fluviais apresentam. A rede de drenagem é um elemento da paisagem altamente sensível às mudanças ambientais e, diante disso, torna-se o segmento mais vulnerável a qualquer tipo de alteração (THOMAS & ALLISON, 1993). Segundo Schumm (2005), os rios representam apenas uma pequena parte da paisagem, onde se concentra uma grande parte da energia que, frequentemente, resulta em enchentes, como observado ao longo de grandes rios do mundo ao longo do tempo, gerando condições de risco, criação de mitos e de miséria. Assim, a análise do ambiente de uma bacia hidrográfica tem como objetivo elucidar as várias questões relacionadas com a dinâmica ambiental, já que representa uma unidade básica de evolução geomorfológica, por ser unidade naturalmente delimitada e por ter os canais fluviais como agentes na esculturação do relevo.

De acordo com Vilaça *et al.* (2009), a bacia hidrográfica também pode ser considerada uma excelente unidade de gestão, tanto de elementos naturais, quanto sociais, devido ao seu aspecto integrador, e que se deve levar em consideração as relações que a sociedade e suas atividades têm com o meio em que se encontram, para que a gestão e o planejamento possam ser entendidos de forma integrada.

Deste modo, os mapeamentos espaço-temporais da cobertura e uso da terra, assim como de áreas permeáveis e impermeáveis são ferramentas de suma importância para os estudos ambientais e para o planejamento ambiental e urbano. E, atualmente, têm sido facilitados pela maior disponibilidade de geotecnologias, essenciais nos estudos sobre as

alterações causadas pela ação humana, assim como para a antecipação e mitigação de impactos. Isso torna-se crucial, especialmente no contexto de mudanças climáticas no qual é fundamental entender a sensibilidade dos sistemas superficiais terrestres diante das forças climáticas de forma a ampliar a capacidade de resposta para a gestão dos impactos (KNIGHT & HARISSON, 2012; 2013).

Nesse sentido, a pesquisa proposta tem como objetivo analisar a heterogeneidade e as mudanças da paisagem na bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí (RJ) associada às condições da cobertura e uso da terra e os seus efeitos nas inundações urbanas. Com isso, busca-se contribuir com novas informações sobre essa importante área que integra a Região Hidrográfica da Guanabara (INEA-CERHI, 2013).

1.1 Justificativa

A bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí, que integra a Região Hidrográfica da Guanabara (INEA-CERHI, 2013), reflete toda uma dinâmica de modificações, como bem destacadas por Amador (1997), com intervenções desde o início da colonização e ampliadas a partir do século XX, com a canalização dos rios, dragagens, aterros, retificação e dissecação de canais, que foram impactantes por destruírem os sistemas naturais. Tais intervenções combinaram-se ao processo de ocupação urbano-industrial, e se refletem nos processos hidrogeomorfológicos, na destruição de ecossistemas e, conseqüentemente, em desequilíbrios ambientais que afetam significativamente a qualidade de vida da população. E, abrangendo um conjunto de municípios onde a opção de planejamento urbano nunca atendeu aos interesses e necessidades da totalidade da população e que não consideraram os impactos ambientais do avanço da urbanização na dinâmica fluvial, essa bacia de drenagem, assim como grande parte da Baixada da Guanabara, sofreu um rápido e desordenado processo de degradação, onde é comum presenciar obras de engenharia que causaram, em geral, alterações na dinâmica de escoamento.

Além disso, Campos (2004) observa que, sem serviços regulares de coleta e remoção de resíduos sólidos nas áreas ribeirinhas, além da contribuição da própria população que joga seu lixo diretamente nos rios e canais, boa parte do lixo doméstico produzido acaba indo para os cursos d'água, concorrendo para aumentar a frequência das inundações, pois acaba comprometendo a capacidade de escoamento dos canais, além de contaminar as águas no interior da bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí. Dessa forma, de acordo com Poleto *et al.* (2010), em geral, os rios, ao passarem por áreas urbanas, recebem uma carga de poluentes de grandes proporções que causam alterações na qualidade da água, na biota aquática, na morfologia fluvial e no regime hidrológico. Segundo Nelson e Booth (2002), essas fontes de poluentes podem formar uma concentração de sedimentos finos contribuindo, assim, para a eutrofização dos corpos d'água. Além disso, a adição de sedimentos grosseiros causa o “assoreamento do canal, reduz a sua capacidade de vazão, o que leva a enchentes e a instabilidade do canal” (POLETO, 2014, p. 37).

Nesse sentido, é importante abordar essa temática considerando-se que a bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí apresenta-se heterogênea em relação à cobertura e uso da terra, onde a prioridade desse uso é impulsionada por interesses econômicos de classes e corporações dominantes que influenciam e determinam a opção de planejamento urbano ambiental, e não considera as alterações nos processos hidrogeomorfológicos que as modificações na superfície da bacia hidrográfica podem ocasionar. Nos cursos médio e inferior de seus rios, em uma área intensamente urbanizada atualmente, canais anteriormente meandrantés foram retelinizados após obras de engenharia, perdendo quase totalmente a sua

mata ciliar e sofrendo um intenso processo de degradação tais como a erosão, assoreamento dos canais, com deposição de rejeitos domésticos e industriais. Essa área se caracteriza por apresentar vastas planícies de inundação, com baixos declives, e áreas com solos mal drenados o que por si só já se destacaria pelo risco de enchentes e inundações que esses fatores podem ocasionar. Junta-se a isso as condições de precipitação nessas áreas urbanizadas (LANDSBERG, 1981; LOMBARDO, 1985; AYOADE, 2002) o que interferirá na vazão dos rios que, em áreas mais impermeabilizadas combinadas às condições de assoreamentos dos mesmos, poderá contribuir diretamente para agravar problemas não apenas para o ambiente, mas também para a população que é mais vulnerável por residir nessas áreas de risco.

O conhecimento da dinâmica dessas áreas e a identificação das condições que geram os riscos através de ferramentas de geotecnologias, tais como o geoprocessamento e o processamento digital de imagens em ambientes de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), podem ser considerados medidas preventivas e mitigadoras que possibilitam a redução dos danos e perdas causadas. De acordo com Yalcin e Akyurek (2004), alguns problemas relacionados às inundações podem ser minimizados através de estudos planejados e projetos detalhados sobre as áreas propensas a estes eventos, utilizando-se das geotecnologias para tomada de decisões. O processamento digital de imagens assume um papel de elevada importância, pois permite, assim, fornecer subsídios para a compreensão dos fenômenos ambientais (LOMBARDO, 1985), além da possibilidade de planejamento estratégico em situações distintas, como por exemplo, no planejamento urbano, usando um saber das Geociências para benefício não só do ambiente, mas também para a população.

1.2 Hipóteses

A bacia hidrográfica dos rios Iguçu-Sarapuí (RJ) apresenta disparidades quanto às suas paisagens devido, principalmente, aos diversificados usos e coberturas da terra. A urbanização acarreta mudanças causando a deterioração de um ambiente se não consideradas as dinâmicas naturais de um determinado local. Tucci (2013) aponta que a urbanização traz inúmeros problemas relacionados à infraestrutura, com destaque para: a grande concentração de população em pequenas áreas; o aumento da periferia; e a urbanização espontânea (sem planejamento), ocupando áreas de risco a inundações e escorregamentos. E, de acordo com Poletto (2014), esse processo acelerado e não planejado de urbanização acarreta também alterações nas condições naturais das bacias hidrográficas.

Com isso, espaços com um adensamento urbano maior tendem a apresentar maiores áreas impermeabilizadas, em comparação às áreas vizinhas com uma cobertura vegetal causando, assim, um desequilíbrio no ciclo hidrológico quanto ao percentual de infiltração e escoamento superficial.

Essa impermeabilização, por sua vez, combinada a outras condições, pode influenciar as áreas de suscetibilidade à inundações devido ao acréscimo proporcionado no escoamento superficial, a diminuição da infiltração, a maior velocidade de fluxo em direção ao canal fluvial e ao aumento do processo de assoreamento dos rios.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Analisar a heterogeneidade e mudanças da paisagem na bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí (RJ) e os seus efeitos nas inundações urbanas.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar as mudanças na cobertura e uso da terra para identificação da heterogeneidade e das mudanças da paisagem ao longo de um período de 32 anos utilizando os anos de 1985, 1995, 2005 e 2017 como referência;

- Mapear as áreas permeáveis e impermeáveis da bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí;

- Analisar de forma integrada as mudanças na impermeabilização da bacia de drenagem a partir de padrões de cobertura e uso da terra, com as áreas de suscetibilidade à inundação a partir de mapeamentos das Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações (CPRM, 2015).

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A abordagem geossistêmica como uma contribuição à síntese geográfica e a uma melhor compreensão do ambiente

A Geografia, especialmente a Geografia Física, ao debruçar-se na temática ambiental ressalta que, muito além do que identificar os processos naturais, é preciso entender tudo aquilo que contribui para a possível heterogeneidade que possa ocorrer em um espaço geográfico ou até mesmo a homogeneidade que, devido à padronização de alguns elementos, também ocorre com frequência. Entender a natureza e seus processos é reconhecer suas inter-relações entre fenômenos naturais e a ação antrópica.

Para Monteiro e Carvalho (2013, p.95), a aquisição da verticalidade e da bipedia humana pode ter sido um dos motivos que fizeram o homem se “descolar do conjunto/meio que pertencia” fazendo com que houvesse uma dificuldade de relacionamento entre ele e outros componentes do globo terrestre, tais como ar, água, fauna e flora. Esse sentimento de não pertencimento à natureza implica em efeitos prejudiciais para ambos na medida em que se observa o surgimento de doenças graves relacionadas às condições impostas ao meio ambiente pelo homem como também se notam impactos ambientais principalmente em áreas mais urbanizadas.

A Geografia encontra na questão ambiental um campo de atuação que necessita desse olhar geográfico integralizador, fugindo de paradoxos e dicotomias para que haja uma análise construtiva do meio ambiente. É preciso que haja um entendimento dos processos naturais atuantes juntamente com os processos antrópicos que se configura em cada espaço geográfico.

Segundo Caseti (1991, p. 28) a Geografia:

Ao tratar das questões ambientais, permite a aproximação do homem com a natureza, rompendo a visão dicotômica e afirmando a unidade dialética [...]. A geografia, com suas grandes possibilidades potenciais de focar em conjunto o estudo dos fenômenos naturais e sociais, habilita-se a oferecer as orientações científicas principais dos estudos ecológicos [...]. (CASSETI, 1991, p. 28).

A análise ambiental perpassa, então, por esse olhar pleno dos elementos que compõem um determinado conjunto. De acordo com Christofolletti (1999), a abordagem holística sistêmica é necessária para compreender como as entidades ambientais físicas, por exemplo, se estruturam e funcionam como diferentes unidades complexas em si mesmas.

E é com este caráter que retrata distintos elementos de um todo que a Geografia deve se apoiar para conceber uma abordagem geográfica na relação homem e meio. Nesse sentido, encontra-se a Teoria Geral dos Sistemas, proposta pelo biólogo Ludwig von Bertalanffy (1950), onde o autor enfatiza a importância do entendimento não apenas das partes mas também do conjunto. Segundo Bertalanffy (1975, p. 53),

É necessário estudar não somente partes e processos isoladamente, mas também resolver os decisivos problemas encontrados na organização e na ordem que os unifica, resultante da interação dinâmica das partes, tornando o comportamento das partes diferente quando estudado isoladamente e quando tratado no todo. (BERTALANFFY, 1975, p. 53)

A Teoria Geral dos Sistemas nasceu com essa proposta de integração de elementos individuais que auto explicariam e interpretariam o conjunto a qual pertencem como um todo.

Em um determinado conjunto, seus elementos presentes com variáveis e características diversificadas, mantém relação entre si e com o todo. A análise sistêmica, então, se daria na estrutura desse sistema, através do entendimento do comportamento das trocas de energia, limites ou dinâmicas.

Essa teoria permaneceu muito pouco difundida por algum tempo, porém, muitos ramos científicos ainda viriam a se apropriar de seus métodos. Um dos primeiros a apropriar-se foi a Ecologia, propondo o conceito de Ecossistemas. Na Geografia, sua iniciativa se deu muito na Geografia Física, muito devido à sua abordagem preferencialmente indutiva. Como ressalta Rodrigues (2001),

dela surgiram, para a Geografia Física, diversas propostas de modelos conceituais, morfológicos, de classificação dos sistemas, incluindo-se os naturais (sistemas abertos). A própria noção de paisagem em Geografia Física, apesar de ter sofrido inúmeras remodelações e adquirido diversas concepções, tem como suporte lógico a teoria geral dos sistemas. (RODRIGUES, 2001, p 72).

Em seu processo precursor na Geografia, a Teoria Geral dos Sistemas sofreu alguns percalços que restringiram de uma certa forma uma maior disseminação de seu conhecimento. Porém, muito além do que tentar se adequar a dicotomia Geografia Física-Geografia Humana, a aproximação da Geografia com a Teoria Geral dos Sistemas, segundo Rodrigues (2001, p. 72),

faz parte de um conjunto de tentativas ou de formulações teórico – metodológicas da Geografia Física, surgidas em função da necessidade de a Geografia lidar com os princípios de interdisciplinaridade, síntese, com a abordagem multiescalar e com a dinâmica. (RODRIGUES, 2001, p 72).

Bertrand (1971) define geossistema como o resultado da combinação dinâmica de elementos físicos, biológicos e antrópicos, que fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpetua evolução. Para Christofolletti (1999), o conceito se daria do resultado da combinação de um potencial ecológico (geomorfologia, clima, hidrologia), uma exploração biológica (vegetação, solo, fauna) e uma ação antrópica. A partir disto, percebe-se como ambos os autores destacam a análise sistêmica como uma forma holística de abordar as diferentes organizações espaciais.

A teoria geossistêmica pretende entender a paisagem como um todo e, além de permitir valiosa contribuição metodológica, pois torna a análise dos elementos atuantes no sistema (geossistema) interativos, também significou notável desenvolvimento na resolução de uma difícil tarefa: a de lidar com o problema das diferentes escalas de abordagem (SANT'ANNA NETO, 1998).

Para Monteiro (1995) essa abordagem sistêmica não poderia ficar ausente da Geografia. E, por mais que os geossistemas tenham se disseminado mais com a Escola Francesa, inclusive chegando no Brasil por intermédio do trabalho de Georges Bertrand (1968), há de se esclarecer que o primeiro autor a trabalhar a abordagem sistêmica na Geografia e, assim, formular o conceito de geossistemas, foi o russo Victor Sotchava, em 1960.

A Teoria dos Geossistemas ainda iria atravessar algumas remodelações, porém mesmo em sua fase inicial ainda muito voltada para as ciências naturais, não se pode negar que a sua metodologia trazia consigo importantes contribuições para a ciência geográfica em seu dever de analisar o espaço levando em consideração todos os elementos que nele estão inter-

relacionados, diferenciando-se uns dos outros através da caracterização de seus elementos. Segundo Sotchava (1977), o que diferencia um sistema de outro é “a intensidade dos fluxos e a intensidade da dinâmica das trocas de energia e matéria, da atmosfera, hidrosfera, litosfera e a biosfera”.

Um dos referenciais básicos da teoria de Sotchava é entender a natureza como sistemas dinâmicos abertos e hierarquicamente organizados, passíveis de delimitação ou de serem limitados espacialmente em sua tridimensionalidade. Segundo Rodrigues (2001, p.73), um outro referencial mais implícito onde tornaria possível propor ou assumir hipóteses sobre uma possível dinâmica futura que pode-se considerar uma das características fundamentais para a aplicação ou planejamento ambiental é a “noção de dinâmica dos geossistemas, pela qual é possível classificá-los de acordo com seu estado ou estados sucessivos”.

Sotchava (1977) propôs uma análise sistêmica das conexões espaciais no âmbito geográfico através de uma hierarquia taxonômica a níveis: planetário, regional e topológico. Segundo Neto (2008), esse padrão taxonômico é construído segundo duas categorias que a princípio são excludentes mas que, ao mesmo tempo, são interdependentes e atuam na estruturação do geossistema, sendo designadas por geômeros (estruturas homogêneas) e geócoros (estruturas heterogêneas). Ainda à respeito desse sistema de hierarquização, Sotchava (1977) afirma que

hierarquia de construção é a mais importante feição dos geossistemas. Devido a isso, tanto a série elementar da superfície da Terra, quanto o geossistema planetário (“geographical cover”), ou as subdivisões intermediárias do meio natural, representam (cada qual separadamente ou em conjunto) uma unidade dinâmica, com uma organização geográfica a ela inerente. (SOTCHAVA, 1977, p.09).

Neste sentido, para Sotchava (1977), toda categoria dimensional de geossistema (topológica, regional, planetária) possui escalas próprias e princípios organizativos peculiares.

A visão sistêmica considera, para fins classificatórios, que um determinado sistema pode estar inserido em outro. E que esse primeiro pode contar com um ou vários sistemas em seu interior (sendo definidos no caso como sub-sistemas). De acordo com Christofletti (1999), os primeiros sistemas seriam considerados antecedentes ou controlantes e os segundos como sistemas subsequentes ou controlados. Porém não há uma ordem sequencial universal, visto que por intermédio do mecanismo de retroalimentação, os sistemas mantem trocas de matéria e energia tanto para sistemas antecedentes como para subsequentes.

A metodologia geossistêmica nos proporciona, então, uma visão em escala global do conjunto onde, mesmo assim, é possível aplicá-la em diferentes escalas. Isso permitirá, dessa forma, entendermos o funcionamento estrutural dos ambientes e suas dinâmicas e inter-relações.

A ação antrópica vem se fazendo presente no interior dos geossistema, através de transformações e/ou criações diretas e indiretas no sítio. Sotchava (1977) já destacara que a evolução temporal dos geossistemas sofria forte influencia do homem. As modificações na superfície terrestre são um dos exemplos mais nítidos dessa ação. De acordo com Christofletti (1999, p. 37), “por meio da ocupação e estabelecimento das suas atividades, os seres humanos, como agentes influenciadores nos fluxos de matéria e energia, modificam o equilíbrio natural dos geossistemas.”

Em 1997, o francês Georges Bertrand propôs um novo conceito para os geossistemas e resgatou, assim, o conceito de Sotchava. Bertrand incorpora a dimensão da ação antrópica,

sendo assim uma categoria espacial de componentes relativamente homogêneos, cuja dinâmica resulta da interação entre o potencial ecológico, a exploração biológica e a ação antrópica, esse último agora não apenas visto como um elemento passivo de determinações naturais. O novo conceito pode ser compreendido por três vias interdependentes que trabalham na construção do espaço geográfico: Geossistema, Território e Paisagem (GTP). Destaca-se que uma das suas principais motivações foi o interesse epistemológico e metodológico na preocupação de preservar a complexidade e a diversidade do ambiente, na tentativa de auxiliar na superação da ruptura entre sociedade e natureza.

Para o autor, a metodologia do GTP serve não só para a delimitação e representação cartográfica das áreas, mas também para detectar os problemas existentes e o grau de responsabilidade da ação antrópica e sua cultura sobre os mesmos, para planejar estratégias para conter, reverter ou amenizar os impactos existentes principalmente após as Revoluções Industriais, consolidando-se no final do século XX e início do século XXI, a crise ambiental que se apresentou como a grande crise histórica na transição destes dois séculos.

Segundo Britto e Ferreira (2011), a proposta metodológica de Bertrand consiste num sistema tripolar e interativo para análise não apenas dos fatos naturais ou sociais isoladamente, mas sim, para analisar a complexidade expressa nas várias formas de relações construídas entre sociedade e ambiente na sua globalidade, onde este sistema seria composto por três categorias híbridas ou três tempos: tempo do geossistema, tempo do território e tempo da paisagem.

Para Bertrand (2009, p. 284), o tempo do geossistema é aquele da natureza antropizada, é o tempo da fonte, das características bio-físicas-químicas de sua água e de seus ritmos hidrológicos; o tempo do território é aquele do social e do econômico, do tempo do mercado ao tempo do “desenvolvimento durável”; e o tempo da paisagem é aquele do cultural, do patrimônio, do identitário e das representações: é o tempo do retorno às fontes, aquele do simbólico, do mito e do ritual.

O autor ainda afirma que “estudar uma paisagem é antes de tudo apresentar um problema de método” e, tomando a paisagem como unidade sistêmica, o melhor método de análise é o método sistêmico. Neste sentido, ele ainda afirma que

a paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. É, numa 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. 02).

Para Neto (2008), a abordagem sistêmica dentro da Geografia mostra uma tendência de sobreposição conceitual entre paisagem e geossistema, sendo comumente discutidos de forma associada e por vezes considerados a mesma categoria de análise.

Diante dessas perspectivas apresentadas, fica inerente ao se trabalhar com essa metodologia ter em mente uma visão sistêmica, tanto na produção até o diagnóstico no que se refere a estudos ambientais, não reduzindo a análise da paisagem apenas à soma de seus elementos constituintes, posto que estes apareçam dispostos, interconectados e estruturados de uma determinada maneira e a paisagem, em sua totalidade, deve ser compreendida para além das somas dos elementos disparatados (BERTRAND, 2009).

2.2 Sistemas Geomorfológicos

Segundo Christofolletti (1974) a Geomorfologia é a ciência que estuda as formas de relevo, porém, para se constituírem, as formas sofreram processos, de modo que forma e processo são considerados os elementos fundamentais no sistema geomorfológico.

O conceito de sistemas foi primeiramente iniciado na Geomorfologia através da obra de STRAHLER (1952). Destacam-se também as contribuições de HACK (1960), CHORLEY (1962) e HOWARD (1965). De acordo com Latrubesse (2006, p. 10), o sistema geomorfológico “é um conjunto de geofomas interligadas geneticamente, e com uma estrutura interna definida caracterizada por suas variáveis de estado, tais como litologia, pendente regional, estruturas, entre outras”. Esse sistema físico é considerado aberto, pois realiza constantes trocas de massa e energia com sistemas antecedentes e subsequentes.

No âmbito dos estudos da composição dos sistemas geomorfológicos, Christofolletti (1974) destaca aspectos importantes que devem ser considerados, tais como a matéria, a energia e a estrutura, onde a matéria representaria o material que vai ser movimentado através do sistema. A energia refere-se às forças que fazem o sistema funcionar, possibilitando assim, a capacidade de realizar trabalho. Já a estrutura é formada pelos elementos e suas relações, expressando-se através do arranjo de seus componentes (CHRISTOFOLETTI, 1974).

Segundo Christofolletti (1974), Forster, Rapoport e Trucco classificam os sistemas geomorfológicos em seis tipos levando em consideração a sua função ou estrutura:

- sistemas isolados: são aqueles que não recebem e nem perdem matéria ou energia;
- sistemas não-isolados: são aqueles que mantem relações com outros sistemas. Estes podem ser divididos em sistemas fechados (quando há trocas de energia mas não de matéria) e em sistemas abertos (quando há trocas de energia e matéria constantemente);
- sistemas morfológicos: compostos apenas pela associação das propriedades físicas dos fenômenos (geometria, composição);
- sistemas em sequencia: constituídos por uma cadeia de subsistemas onde a saída (*output*) de matéria ou energia de um subsistema torna-se a entrada (*input*) para o subsistema adjacente;
- sistemas de processos-respostas: formados pela combinação de sistemas morfológicos e sistemas em sequencia;
- sistemas controlados: apresentam a atuação do homem sobre os sistemas de processos-respostas;

A introdução da teoria dos sistemas na Geomorfologia ajudou a melhor entender o conceito de equilíbrio nessa ciência. Segundo Christofolletti (1974), o conceito de equilíbrio na Geomorfologia significa que materiais, processos e a geometria do modelado, compõem um conjunto auto-regulador, sendo que toda forma é o produto do ajustamento entre materiais e processos. Nesse sentido, a teoria dos sistemas auxiliaria na compreensão de entender o equilíbrio na geomorfologia como o arranjo das variáveis dentro de um sistema.

Christofolletti (1974) considera que existem quatro sistemas antecedentes controladores do sistema geomorfológico que são importantes para a compreensão das formas de relevo (Figura 1):

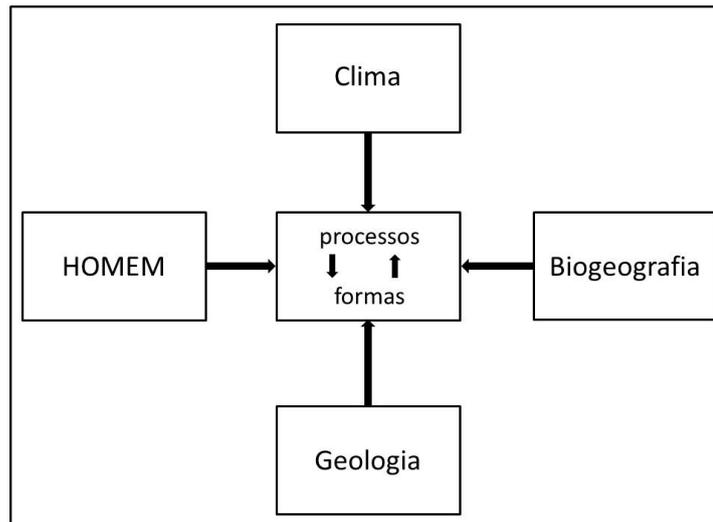


Figura 1 – Os sistemas antecedentes controladores do sistema geomorfológico.

Fonte: Christofolletti (1974).

- Sistema climático: responsável pelo calor, umidade e movimentos atmosféricos que oferecem dinamismo aos processos;
- Sistema biogeográfico: através da cobertura vegetal e pela vida animal, este atua na intensidade dos processos, assim como fornecendo e retirando matéria;
- Sistema geológico: principal fornecedor de material sobre qual os processos atuam;
- Sistema antrópico: representado pela ação humana, este sistema efetua mudanças causando desequilíbrios de matéria e energia no sistema geomorfológico;

Esse último sistema merece muita atenção, pois cada vez mais se intensificam as modificações realizadas pela ação humana de maneira consciente ou impensadamente nos sistemas ambientais.

O sistema geomorfológico não possui apenas sistemas antecedentes controladores. Através das saídas (*outputs*) de matéria e energia como água e detritos, os sistemas de sedimentação e hidrológico constituem os principais sistemas subsequentes (CHRISTOFOLETTI, 1974).

2.3 Bacia Hidrográfica

A bacia hidrográfica é uma unidade de análise fundamental a partir de uma visão sistêmica e integrada do ambiente. Uma bacia hidrográfica é tradicionalmente conhecida como um conjunto de terras cujo relevo permite o escoamento de águas fluviais e pluviais para um determinado curso d'água. Segundo Christofolletti (1974), a bacia hidrográfica representa uma área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial. A formação da bacia hidrográfica se dá por meio dos desníveis do terreno que orientam os cursos da água. Dessa forma, cada bacia tem como limites uma feição de relevo que atua como “divisor de águas” que determina a direção das águas de uma área mais alta para uma área mais baixa. Por meio de uma rede de drenagem, formada por cursos d'água, ela faz convergir os escoamentos para a seção de fechamento, ou exutório, seu único ponto de saída (TUCCI, 2013). A quantidade de água que atinge os cursos d'água depende do tamanho da bacia, da

precipitação total e de seu regime e das perdas devido à evaporação, à transpiração e à infiltração (CHRISTOFOLETTI, 1981).

A delimitação de uma bacia está atrelada geralmente aos limites impostos por vertentes, que funcionam como divisores de drenagem que determinam para qual bacia os fluxos de água e sedimentos serão destinados. Sendo assim, pode-se considerar a área da bacia hidrográfica uma área projetada verticalmente (SILVEIRA, 1993). Uma bacia pode ser composta por outras menores e cada uma delas se unem e transportam os fluxos d'água, bem como sedimentos para uma bacia maior, concentrando o volume em seu canal principal. O cálculo de sua área pode ser obtido através da aplicação de planimetria como também a partir de cálculos matemáticos de mapas em ambientes SIG (Sistema de Informação Geográfica).

A partir da definição da área de captação de água no topo das vertentes, essas podem ser consideradas como a fonte produtora de sedimentos. Esses são carregados pelo escoamento superficial nas redes de drenagem que, por sua vez, também produzem os seus sedimentos. As redes de drenagem descem as vertentes percorrendo vales e são separadas por terrenos mais elevados (interflúvios) que direcionam o fluxo. Na medida em que vão se aproximando de áreas planas e de nível baixo, os rios passam a ser margeados por extensas áreas formadas por aluviões e materiais diversos que foram depositados no canal fluvial ou fora dele, nas denominadas planícies de inundação. Na medida em que o leito do rio vai escavando o vale, em épocas de cheias os mesmos vão “abandonando” planícies de inundação que por sua vez, se transformam em terraços fluviais. Na chegada de sua foz, o rio principal da bacia atinge um nível de base e perde velocidade. Nesses locais é comum a presença de deltas, pois com a competência e a capacidade fluvial diminuída, a carga de sedimentos extrapola a capacidade do canal de transportá-los, fazendo com que se formem planícies de deposição em formato triangular (CHRISTOFOLETTI, 1981; TUCCI, 2013; POLETO, 2014).

Nessa perspectiva, Christopherson (2012, p. 431), aponta que a bacia hidrográfica age como “um sistema coletor de água composto de muitos subsistemas, desde erosão na fonte, passando por transporte, até deposição nas partes mais baixas”. Para Silveira (1993), a bacia pode ser considerada um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, considerando-se como perdas intermediárias os volumes evaporados, transpirados ou infiltrados.

De acordo com Christofolletti (1974), a análise de bacias hidrográficas passou a ser estudada de forma mais objetiva a partir de 1945 através da publicação de E. Horton, que estabeleceu um viés quantitativo ao estudo de bacias hidrográficas elaborando leis de desenvolvimento dos rios e suas bacias. Outra contribuição primária nesse sentido foi a de Arthur N. Strahler que expandiu o estudo de índices e parâmetros para o estudo analítico dos sistemas de drenagem.

É possível perceber, ainda que não o suficiente, uma preocupação por parte da sociedade em relação à importância da água, produto essencial para sobrevivência e a viabilização de diversas atividades do ser humano. Essa conscientização tem se traduzido nas maiores aparições de trabalhos voltados para a temática da utilização da água, adotando com isso a bacia hidrográfica como unidade fundamental.

Nos últimos anos vem se apresentando um crescimento na utilização da bacia hidrográfica como uma unidade de análise e planejamento ambiental. Botelho e Corato (2001) apontam que o número de artigos publicados nas áreas de Ciências Ambientais no país,

utilizando bacias hidrográficas como unidade de análise de 1990 a 2000, cresceu cerca de sete vezes mais em comparação o período de 1980 a 1990.

O estudo do ciclo hidrológico também se viu beneficiado a partir da visão sistêmica de uma bacia hidrográfica. De acordo com Silveira (1993), o papel hidrológico na bacia é responsável em transformar uma entrada de volume concentrada no tempo (precipitação) em uma saída de água (escoamento) de forma mais distribuída no tempo. E, para Santos (2016), quando os estudos em bacias hidrográficas são realizados especificamente com ênfase na gestão ambiental, proporciona uma maior análise na diferenciação das características dos parâmetros que integram o sistema hidrológico, como exemplo: solo, água, ar, cobertura vegetal, clima dentre outros.

A bacia hidrográfica, portanto, se apresenta como uma unidade natural básica essencial para o planejamento, pois, os elementos integradores das diversas formas de uso e manejo precisam ser analisados a partir de uma visão sistêmica, em que cada elemento possa ser influenciado ou exercer influência em relação aos demais (BOTELHO e SILVA, 2012). Nesse sentido, é importante ressaltar que nos últimos anos o homem tem participado cada vez mais como agente acelerador dos processos modificadores e de desequilíbrios da paisagem (CUNHA e GUERRA, 1996), onde os impactos provocados pela urbanização em alguns processos hidrogeomorfológicos vêm constituindo um sério problema a ser enfrentado pela sociedade.

2.4 Impactos ambientais e impactos da urbanização nos processos hidrogeomorfológicos

A urbanização é um fenômeno que vem atravessando um exponencial crescimento por todo o mundo, sendo atrelada como sinônimo de desenvolvimento. É comum observarmos inúmeras alterações no meio físico, principalmente na superfície terrestre, que são realizadas pela ação antrópica de maneira consciente ou inadvertidamente. Tais alterações vêm trazendo perturbações ao meio ambiente causando desequilíbrios e grandes perdas naturais e socioeconômicas.

O conceito de meio ambiente é utilizado de diversas maneiras, para diferentes tipos de situações, não se limitando apenas a uma escala de análise. É comum ouvir-se falar sobre ambientes oceânicos, ambientes regionais, ambientes locais, até mesmos ambientes escolares.

Coimbra (2002) define o meio ambiente como um conjunto de elementos abióticos (físicos e químicos) e bióticos (flora e fauna), organizados em diferentes ecossistemas naturais e sociais em que se insere o Homem, individual e socialmente, num processo de interação que atenda ao desenvolvimento das atividades humanas, à preservação dos recursos naturais e das características essenciais do entorno, dentro das leis da Natureza e de padrões de qualidade definidos. Ainda, de acordo com o autor, essa definição se apresenta como “longa e densa” devido à necessidade de compactar, em poucas linhas, uma grande quantidade de noções e conceitos, respeitando a complexidade que a temática requer (COIMBRA, 2002).

De acordo com Christofolletti (2002) esse conceito é dividido em duas unidades de conservação: os ecossistemas e os geossistemas. Esses dois conjuntos ambientais compõem o “equilíbrio natural” de fluxo de matéria e energia (CHRISTOFOLLETTI, 2002). Não havendo interferências, esses dois sistemas acima citados atuam de maneira harmônica na modelagem da superfície terrestre. Entretanto, o homem, através da sua ocupação e atividades usufrui, transforma e, enfim, causa impactos ao meio ambiente de maneira indireta ou diretamente

através da ação como influenciador nos fluxos de matéria e energia. Tal interferência resulta no “desequilíbrio natural” dos ecossistemas e geossistemas (CHRISTOFOLETTI, 2002).

Muitos autores na literatura em áreas ambientais, principalmente a partir do final do século XX, destacam que o estudo dos impactos ambientais foi originado e causado pelas atividades socioeconômicas (MONTEIRO, 1995; SANT’ANNA NETO, 1998; CHRISTOFOLETTI, 1999; 2002; CHRISTOPHERSON, 2012). Nesse sentido, pode-se afirmar que a consciência sobre os impactos ambientais é relativamente recente, pois a preocupação com os impactos gerados pelo mau uso dos recursos naturais passou a ser mais intensamente analisada no mundo inteiro, principalmente nas últimas décadas do século XX, onde são frequentes as discussões e trabalhos importantes e recorrentes, nos mais diversos encontros, conferências e eventos que envolvam as áreas ambientais.

Segundo a Resolução CONAMA nº 01/1986 (BRASIL, 1986), considera-se impacto ambiental qualquer alteração nas propriedades físicas, químicas e biológicas do ambiente causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetem: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do ambiente e a qualidade dos recursos ambientais.

Coelho (2004) define impacto ambiental como sendo um processo de mudanças sociais e ecológicas causado por perturbações (uma nova ocupação e/ou construção de um objeto novo: uma usina, uma estrada ou uma indústria) no ambiente.

Nessa perspectiva, os impactos ambientais são gerados a partir da relação dinâmica entre sociedade e natureza alterando as estruturas das classes sociais e remodelando a paisagem. Segundo Hammes (2004), os impactos das atividades antrópicas estão relacionados às suas necessidades de existência, que absorve, transforma e produz resíduo, onde a magnitude dessa relação no espaço depende das questões culturais, de consumo de produtos mais ou menos industrializados, com ou sem embalagens descartáveis e não descartáveis, assim por diante.

Essa relação entre sociedade e natureza e os impactos ambientais relacionados se destacam especialmente no contexto de um aumento da urbanização. A modernização do campo e a concentração fundiária vêm incentivando os fluxos migratórios para as grandes cidades brasileiras e tal processo corroborou um movimento que já era impulsionado pela industrialização: a concentração populacional em cidades.

O crescimento da população urbana no Brasil tem total relação com o processo de industrialização, pois as necessidades surgidas pela demanda de consumo nas cidades impulsionou o avanço da produção industrializada. O fenômeno de urbanização no Brasil ocorreu de forma intensa, acelerada e desordenada. A partir da década de 1950 a população urbana era de 36%, passando a 45% em 1960, e em 1970 já era de 56%, chegando a 68% em 1980 e em 84% em 2010 (IBGE, 2010) (Figura 2).

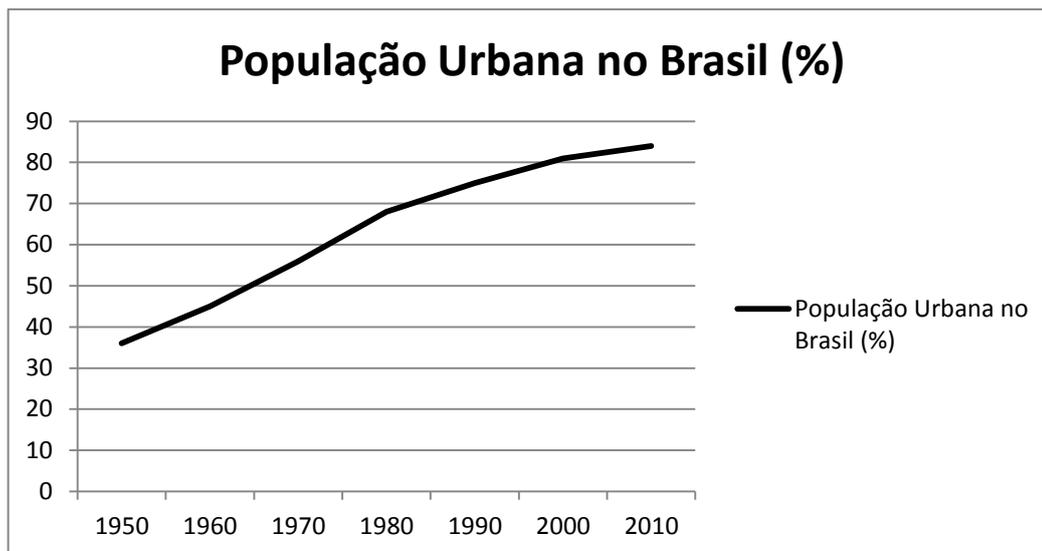


Figura 2 - Porcentagem da população urbana no Brasil, 1950 a 2010.

Fonte: IBGE (2010).

No período compreendido entre a década de 1980 até o final do século XX, há a caracterização de novos arranjos da economia brasileira com o capitalismo mundial, marcados por ondas neoliberais e abertura de mercados que, por sua vez, estimulou o crescimento das cidades médias brasileiras dando-as novos aspectos funcionais tendo o consumo uma função mais importante que a produção na estruturação dos fluxos que definem o papel intermediário dessas cidades (SPOSITO, 2001).

Segundo Tucci (2013), a urbanização traz inúmeros problemas relacionados à infraestrutura, com destaque para a grande concentração de população em pequenas áreas, o aumento da periferia, a urbanização espontânea (sem planejamento), ocupando áreas de risco à inundações e escorregamentos.

São diversos os problemas socioambientais surgidos devido a essa configuração da urbanização no Brasil. Os principais problemas que ocorrem nas cidades estão relacionados a forma de uso e ocupação do seu espaço, tais como: a poluição atmosférica, sonora e dos recursos hídricos; os processos de erosão do solo, de deslizamento de terras em encostas de morros, as inundações, os alagamentos e o assoreamento de cursos d'água; a ausência de áreas verdes; a produção e deposição dos resíduos sólidos e líquidos em locais impróprios; e a enorme desigualdade social (SPOSITO, 2001). Esse processo de urbanização das cidades brasileiras, integrado ao inadequado planejamento, e a difusão de ocupações irregulares, são responsáveis por uma sucessão de problemas socioambientais. De acordo com Poletto (2014) esse processo acelerado e não planejado de urbanização acarreta também alterações nas condições naturais das bacias hidrográficas.

Há uma relação histórica e desigual entre o desenvolvimento das sociedades, a utilização dos recursos hídricos e o poder aquisitivo. De acordo com Tucci (2013), devido à grande dificuldade de transporte no passado, utilizava-se o rio como a via principal, fazendo com que as cidades se desenvolvessem às margens dos rios ou no litoral. As primeiras moradias se alojavam em áreas mais elevadas, onde as águas dos rios dificilmente as alcançariam. No entanto, Tucci (2013) destaca que com o crescimento desordenado e acelerado das cidades, principalmente na segunda metade do século XX, as áreas de risco considerável, como as várzeas inundáveis, passaram a ser ocupadas, trazendo como

consequências prejuízos humanos e materiais. Essas áreas agora ocupadas, com alto risco de eventos de inundações, são frequentemente habitadas por uma camada da população mais pobre. Como um agravante, Tucci (2013) aponta que quando a frequência das inundações é baixa, a população ganha confiança e despreza o risco, aumentando significativamente o adensamento nessas áreas inundáveis. E mesmo as áreas ainda desocupadas devido à inundações sofrem forte pressão para serem ocupadas (TUCCI, 2013).

Com o advento das cidades e todos os efeitos da urbanização, cresceram as interferências e desequilíbrios no meio natural. Segundo Stevaux e Latrubesse (2017), há mais de 5000 anos as atividades humanas interagem intensamente com a bacia e o próprio sistema fluvial, de modo que praticamente todos os sistemas fluviais do planeta, em maior ou menor escala, sofreram ou sofrem algum tipo de interferência. Nesse sentido é importante destacar o estudo de uma bacia hidrográfica como um elemento fundamental de análise no ciclo hidrológico e os efeitos da urbanização neste sistema ambiental.

2.5 Bacias hidrográficas urbanizadas e principais impactos da antropização

As bacias de drenagem em áreas urbanizadas sofrem inúmeras modificações e interferências nos seus componentes físicos causando assim alterações na quantidade e qualidade de suas águas, assim como na morfologia do relevo da bacia e conseqüentemente, nos processos hidrogeomorfológicos. Dessa forma, de acordo com Poletto *et al.* (2010), em geral, ao passarem por áreas urbanas os rios recebem uma carga poluente de grandes proporções que causam alterações na qualidade da água, na biota aquática, na morfologia fluvial e no regime hidrológico.

O sistema fluvial de uma bacia hidrográfica possui inúmeras variáveis que são sensíveis às mudanças ocasionadas pela ação antrópica. As interferências nos canais fluviais são sentidas tanto espacialmente como temporalmente.

De acordo com Stevaux e Latrubesse (2017), os impactos hidrofísicos e as mudanças no sistema fluvial induzidos pelo homem podem ser classificados em diretos e indiretos. Os primeiros referem-se a interferências localizadas diretamente no canal (diques, canalização, retificação, dragagens, transferências de fluxos). Já os impactos e mudanças indiretas correspondem a atividades relacionadas ao uso e à ocupação do solo na bacia de drenagem (STEVAUX e LATRUBESSE, 2017).

A retificação dos canais é produto de novas dinâmicas urbanas nas principais cidades brasileiras. Em busca de novos espaços para ocupar, assim como na busca por soluções do problema de inundações, o homem altera os rios, introduzindo um aspecto esteticamente “urbano” a eles. Essas áreas próximas aos canais fluviais que vão sendo ocupadas normalmente correspondem a planícies de inundação de rios que ali meandravam. Com isso, segundo Botelho (2011), esses rios passaram a ser vistos como um problema, pois diminuía a área útil a ser ocupada. A autora ainda destaca que nessa visão equivocada, a canalização e a retificação principalmente, aumentam a velocidade das águas e diminuem o espaço físico ocupado pelos rios, “permitindo” a ocupação de suas margens (BOTELHO, 2011).

Como mencionado anteriormente, os efeitos dessas ações diretas nos rios se estendem por praticamente todo o canal. Tal procedimento intensifica os processos erosivos e o transporte de sedimentos no alto e médio curso dos rios. Isso ocorre porque a maior velocidade da água imprimida à jusante reflete no trecho a montante. Na medida em que a

declividade diminui, os sedimentos que foram erodidos e transportados a montante, agora em uma velocidade maior, começam a ser depositados a jusante. A esse depósito advindo dos altos e médios cursos juntam-se os sedimentos que são carregados das margens do baixo curso devido a retirada da mata ciliar e ao lançamento direto de lixo doméstico e industrial nos canais. Tal processo resulta na diminuição da área transversal do canal, devido ao assoreamento do fundo, facilitando assim uma maior frequência na ocorrência de eventos de inundações das áreas marginais. Assim, segundo Stevaux e Latrubesse (2017), os efeitos da retificação podem ser transmitidos tanto a jusante como a montante do trecho modificado. E, ainda, segundo Botelho (2011, p. 76):

as onerosas obras de drenagem urbana: canalização (aberta ou fechada), retificação, alargamento, afundamento, desvio etc. não só não impediram as enchentes, como contribuíram para sua ocorrência, muitas vezes em maior proporção, ao longo do tempo. (BOTELHO, 2011, p. 76).

Outra interferência nos canais fluviais é a dragagem, que consiste na retirada de sedimentos do fundo do canal, com a finalidade de aumentar o escoamento do fluxo em eventos de cheia, ou até mesmo para facilitar ou viabilizar a navegação. Esse procedimento pode ser considerado um mitigador das interferências antrópicas que resultam no excesso de sedimentos nos baixos cursos dos canais. Porém, o mesmo não pode ser considerado como uma solução, pois sua funcionalidade depende da morfologia do canal e de maquinários que muitas vezes elevam os custos.

A transposição de águas fluviais é outra interferência antrópica frequentemente realizada em bacias hidrográficas urbanas. Segundo Stevaux e Latrubesse (2017), tal procedimento é empregado principalmente para o abastecimento, a irrigação e a diminuição do risco de inundação.

Os impactos ocasionados pela urbanização, em especial os efeitos da impermeabilização do solo, um dos objetos da pesquisa serão destacados a seguir.

2.5.1 Os efeitos da urbanização no ciclo hidrológico

Poleto (2014) afirma que de todas as atividades antrópicas, a urbanização é a responsável por produzir as maiores alterações locais nos processos do ciclo hidrológico, devido às mudanças na cobertura do solo e aos movimentos da terra. Segundo o autor, a urbanização promove a redução da infiltração da água no solo, o aumento do escoamento superficial, a redução do escoamento subterrâneo e a redução da evapotranspiração (POLETO, 2014) (Figura 3).

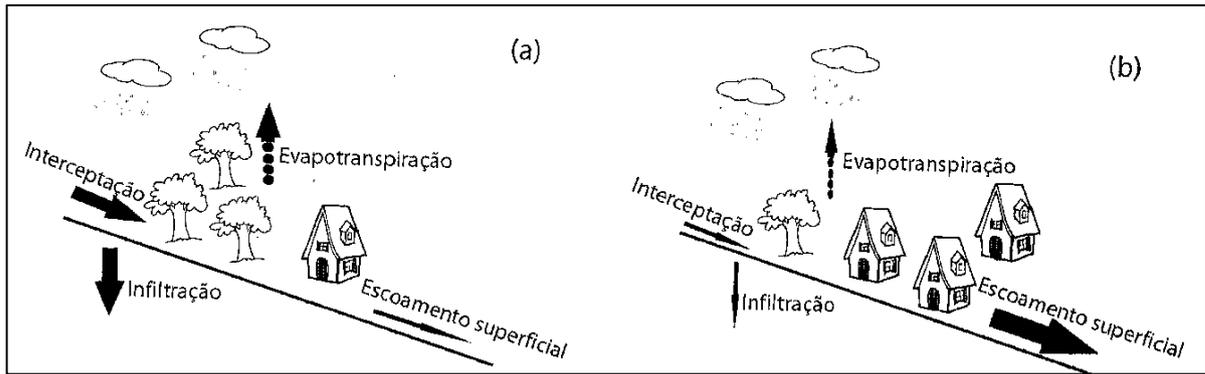


Figura 3 – Variáveis hidrológicas: (a): Área natural ou pouco urbanizada; (b) Área com processo de urbanização acelerado ou estabilizado com alta taxa de impermeabilização.

Fonte: Poletto (2014, p. 34)

Tal fenômeno ocorre, principalmente, porque a urbanização substitui a vegetação nativa nas bacias hidrográficas por áreas impermeáveis (calçadas, pavimentações, telhados, estacionamentos etc). Essas mudanças acarretam em alterações na vazão, resultando na redução do tempo de concentração e no aumento dos picos de vazão.

Na figura 4, Tucci (2013, p. 806) demonstra uma consequência da urbanização alterando diretamente o escoamento superficial. Segundo o autor, para casos extremos, verifica-se que o pico da cheia numa bacia urbanizada pode chegar a ser seis vezes maior do que o pico desta mesma bacia em condições naturais.

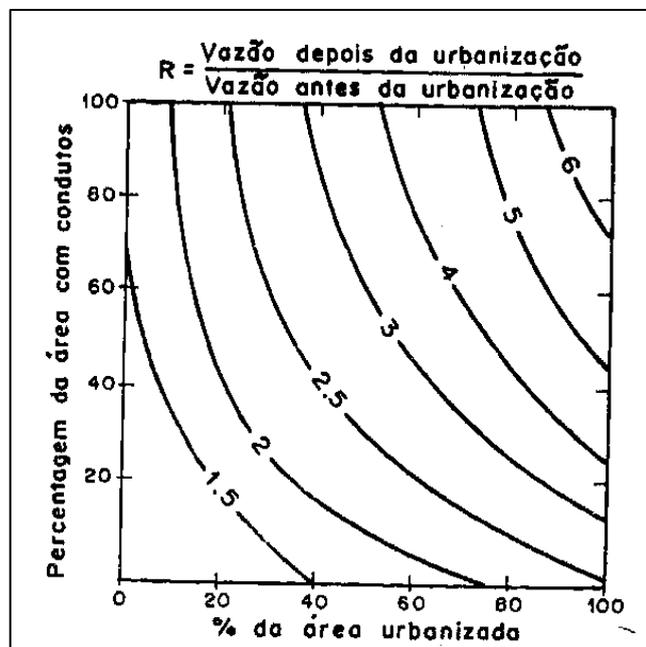


Figura 4 – Efeito da urbanização sobre a vazão máxima.

Fonte: Tucci (2013, p. 806)

A urbanização traz diferentes impactos no ciclo hidrológico e na qualidade das águas. As taxas de urbanização propiciam efeitos diretos e indiretos (Figura 5) alterando significativamente a rede de drenagem e promovendo problemas à saúde humana, além de

impactos como enchentes, deslizamentos e desastres provocados pelo desequilíbrio no escoamento das águas (TUCCI, 2013).

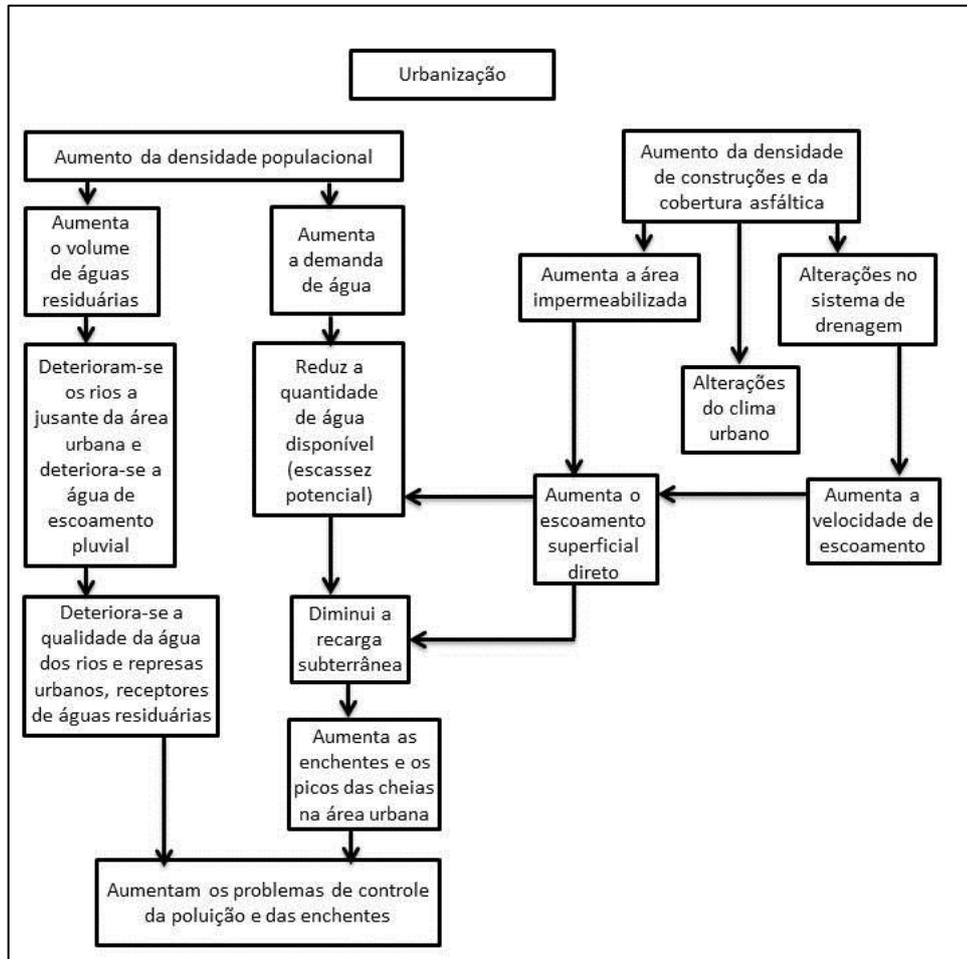


Figura 5 – Principais problemas decorrentes da urbanização que incidem sobre a quantidade e a qualidade das águas.

Fonte: Tucci (2013)

2.5.2 Impermeabilização

Dentre as já mencionadas modificações geradas pela ocupação do espaço urbano, destaca-se a impermeabilização de grandes áreas, geradas a partir da pavimentação das vias de circulação (BOTELHO, 2011; BOTELHO e SILVA, 2012; TUCCI, 2013; STEVAUX e LATRUBESSE, 2017).

O grau de pavimentação de um determinado local consiste em um fator determinante na dinâmica de escoamento em uma bacia hidrográfica. De acordo com Botelho (2011), aproximadamente 70% dos municípios brasileiros atingidos por enchentes apresentam mais de 60% de ruas pavimentadas. E cerca de 90% dos municípios apresentam taxa de urbanização superior a 50%, e 64% apresentam taxas maiores que 70%.

De acordo com Tassi e Poletto (2010), essas áreas com altas porcentagens de impermeabilização são consideradas com alto potencial de danos ao ecossistema aquático devido, principalmente, ao aumento dos processos erosivos e de sedimentação sofridos pela calha fluvial. Nesse sentido, a partir de uma análise sistêmica é possível destacar que o aumento da impermeabilização gera menor infiltração e, conseqüentemente, um aumento no escoamento superficial. O aumento no volume e na velocidade nesse escoamento, por sua vez, resulta em uma maior energia no transporte de sedimentos em direção ao leito dos rios que devido a essa maior quantidade acaba maximizando o processo de assoreamento dos canais.

2.5.3 Escoamento superficial

O escoamento superficial é a parcela do ciclo hidrológico em que a água se desloca na superfície da bacia até encontrar uma calha definida (TUCCI, 2013). Quando a bacia hidrográfica se encontra em uma área rural, grande parte da precipitação é captada em áreas vegetadas fazendo com que a água se infiltre. Porém, em áreas urbanas, devido às coberturas permeáveis e a quase total ausência de uma cobertura vegetal o escoamento superficial é favorecido.

O aumento do escoamento superficial provoca vários problemas na bacia hidrográfica, tais como a erosão nas vertentes da bacia e desequilíbrios no canal fluvial (POLETO, 2014). Segundo Botelho (2011), nas áreas urbanas, constantemente novos elementos são adicionados pelo homem, como edificações, pavimentação, canalizações, entre outros, que acabam por reduzir drasticamente a infiltração e favorecem o escoamento das águas, que atingem seu exutório mais rapidamente e de forma mais concentrada, gerando com isso o aumento da magnitude e da frequência das inundações nessas áreas.

Segundo Tucci (2013), a distribuição da vazão de uma rede de drenagem no tempo é resultado da interação de todos os componentes do ciclo hidrológico entre a ocorrência da precipitação e a vazão na bacia. Para representar essa vazão é utilizado o hidrograma de vazão que relaciona a vazão no tempo. A curva da vazão no hidrograma difere de uma bacia urbanizada para uma bacia rural. Em áreas urbanas o pico de vazão é mais intenso e antecipado e o escoamento superficial acaba sendo maior em comparação a áreas rurais (Figura 6). Os principais fatores que influenciam a forma do hidrograma são o relevo, a cobertura da bacia, as modificações artificiais no rio, a distribuição, duração e intensidade da precipitação e as condições do solo (TUCCI, 2013).

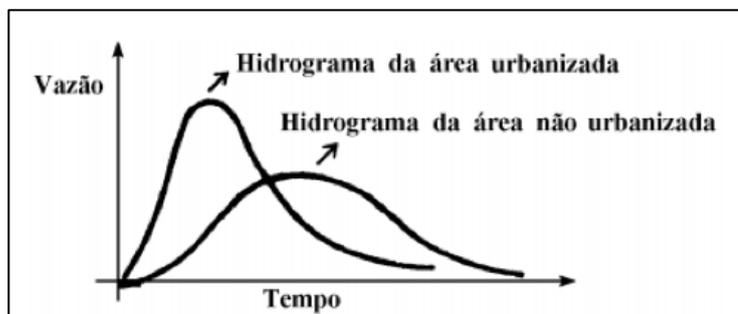


Figura 6 – Hidrograma de vazão em áreas urbana e rural.

Fonte: Tucci (2013).

2.5.4 Enchentes, inundações e alagamentos

Muitas bacias de drenagem sofrem ao longo do tempo inúmeros eventos de alagamentos e inundações. Ainda que de uso comum, as expressões alagamento, cheia, enchente e inundação possuem significados diferentes que, por vezes, causa desentendimento por parte da população em geral. Dentre muitas definições encontradas na literatura das áreas ambientais, o Quadro 1 apresenta os conceitos de enchentes, alagamentos e inundações segundo Castro (2002), a Superintendência de Proteção e Defesa Civil do estado da Bahia (2015) e do Ministério das Cidades/IPT (2007).

Quadro 1 – Conceitos de Enchentes, Inundações e Alagamentos.

Autor/Entidade	Conceito		
	Enchentes	Inundações	Alagamentos
Castro (2002)	Elevação do nível d'água no canal de drenagem devido ao aumento da vazão, atingindo a cota máxima do canal, porém, sem extravasar;	Fenômeno que ocorre quando a vazão supera a capacidade de descarga do rio, extravasando para as áreas marginais decorrente de uma drenagem deficiente;	Acúmulo momentâneo de águas em determinados locais por deficiência no sistema de drenagem, podendo estar associado ou não a áreas de domínio dos processos fluviais;
Superintendência de Proteção e Defesa Civil do estado da Bahia (2015)		Inundações repentinas: ocorrem em áreas de relevo acentuado, montanhoso, com bastante inclinação e vales profundos. Inundações lentas ou de planície: ocorrem devido a presença de águas acumuladas no leito das ruas e nos perímetros urbanos após (ou durante) fortes precipitações em cidades com sistemas de drenagem deficientes.	O extravasamento das águas depende muito mais de uma drenagem deficiente, que dificulta a vazão das águas acumuladas, do que das precipitações locais;
Ministério das Cidades/IPT (2007)	Aumento temporário do nível d'água no canal de drenagem devido ao aumento da vazão, atingindo a cota máxima do canal, porém, sem transbordamento;	Transbordamento das águas de um canal de drenagem, atingindo a planície de inundação ou área de várzea;	Acúmulo momentâneo de águas nas ruas e nos perímetros urbanos ocasionados por problemas de drenagem;

Fonte: Castro (2002); Superintendência de Proteção e Defesa Civil do estado da Bahia (2015); Ministério das Cidades/IPT (2007).

Ao analisar as definições acima apresentadas, é possível destacar que a ocorrência de enchentes está relacionada ao acréscimo temporário do nível d'água que é transportado em

um rio. Porém, esse acréscimo acaba não representando um perigo direto a população que reside nas áreas próximas aos canais, pois, neste caso a vazão atinge a cota máxima, mas não há transbordamento. Entretanto, as obras de engenharia realizadas nos leitos e nas margens dos rios e o processo de assoreamento podem alterar a capacidade de vazão desses canais, que por sua vez, provocando assim o aumento dos eventos de enchentes ou até mesmo podendo chegar a ocorrência de inundações. Essas, de acordo com as definições na tabela acima, ocorrem quando a vazão supera a capacidade de descarga do rio, fazendo com que haja o transbordamento das águas de um canal de drenagem, atingindo a planície de inundação.

As ocupações em áreas naturalmente propícias à ocorrência de inundações, por si só, já representam um grave problema de planejamento urbano, porém, alguns agravantes acabam maximizando as perdas e prejuízos, tais como, a retirada da mata ciliar, o aumento da impermeabilização do solo, o lançamento direto de esgoto e lixo nos canais e as canalizações e retificações dos canais.

Os alagamentos, por sua vez, estão associados à deficiência no sistema de drenagem de um determinado local, não estando, necessariamente, atrelado às áreas de domínio dos processos fluviais. No entanto, uma área com problemas de drenagem pode potencializar a ocorrência de inundações.

Nesse sentido, conclui-se que existem diversas definições e interpretações para os termos enchentes, inundações e alagamentos. Entretanto, muitas vezes, eles estão relacionados, sendo causados por motivos de certa forma similares, se diferenciando apenas de acordo com o local em que ocorrem e os danos que cada um pode causar. Em busca de uma definição padrão, nesta pesquisa serão adotadas as definições do Ministério das Cidades/IPT (2007), representadas na Figura 7.



Figura 7 – Perfil esquemático do processo de enchentes, inundações e alagamentos.

Fonte: Ministério das Cidades/IPT (2007).

2.5.5 Mudanças no clima local em bacias de drenagens urbanizadas e seus impactos em processos hidrogeomorfológicos

Segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007), a escala climática diz respeito à dimensão, ou ordem de grandeza, espacial (extensão) e temporal (duração), segundo a qual os fenômenos climáticos são estudados. Nos estudos da climatologia essas escalas espaciais se dividem hierarquicamente com algumas diferenciações segundo a abordagem do autor. Uma das classificações mais aceitas no âmbito dos estudos climáticos, em três mais conhecidas ordens de grandezas, são: “macroclima, mesoclima e microclima” (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007, p. 23).

Especificamente a escala mesoclimática corresponde a uma unidade intermediária entre as escalas microclimáticas e macroclimáticas. O clima local está incluso nessa escala de análise climática e, segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007), é definido por aspectos específicos de determinados locais, como uma grande cidade, um litoral etc.

No clima local faz-se necessário destacar como uma das características principais quanto à influência dos fatores geográficos, os fluxos de troca de energia estabelecidos pela heterogeneidade da paisagem local, através dos diferentes usos do solo e da intensificação da ação humana que ora se adapta, ora modifica a topografia de uma determinada área podendo, assim, interferir na dinâmica sistêmica natural de um ambiente.

Segundo Ribeiro (1993, p. 291),

a ação antrópica na 'criação' de climas locais pode ser vista sob dois aspectos que atuam, geralmente, em conjunto. De um lado, deve-se considerar a capacidade que tem a sociedade em alterar a cobertura do solo, substituindo a vegetação natural por agricultura e por edificações. Por outro lado, são cada vez mais significativas as alterações provocadas pelas atividades humanas na composição da atmosfera, introduzindo gases e matérias particulados que irão intervir no balanço de radiação e na retenção de umidade e calor sensível na atmosfera, particularmente na Camada Limite Planetária, com altura máxima variável entre 1200 e 2000 metros. (RIBEIRO, 1993, p. 291).

A ação antrópica criando variações climáticas locais através dos efeitos da urbanização vem sendo estudado por pesquisadores do mundo inteiro, inclusive brasileiros e, em especial, com atenção sobre a Região Metropolitana do Rio de Janeiro (BRANDÃO, 1992; LUCENA, 2012). As mudanças na cobertura e uso do solo através da urbanização nessas áreas trazem interferências nas dinâmicas naturais com alterações climáticas, assim como nos processos hidrogeomorfológicos no ambiente urbano devido às condições geradas para concentração de massas úmidas (LOMBARDO, 1985).

Nesse sentido, observa-se que as alterações realizadas nas bacias de drenagem urbanizadas, além de modificarem o seu balanço de escoamento-infiltração também podem maximizar os impactos de vazão e ocorrência de chuvas extremas devido às condições atmosféricas que a urbanização gera nesse clima local. Essa urbanização altera significativamente o clima urbano (LOMBARDO, 1985), gerando alterações no equilíbrio térmico da superfície causando interferências nas dinâmicas dos processos hidrogeomorfológicos.

Estudo recente realizado (MENEZES, 2016) em parte da área de estudo da presente pesquisa (município de Nova Iguaçu-RJ) para um período de 15 anos (2000 e 2015), indicou que as variações na temperatura da superfície terrestre (TST) estão diretamente relacionadas

com a heterogeneidade da paisagem e mudanças na cobertura e uso da terra, onde os resultados mostram a estreita relação entre as áreas construídas com as maiores temperaturas de superfície, e que merecem extrema atenção na medida em que influenciam as dinâmicas hidrogeomorfológicas e climáticas em diferentes escalas (MENEZES, 2016; MENEZES e MENDES, 2017).

Com isso, é preciso atentar-se para as interferências que as mudanças climáticas exercem, provenientes das alterações no balanço de energia da superfície terrestre ocasionadas pela urbanização, tais como as Ilhas de Calor Urbano, pois podem trazer incrementos na vazão da rede de drenagem como destaca Ayoade (2002, p. 309):

A tendência da precipitação é aumentar sobre as áreas urbanas, e esse fato deve-se parcialmente aos poluentes que asseguram uma abundância de núcleos de condensação. Outros fatores que auxiliam para explicar a incidência de maior precipitação sobre as áreas urbanas são: o acréscimo de vapor d'água devido aos vários processos de combustão, a convecção térmica sobre a ilha de calor urbano e a turbulência mecânica criada pelo efeito de fricção das estruturas da cidade sobre os fluxos de ar. (AYOADE, 2002, p. 309).

Esses processos impactam e vitimizam a população que reside nessas bacias de drenagem altamente antropizadas, especialmente com a ocorrência de eventos extremos que podem ser intensificados em áreas densamente urbanizadas, devido às condições geradas para concentração de massas úmidas e ocorrência de precipitações, inundações e desabamentos sobre essas áreas, com os consequentes prejuízos sociais, como destacado por Lombardo (1985).

2.6 O Conceito de Suscetibilidade

O termo suscetibilidade (*susceptibility*, em inglês) no campo das geociências pode ser entendido como a predisposição ou propensão dos terrenos ao desenvolvimento de um fenômeno ou processo do meio físico (JULIÃO *et al.*, 2009; SOBREIRA e SOUZA, 2012; MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013).

Segundo Bitar (2014), o vínculo entre fatores predisponentes e propensão dos terrenos à processos, representa a base para a compreensão e aplicação do conceito de suscetibilidade. Por exemplo, uma área em que apresenta terrenos com características que tendem a favorecer a ocorrência de inundações, acaba sendo considerada suscetível a esse tipo de processo, não necessariamente podendo haver previsões acerca de quando poderá ocorrer um evento.

Nesse sentido, a suscetibilidade pode ser a princípio, analisada através de fatores predisponentes próprios ao sítio. Ainda que, posteriormente, esse sítio venha a ser modificado (pela urbanização, por exemplo), supõe-se que os fatores predisponentes ainda estejam atuantes e, assim, devendo ser considerados para fins de gestão e planejamento territorial.

De acordo com Sobreira e Souza (2012), entende-se por suscetibilidade a potencialidade de processos geológicos (movimentos gravitacionais de massa, inundações/enchentes/alagamentos, corridas, erosões, assoreamento, subsidências e colapsos, processos costeiros, sismos induzidos etc.) causarem transformações do meio físico, independentemente de suas consequências para as atividades humanas. Trata-se, portanto, de uma abordagem apoiada no conhecimento de fatores predisponentes que possam responder à pergunta “onde pode ocorrer determinado processo?”.

A suscetibilidade pode ser representada cartograficamente através de mapas de zoneamento não abrangendo as informações sobre o seu período de retorno ou a probabilidade de ocorrência. Assim, segundo Bitar (2014), a avaliação da suscetibilidade consiste na identificação e classificação das áreas com propensão para serem afetadas por um determinado perigo, em tempo indeterminado e é efetuada de forma qualitativa através dos fatores de predisposição para a ocorrência desse perigo.

Ainda de acordo com Bitar (2014), o conhecimento prévio das suscetibilidades dos terrenos à geração e desenvolvimento de fenômenos e processos do meio físico cuja dinâmica pode ocasionar desastres naturais é de grande importância aos municípios, contribuindo para o planejamento do uso e ocupação do solo, controle da expansão urbana, avaliação de cenários potenciais de riscos e, ainda, no âmbito regional, auxiliar na elaboração de zoneamentos ecológico-econômicos.

Para Sobreira e Souza (2012), nos estudos de suscetibilidade devem ser avaliados os processos que podem ocorrer em áreas mais abrangentes e com agentes deflagradores de maior magnitude, independentemente da ocupação destas áreas, buscando avaliações mais gerais dos terrenos quanto ao seu comportamento frente aos processos envolvidos e representando os resultados em cartas. Nessa perspectiva, Julião *et al.* (2009) aponta que a avaliação da suscetibilidade é um procedimento fundamental para o ordenamento do território e precisa estar contida no Plano Diretor Municipal.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área de estudo

A Bacia Hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí (BHRIS), localizada na Baixada Fluminense¹, na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) (CEPERJ, 2014), possui uma área de drenagem de aproximadamente 732 km², abrigando os municípios de Nilópolis, Mesquita, São João de Meriti, Nova Iguaçu, Belford Roxo e Duque de Caxias e alguns bairros da cidade do Rio de Janeiro (Bangu, Padre Miguel e Senador Camará). Entre esses municípios, apenas Belford Roxo encontra-se totalmente dentro dos limites da bacia (Figura 8).

¹ Segundo o CEPERJ (Centro Estadual de Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Rio de Janeiro), essa expressão é utilizada sob os enfoques político-institucional - para o planejamento e as ações de governo - e histórico-cultural, que se baseia na formação social da área. Esta composição prende-se à história da conquista, ocupação e evolução social e econômica de parte da Baixada da Guanabara, isto é, da periferia da cidade do Rio de Janeiro, constituída pelos atuais Municípios de Belford Roxo, Duque de Caxias, Guapimirim, Itaguaí, Japeri, Magé, Mesquita, Nilópolis, Nova Iguaçu, Paracambi, Queimados, São João de Meriti e Seropédica. Fonte: <<http://www.ceperj.rj.gov.br/>> Acessado em: 09 de abril de 2016.

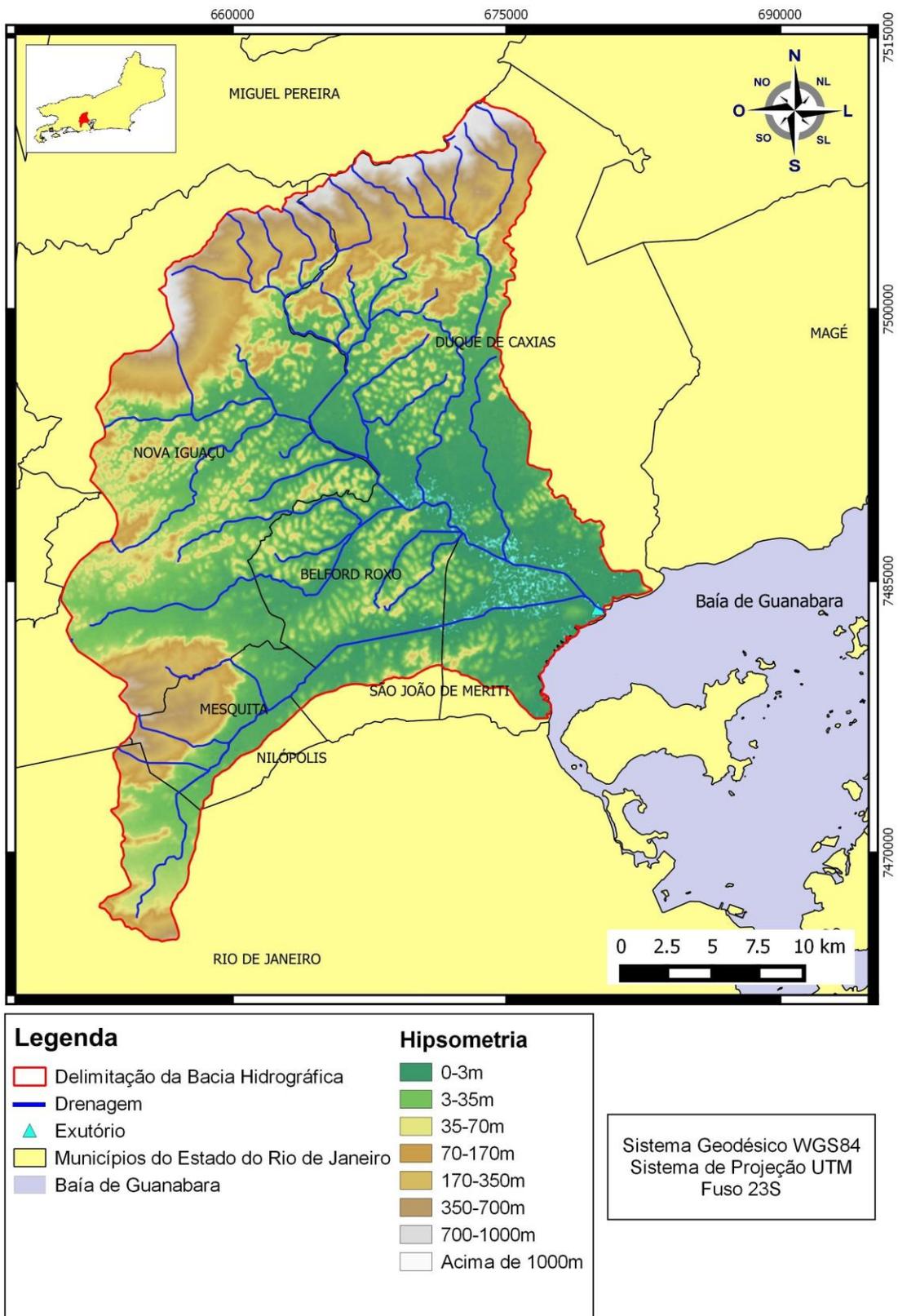


Figura 8 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica dos Rios Iguazu-Sarapuí (RJ)

A BHRIS é uma das principais sub-bacias da Região Hidrográfica da bacia da Baía de Guanabara, possuindo como limites: bacia do rio Paraíba do Sul, ao norte; bacia dos rios

Pavuna/Meriti ao sul; bacia do Rio Guandu e afluentes da baía de Sepetiba, a oeste; e a leste a bacia dos rios Inhomirim/Estrela (INSTITUTO BAIÁ DE GUANABARA – IBG, 2004).

O rio Iguaçu possui nascentes nos maciços do Tinguá obtendo uma extensão de, aproximadamente, 43 km e exutório na Baía de Guanabara. Seus principais afluentes são os rios: Tinguá, Pilar e Capivari pela margem esquerda e Botas e Sarapuí, pela margem direita (GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 1996) (Figura 9).

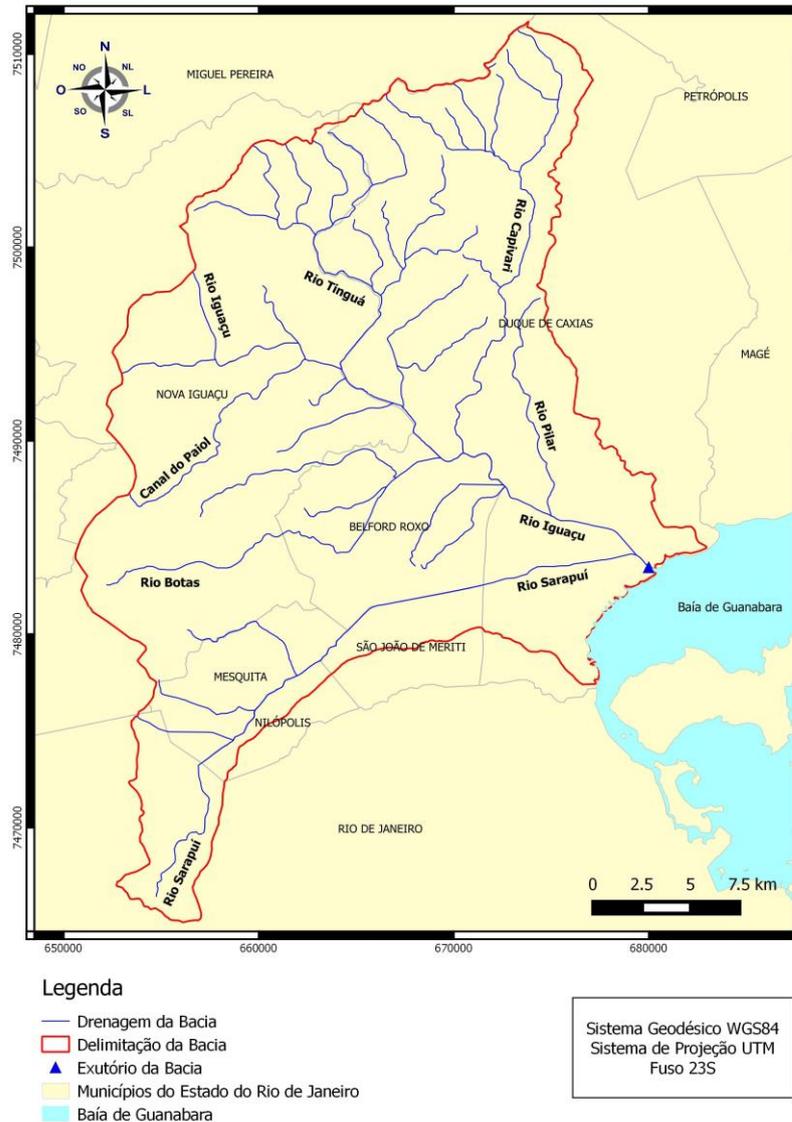


Figura 9 – Drenagem com os principais canais fluviais da bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí.

O rio Sarapuí nasce na serra de Bangu, no maciço da Pedra Branca, no município do Rio de Janeiro, numa altitude de, aproximadamente, 900 metros, com importante afluente como o rio Dona Eugênia no maciço Marapicu-Gericinó-Mendanha. De sua nascente até a sua foz no rio Iguaçu, esse rio percorre cerca de 36 km (GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 1996). Observa-se que o rio Sarapuí passou a pertencer à bacia do rio Iguaçu no início do século XX por ocasião das primeiras grandes obras de saneamento na Baixada Fluminense, quando seus cursos médio e inferior foram canalizados e retificados e sua foz

desviada para o curso inferior do rio Iguaçu, o que justifica a sua incorporação na pesquisa de forma a definir a bacia de drenagem estudada, como também considerado para definição da Região Hidrográfica da bacia da Baía de Guanabara (AMADOR, 2012).

3.2 Aspectos físico-naturais e ambientais

A Bacia Hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí (RJ) está localizada em sua maior parte na Baixada da Guanabara, uma área com grande heterogeneidade quanto às paisagens naturais com condições que se mostraram de suma importância no processo histórico de ocupação da região, ora como facilitadoras, ora como limitadoras. O que observa-se hoje na área da bacia de drenagem no que diz respeito às suas paisagens antropizadas revelam uma relação direta de conflito entre sociedade e natureza.

A ocupação urbana na bacia se iniciou nos espaços planos entre os morros, onde surgiram inicialmente pequenos núcleos suburbanos, inteiramente separados uns dos outros. A expansão para o norte foi dificultada por motivos de ordem geomorfológica, pois nessa direção se inicia um compartimento de relevo mais acidentado, que antecede o Maciço do Tinguá e a Serra do Mar. Essa área não apresentava as mesmas facilidades para a ocupação urbana em comparação ao centro, devido à movimentação de seu relevo, cujas altitudes variam entre 100 e 200 metros (SOARES, 1962).

A Baixada Fluminense, onde se encontra a BHRIS, geologicamente, faz parte do que é chamado de Cinturão Orogênico Atlântico (AMADOR, 1997), que se estabelece como embasamento cristalino formado por rochas ígneas ou metamórficas originadas no Arqueozóico ou Proterozóico, com idades entre 2,6 bilhões a 600 milhões de anos, submetidas a inúmeros processos tectônicos e orogênicos que geraram intensos metamorfismos (AMADOR, 1997).

Como destacado por Mendes (2013), a evolução tectônica dessa área foi influenciada por uma combinação de episódios que se alternaram e/ou atuaram em conjunto em determinados períodos, gerando as serras da Mantiqueira e do Mar e os grábens e bacias sedimentares e assumem papel fundamental na evolução da área.

Amador (2012) destaca a presença da escarpa da Serra do Mar (ao norte da área da bacia de drenagem), formada a partir de uma falha que seria composta basicamente por escarpas tectônicas produzidas por forças endógenas. O desnível da escarpa na área de drenagem da bacia chega a 1500 metros de altitude, do alto da Serra do Tinguá, até a planície fluvial, ao nível do mar (CPRM, 2002).

O cenozoico também está representado na área da bacia pelo magmatismo alcalino. De acordo com Ferrari (1990), o magmatismo alcalino está representado na porção centro ocidental do *rift* da Guanabara por quatro *stocks*, os corpos de Tanguá, Itaúna, Tinguá e Mendanha, os dois últimos localizados ao norte e ao sul da área de drenagem da bacia, respectivamente. Datações geocronológicas obtidas a partir do método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, apresentados por Mota (2012), indicam idades de 71,55 Ma para o Tinguá e 64,12 Ma para o Mendanha.

Situado no Gráben da Guanabara (FERRARI, 2001), a geomorfologia da bacia hidrográfica é caracterizada pela presença das unidades morfoestruturais: maciços costeiros, colinas e morros; região dos terraços fluviais e planícies fluviais (SILVA, 2002).

Outro elemento que caracteriza a geomorfologia da área de drenagem da bacia, segundo Soares (1962), são colinas suaves e bastante amplas de dorso regular e pequena altitude que dispõem-se em diferentes níveis. Na área que antecede o Maciço do Tinguá, se encontram inúmeras colinas e pequenos morros formados pelas rochas mais antigas da região da Baixada. Esses esporões tendem a se intercalar e mesmo serem substituídos por uma sucessão de colinas com forma de meias-laranjas (convexas), que ocorrem isoladas ou agrupadas em pequenos núcleos (AMADOR, 1997). Ainda segundo Soares (1962), as meias-laranjas surgem isoladas em meio à zona das colinas e planícies e, para o interior, tornam-se mais frequentes e mais próximas umas das outras, constituindo verdadeira zona de morros.

De acordo com Amador (2012, p. 51), a presença de terraços fluvio-marinhos nessa área constitui uma “interdigitação de depósitos fluviais e marinhos regressivos holocênicos”. Ainda segundo o autor, os sedimentos fluvio-marinhos correspondem a ambiente de planície de maré e progradação de litoral, em regime estuarino, servindo como substrato para o desenvolvimento do ecossistema de manguezais (AMADOR, 2012).

O Maciço de Tinguá está localizado à frente da Serra do Mar. Essa unidade atua como zona dispersora de águas entre as bacias das baías de Guanabara e de Sepetiba, alojando as nascentes de importantes drenagens dessas bacias, tais como os rios Iguaçu e Tinguá, que drenam para a Baía de Guanabara, e os rios D’Ouro e Santo Antônio, que drenam para a Baía de Sepetiba.

A face sul do Maciço do Tinguá forma um esculpamento dirigido às baixadas litorâneas, com limite morfológico abrupto, onde o esculpamento mergulha sobre uma baixada com presença de colinas e morrotes isolados e pela planície fluvial do rio Iguaçu (CPRM, 2002). As serras do Tinguá apresentam um alto potencial de suscetibilidade a erosão com movimentos de massa, reduzido atualmente devido à preservação da cobertura florestal. Sendo assim, a preservação das áreas florestais na Reserva do Tinguá é fundamental para a conservação de seu meio físico.

Porém, essa preservação florestal não é unânime por toda a área de estudo. A cobertura vegetal remanescente da área reflete suas características locais e, por estar situada em zona tropical com um clima quente e úmido, possui um ambiente característico da Mata Atlântica que é um bioma constituído por diversos ecossistemas.

Situado em plena área intertropical, entre o mar e a montanha, a bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuá, bem como a região da Bacia Hidrográfica da Guanabara, onde está inserida a área de estudo, se caracterizam por fatores de ordem geográfica (posição, maritimidade, continentalidade e topografia) e de ordem dinâmica (circulação geral da atmosfera), por uma evidente diversificação tanto de regime de temperatura, quanto de distribuição da precipitação (AMADOR, 1997).

O clima atuante é classificado como Tropical com Chuvas de Verão (Aw) (KÖPPEN, 1931), onde predominantemente apresenta invernos secos com temperaturas mais amenas e verões chuvosos com temperaturas altas.

As temperaturas máximas e mínimas apresentam uma amplitude bastante considerável. No verão é comum ocorrerem picos de até 42°C nas áreas mais urbanizadas, enquanto no inverno as máximas raramente ultrapassam os 30°C. Essas variações de temperatura seriam ainda maiores não fosse a proximidade do mar cedendo grande quantidade de umidade específica, contribuindo assim para uma menor amplitude diária e anual (AMADOR, 1997).

De acordo com Nimer (1972) essa área é influenciada pelo anticiclone do Atlântico Sul (também denominado como massa Tropical Atlântica – mTa) que garante o fornecimento intenso de umidade. Porém, devido a sua formação em zona de alta pressão, a subsidência faz com que essa umidade se localize nas partes mais baixas dessa massa, dificultando a formação de nuvens e, conseqüentemente, de precipitação, ocasionando grande estabilidade e períodos longos sem chuvas.

O verão é caracterizado também como um período de chuvas torrenciais quando sistemas de baixa pressão atmosférica, decorrentes de correntes perturbadoras vindas do interior do continente, criam uma série de instabilidades provocando temporais de curta duração, mas de grandes volumes (NIMER, 1972). Essas frentes, combinadas com a falta de planejamento urbano adequado em áreas passíveis de grande acúmulo de água devido, principalmente, ao mau uso do solo colaboram para as ocorrências de inundações e alagamentos frequentes na área de drenagem da bacia.

Segundo Amador (1997), inserida em um contexto climático quente e chuvoso, com médias anuais em torno e acima de 1500 mm., de forma geral, originalmente eram encontrados na área de drenagem da bacia: florestas montanas, florestas submontanas, florestas de terras baixas, brejos e os manguezais nas regiões sob influência das marés da Baía de Guanabara.

Os manguezais são típicos ecossistemas de transição entre ambientes terrestres e marinho, expostos à variação de nível de água, sendo cobertos pela água salgada durante a maré alta. Esse tipo de ecossistema apresenta a importante função de reter e filtrar sedimentos, tanto provenientes de ambientes fluviais quanto oceânicos. Amador (1978) ainda destaca o papel dos manguezais como um filtro de sedimentos que assoreiam a Baía da Guanabara e suas sub-bacias.

O Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Iguaçu – Sarapuí (1996) aponta que os manguezais na área de drenagem da bacia foram ecossistemas drasticamente reduzidos na Baía de Guanabara, pelos cortes para lenha e sucessivos aterros para a ocupação. Originalmente esse ecossistema podia ser encontrado até 20 km acima em épocas de maré alta tanto no rio Iguaçu, como no rio Sarapuí (quando este não era ainda ligado ao Iguaçu). Hoje, os manguezais estão restritos a uma pequena porção do estuário do rio Iguaçu, no município de Duque de Caxias.

A Refinaria de Petróleo de Duque de Caxias (REDUC-Petrobras), na margem esquerda e próximo à foz do rio Iguaçu, provavelmente ocupou grande parte da área de ocorrência do primitivo manguezal (GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 1996). Além de ocupar a área, ainda pode-se destacar os impactos gerados devido ao lançamento de óleo entre outros resíduos industriais nas áreas de manguezais remanescentes.

Na área de planícies, onde a urbanização se faz mais presente, Amador (1997) aponta a ocorrência de vegetação conhecida como brejos ou alagados. Esse tipo de vegetação ocorre em áreas sazonalmente inundadas nas margens dos rios e nas depressões do terreno. Caracteriza-se como um ecossistema adaptado a esta alternância entre ambientes alagados e secos durante o ano.

A partir das áreas onde o encharcamento do solo diminui, se inicia a formação da floresta de Mata Atlântica. Na área onde o relevo é mais ondulado (meias-laranjas) se apresentam as Florestas das Terras Baixas que se instala em áreas até 50 metros de altitude, estando acomodadas sobre rochas de embasamento cristalino, rochas alcalinas e sedimentos

da Formação Macacu (AMADOR, 1997). Entre 50 a 500 metros de altitude a Mata Atlântica apresenta a Floresta Submontana (AMADOR, 1997). Agrupamentos remanescentes desta formação florestal são encontrados nos maciços do Tinguá e do Marapicu-Gericinó-Mendanha amparadas em áreas de proteção ambiental, se localizando em encostas com declive acentuado com grande presença de nascentes de mananciais. Por fim, a partir dos 500 até 1500 metros de altitude, sobre rochas do embasamento cristalino e rochas alcalinas, encontra-se a Floresta Montana, o clímax da Mata Atlântica (AMADOR, 1997). Essa floresta ocupa locais de relevo fortemente íngreme e acesso difícil, o que permitiu que fosse parcialmente poupada. Na bacia dos rios Iguazu-Sarapuá, os remanescentes desta formação florestal, estão abrigados, principalmente, na Reserva Biológica do Tinguá, uma das Unidades de Conservação (BRASIL, 2000).

A BHRIS possui, aproximadamente, 428.593 km² (58,5%) de seu território pertencente a Unidades de Conservação (UCs) (BRASIL, 2000), segmentadas em uma Reserva Biológica, dois Parques Municipais, e nove Áreas de Proteção Ambiental (APAs) (Figura 10).

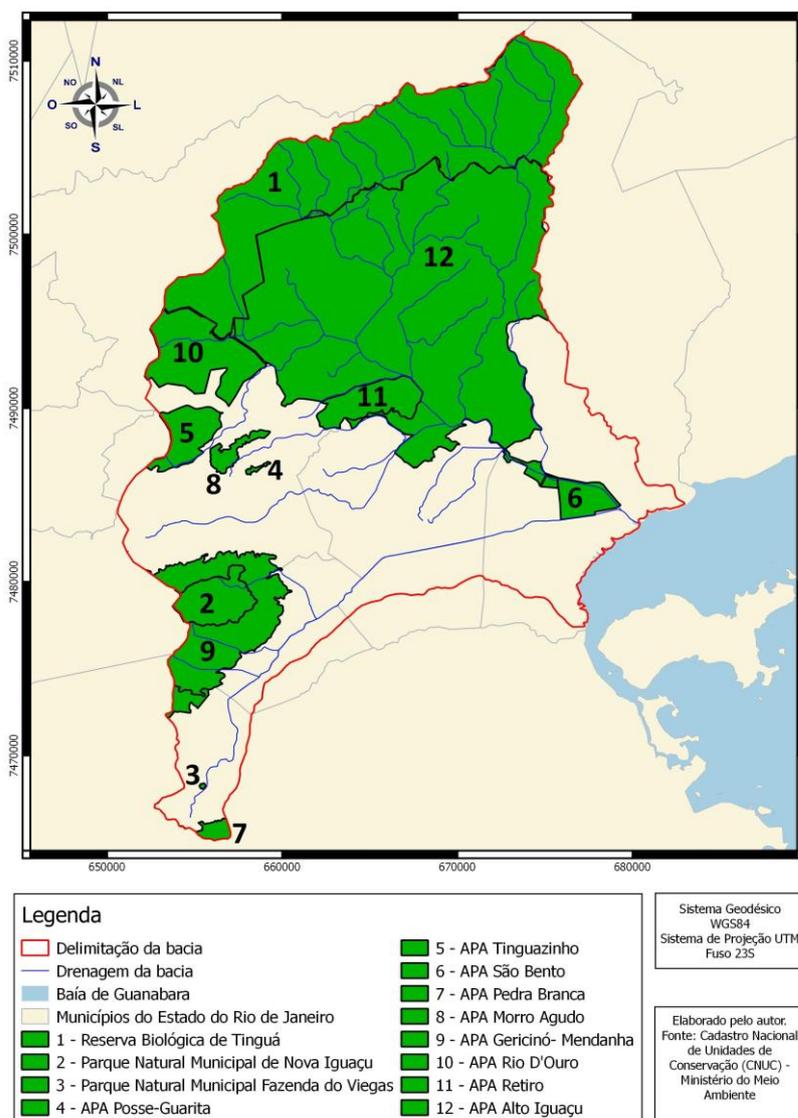


Figura 10 - Unidades de Conservação presentes na Bacia Hidrográfica dos rios Iguazu-Sarapuá (RJ).

A Reserva Biológica de Tinguá localizada ao norte da bacia hidrográfica é administrada pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) possuindo uma área de 26.260 hectares, criada a partir do decreto de nº 97.780 de 23 de maio de 1989. Com exceção da Reserva Biológica, e os dois Parques Municipais, as dez Áreas de Proteção Ambiental são administrados pelo governo estadual.

Por fim, outra unidade morfológica bastante presente na bacia são as planícies fluviais. Essas por sua vez, abrangem áreas de terrenos planos, próximos ao nível do mar. A drenagem que se instalou na área se caracterizava como meandrante, porém, após intervenções históricas, alguns rios como o Iguaçu, Sarapuí, Tinguá, Botas, Água Preta e Capivari, tiveram seus cursos modificados, canalizados e retificados, em alguns trechos, a fim de facilitar o escoamento de suas águas. No entanto, é comum a ocorrência de enchentes na área, pois esses rios têm seu regime intimamente ligado às chuvas nas Escarpas da Serra do Mar, onde apresentam regime torrencial, e também à oscilação das marés (GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 1996).

3.3 A evolução socioambiental da Bacia Hidrográfica do rio Iguaçu-Sarapuí

A área entre as escarpas da Serra do Mar e o litoral do estado do Rio de Janeiro apresenta características topográficas que possibilitaram o escoamento da produção, uma melhor comunicação e, de certo modo, permitiu uma maior alocação de pessoas na emergente metrópole carioca. A heterogeneidade na morfologia da Baixada da Guanabara, cujo arranjo da paisagem vem orientando a ocupação da região, teve suma importância no processo de ocupação desde os primórdios da colonização.

Localizado nessa posição estratégica: entre Serra do Mar e a cidade do Rio de Janeiro, a área de drenagem da bacia do rio Iguaçu-Sarapuí era uma passagem obrigatória para quem queria entrar e sair da capital, que devido ao seu extraordinário crescimento no século XX, demandou mais áreas para a sua expansão. Foram essas baixadas próximas que foram transformadas e utilizadas, porém, essa investida intensa da vida urbana pelo recôncavo vem-se fazendo sem planejamento, sem continuidade, deixando para trás espaços vazios que só aos poucos vão sendo preenchidos (SOARES, 1962). No decorrer do século XIX, o plantio do café que se estabeleceu no Vale do Paraíba contribuiu para a construção de estradas, como a Estrada do Comércio, que ligava a região até o porto de Iguaçu². A partir daí o café seguia de barca até o porto do Rio de Janeiro. A navegação fluvial adentrava nos rios da baixada de forma intensa. O rio Iguaçu chegava a receber embarcações de 10 a 40 toneladas (LUCCOCK, 1975).

De acordo com Meis (1976), na época, eram necessários constantes trabalhos de dragagem e desobstrução dos leitos dos rios para que os mesmos se mantivessem navegáveis em prol das embarcações de café que por ali passavam. Essas dragagens já seriam reflexo do intenso e extenso processo de desmatamento que a área de drenagem da bacia já atravessava (AMADOR, 2012).

² Fundado no século XVII, o porto de Iguaçu se localizava no início da Estrada Real do Comércio. Era o porto fluvial de Piedade do Iguaçu, onde a produção agrícola da região e o ouro de Minas Gerais e Goiás eram embarcados em barcas ou chalanas. As ruínas do porto atualmente estão dentro das terras de uma fazenda, no sítio arqueológico do Iguaçu Velho, próximo a torre sineira da igreja matriz de Nossa Senhora da Piedade (SOARES, 1962).

Em 1840 foi criada uma linha de navegação que ligava o Porto de Estrela (Rio Inhomirim) ao Rio de Janeiro. Esse tráfego fluvial contribuiu para o surgimento das primeiras vilas comerciais nas margens de importantes rios da Baixada Fluminense, tais como o Rio Iguaçu. Entretanto, nenhuma dessas vilas assumiu funções urbanas, pois, a proximidade com a capital da metrópole, a cidade do Rio de Janeiro, e a facilidade de transporte através do transporte fluvial abortava a necessidade da existência de outras cidades.

Alguns fatores decretaram a recessão dessas vilas comerciais na segunda metade do século, entre eles, a abolição da escravatura e a construção de estradas de ferro. No primeiro caso, especificamente, os escravos eram os responsáveis pela mão de obra na drenagem dos rios da baixada, e com a Abolição do Tráfico Negro e a Lei do Ventre Livre não tinha mais quem fizesse esse trabalho. Porém, o grande fator que estagnou as vilas comerciais e as navegações nos rios da área de drenagem da bacia foi a construção das estradas de ferro. Na virada do século XVIII para o século XIX, após a criação das estradas de ferro, as vilas comerciais localizadas nos pontos de junção dos rios da baixada, entre elas a vila de Iguaçu, passaram por um declínio demográfico e as áreas próximas aos rios da bacia do Iguaçu-Sarapuí começaram a apresentar alguns reflexos disso. De acordo com Amador (2012, p. 160),

os rios da baixada outrora francamente navegáveis, sofrendo os reflexos do extenso desmatamento que fizera recuar a Mata Atlântica para alguns grotões ou pontos inacessíveis, assoreavam-se rapidamente e permitiam o restabelecimento das várzeas e dos brejos que tinham sido dissecados pelos ciclos agrícolas. (AMADOR, 2012, p. 160).

A abolição dos escravos, causando a falência de muitas fazendas e engenhos, a substituição no tipo de transporte, com a opção pelas ferrovias e a maior proximidade onde fora construída em 1858 a Estrada de Ferro D. Pedro II, fizeram com que a população da vila de Iguaçu se mudasse para o Engenho da Maxambomba³.

A construção da estação de trem em Maxambomba (caminho obrigatório para quem ia ou vinha da Serra do Mar, um dos últimos pontos habitados) vai ser o marco fundador do atual núcleo urbano dessa cidade, pois possibilitou a convergência da produção agrícola da região para esta localidade para o seu embarque no trem rumo a corte (SOARES, 1962).

Com a passagem da linha férrea nessas áreas, que serviria para ligá-las até a cidade do Rio de Janeiro, as mesmas começaram a ser valorizadas pelo governo que iniciou um processo de drenagem, dragagem e canalização de rios. Segundo Amador (2012, p. 161), tal procedimento visava o “saneamento da baixada, com a recuperação de terras para os grandes proprietários”, que representavam grandes empresários que adquiriam as terras a preços baixos e as transformavam em chácaras e sítios destinados ao cultivo da laranja.

O período da citricultura⁴ foi beneficiado pelo clima quente da baixada, com o seu relevo de colinas e morros, permitindo boa insolação e escoamento fácil das águas. Além disso, a proximidade de um grande porto (porto do Iguaçu, localizado no rio Iguaçu) frequentado por navios de todas as nacionalidades, aos quais os vários municípios da baixada

³ O antigo Engenho Maxambomba, em Nova Iguaçu, derivou seu nome do mecanismo sobre trilhos usado para carregar as embarcações que desciam o Rio Apeterei (mais tarde, Rio Maxambomba) em direção ao Rio de Janeiro. Em 1858, com a inauguração da Estrada de Ferro Dom Pedro II ligando a capital do Império a São Paulo e Minas Gerais, a estação localizada no atual município de Nova Iguaçu foi batizada como Maxambomba. (SOARES, 1962).

⁴ O auge da citricultura em Nova Iguaçu foi dos anos 30 a 1956. De 1930 a 1940, a cidade de Nova Iguaçu era chamada de “Cidade Perfume”, porque as laranjeiras, em floração, perfumavam todo o roteiro das ferrovias (ROCHA *et al.*, 2013).

estavam ligados por transporte ferroviário, possibilitou, assim, a expansão da cultura da laranja na baixada da Guanabara, sobretudo no município de Nova Iguaçu.

Mesmo com o aumento da população rural e a prosperidade gerada pela citricultura, não chegou, porém, a assumir importância como centro urbano. A razão dessa frustração foi a excessiva proximidade de uma grande cidade – o Rio de Janeiro. No passado, essa vizinhança limitara as funções da velha Iguaçu e outros centros da Baixada da Guanabara, mantendo-os como simples entrepostos avançados da metrópole. E, como no comércio do café, no passado, a laranja traria as maiores vantagens para a própria metrópole, através do movimento de seu porto, do lucro de seus bancos e da riqueza dos exportadores (SOARES, 1962).

Rodrigues (2006) relata que a crise na produção de laranja foi devida aos altos custos de transporte e baixos investimentos em tecnologias para exportação o que acabou gerando a proliferação de pragas como a "mosca do Mediterrâneo" que destruía a produção. Com a crise econômica de 1930, a produção de laranja perdeu mercado externo e as áreas de cultivo começaram a ser abandonadas e, posteriormente, loteadas.

Após o início da industrialização, a cidade do Rio de Janeiro começa a sofrer um grande crescimento populacional. O governo federal estimula as migrações advindas de outras regiões brasileiras (principalmente o Nordeste) com o intuito de formar um grande estoque de mão de obra barata. Esse contingente é dirigido para os subúrbios da capital e para a região da Baixada Fluminense formando assim os primeiros bairros proletários. Segundo Amador (2012), embora tenham ajudado no enriquecimento da capital, a população residente na Baixada não recebiam os serviços públicos básicos como rede de água e esgoto e coleta de lixo. Os municípios de Nilópolis, São João de Meriti e Nova Iguaçu (todos localizados na área da bacia do rio Iguaçu-Sarapuí) foram os primeiros a terem seus territórios loteados e transformados em bairros proletários (AMADOR, 2012).

A princípio, as áreas ocupadas se reservavam a topografias mais elevadas como colinas e tabuleiros. Outras porções com a presença de manguezais, brejos e vales, como no município de São João de Meriti, só passariam a ser intensamente ocupadas após as obras de drenagem. Amador (2012) aponta que as primeiras obras de drenagem e dragagem da Baixada ocorreram no período 1894-1900 através da Comissão de Estudos e Saneamento da Baixada.

Posteriormente, no período de 1910 a 1916, a *Comissão Federal de Saneamento e Desobstrução dos Rios que Desaguam na Baía de Guanabara* realizou grandes obras que interferiram diretamente na drenagem dos principais canais da bacia do rio Iguaçu-Sarapuí. Essa comissão contratou uma empresa alemã que ganhou o nome de *Empresa de Melhoramentos da Baixada Fluminense* para a execução das obras. Segundo Amador (2012, p. 164) as principais modificações na área da bacia do rio Iguaçu-Sarapuí foram:

Rio Iguaçu – retificação, canalização e dragagem numa extensão de 2.750 metros. Limpeza na bacia, numa extensão de 12 km.
[...] Rio Sarapuí – Retificação do seu curso, até a Ponte da Estrada de Ferro Leopoldina. Abertura de um canal de ligação com a parte inferior do curso do Rio Iguaçu, que serviria como um grande dreno, cortando os pântanos existentes entre os dois rios. (AMADOR, 2012, p. 164).

O rio Sarapuí, especificamente, passou a ter sua bacia interligada com a bacia do rio Iguaçu, formando assim a hoje denominada Bacia Hidrográfica do Iguaçu-Sarapuí (Figura 11). Essa retificação dos canais visava, principalmente, ampliar as terras para os grandes proprietários. Os rios Iguaçu e Sarapuí, antes meândricos, ricos em manguezais e espécies

biológicas se tornaram grandes valas a céu aberto, retificadas e sem vida, além de acentuar o processo de assoreamento no leito dos canais. Amador (2012, p. 165) destaca o efeito de inutilidade dessas obras:

O assoreamento da baía da Guanabara passou a ser elevado, tornando-a cada vez mais rasa, e tenderia a se acentuar com a ocupação da Baixada e a continuidade das obras pelo DNOS (Departamento Nacional de Obras e Saneamento) a partir da década de 1930 (AMADOR, 2012, p. 165).

Em uma área de relevo rebaixado, já disposto naturalmente à ocorrência de inundações periódicas, tais intervenções serviram apenas para intensificar tal processo, submetendo a população que reside nessas áreas a conviver com inundações crônicas e recorrentes. Soma-se a isso a falta de serviços públicos de saneamento, coleta de lixo, transporte público, entre outros, que assolam um grande adensamento populacional da Região Metropolitana do Rio de Janeiro que ali resiste.



Figura 11 – Encontro das águas dos rios Iguaçu e Sarapuí, após obras de intervenção no baixo curso dos canais.

Fonte: Adaptado de website: Biologo.com.br – Mário Moscatelli. Acesso: 20 out. 2017.

A partir da década de 1930 as intervenções tiveram continuidade, agora sob a tutela do Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS). Além das retificações, os canais tiveram seus leitos alargados e aprofundados e as margens delimitadas por diques (AMADOR, 2012). Além de serem altamente alterados, os canais perderam a sua planície de inundação, agora ocupadas por bairros inteiros, o que resultou também no aumento da carga de sedimentos que eram transportados para a Baía da Guanabara. Segundo Amador (2012),

Antes das intervenções, os rios, via de regra, transportavam para a baía apenas cargas de suspensão e em pequenas quantidades, que ainda assim ficavam retidas nos manguezais. Após as retificações passaram a aumentar consideravelmente as cargas de suspensão e a transportarem também cargas de tração e de saltação, aumentando assim o assoreamento da baía. (AMADOR, 2012, p. 193)

Um outro agravante foram os constantes vazadouros de lixos alocados sobre áreas de manguezais. Na área da bacia do rio Iguaçú-Sarapuí, de 1978 a 2012, funcionou o Aterro Sanitário de Jardim Gramacho (conhecido como *Lixão de Gramacho*), em Duque de Caxias, que ocupava uma área de 1,3 milhão de metros (Figura 12). O espaço funcionou como “lixeira” da capital do Estado até junho de 2012, quando as atividades foram encerradas, embora ainda haja relatos que o lixo continua sendo despejado na região⁵.



Figura 12 – Localização do antigo Aterro Sanitário de Gramacho próximo a áreas de manguezais e a foz da BHRIS.

Fonte: Adaptado de Google Earth

E não apenas os manguezais próximos à foz dos rios Iguaçú e Sarapuí foram devastados, mas também em áreas mais a montante dos canais. Segundo Amador (2012), uma vasta extensão de manguezais, próximas ao rio Iguaçú que adentrava diversos quilômetros para o interior, foram extintas por terraplanagens e aterros realizados pela Petrobras, com o intuito de implantar a Refinaria Duque de Caxias, a REDUC, em 1961.

Os manguezais que restaram, localizados no litoral de Duque de Caxias, sofrem impactos diretos pela poluição advinda da refinaria que, de acordo com Amador (2012), se caracteriza como a principal poluidora das águas naquele local. A área de estudo está localizada em sua grande parte na Baixada Fluminense, que possui uma população total de 3.651,771 habitantes (IBGE, 2010). A população total dos municípios que ocupam integralmente ou parcialmente a bacia de drenagem (Belford Roxo, Duque de Caxias, Nilópolis, Mesquita, Nova Iguaçu, Rio de Janeiro e São João de Meriti), segundo o Censo 2010 do IBGE, totaliza 9.225.557 habitantes (IBGE, 2010) (Quadro 2).

⁵ Reportagem do website “Restoeco” relata que ainda há aproximadamente cem depósitos clandestinos nas proximidades do antigo aterro em Gramacho. Em maioria sendo detritos vindos de grandes geradores, como supermercados, lojas e empresas de construção civil. Disponível em: <http://www.restoeco.com.br/mesmo-apos-desativacao-do-aterro-de-gramacho-depositos-clandestinos-continuam-recebendo-lixo/> Acessado em 29 de outubro de 2017.

Quadro 2 - População, área total e área inserida dos municípios na bacia dos rios Iguaçu-Sarapuí

Municípios	População Municipal ¹			Área total (km ²) ²	Área na bacia (km ²)	Área do município dentro da bacia (%)
	Urbana	Rural	Total			
Belford Roxo	469.332	-	469.332	78,985	77,80	10,7
Duque de Caxias	852.138	2.910	855.048	467,620	291,37	39,7
Nilópolis	157.425	-	157.425	19,393	8,05	1,1
Mesquita	168.376	-	168.376	41,471	39,04	5,4
Nova Iguaçu	787.563	8.694	796.257	517,995	263,64	36,0
Rio de Janeiro	6.320.446	-	6.320.446	1.200,177	34,47	4,7
São João de Meriti	458.673	-	458.673	35,216	17,37	2,4
Total	9.213.953	11.604	9.225.557	2.360.857	732,47	100,0

Fontes: 1- Censo Demográfico do IBGE (IBGE, 2010). 2- Divisão territorial de 2016;

Segundo Britto e Bessa (2008), investimentos históricos realizados na região por diferentes governos estaduais chegam a somar, desde a década de 80, mais de 3 bilhões de reais sem, no entanto, assegurar efetivamente o acesso universal ao saneamento ambiental, à habitação e a um ambiente com mais qualidade à população. Explicações para isso têm relação com:

- (i) a falta de um diagnóstico profundo sobre a dimensão do problema na região, orientando corretamente o perfil de intervenção;
- (ii) a descontinuidade e desintegração entre programas e projetos implementados ao longo desses anos na região. Cada novo programa elaborado e apoiado com financiamento por agências multilaterais não parte de um diagnóstico claro do que efetivamente existe de rede de serviços;
- (iii) as disputas políticas da região, por muitas vezes descaracterizam os projetos;
- (iv) falta de controle social, pois embora exista este componente em vários destes projetos, o seu formato não tem permitido a participação efetiva da população;
- (v) a falta de capacitação institucional, aliada à cultura centralizadora dos governos estaduais em relação à gestão do saneamento;
- (vi) a forte cultura clientelística nas gestões municipais;
- (vii) a crescente desmobilização de movimentos organizados, os quais necessitam de formação de novos quadros para acompanhamento crítico da implementação de políticas.

O crescimento da região, principalmente ao longo do século XX, foi desordenado e acompanhado pela falta de infraestrutura básica como esgoto, pavimentação e água tratada, além da carência de serviços públicos essenciais como saúde, segurança e educação. A Baixada Fluminense ficou conhecida pela precariedade de condições de vida de significativa

parte de sua população com grande incidência de pobreza e violência que assola diversos pontos da região.

Quando nos deparamos atualmente com as paisagens encontradas na região, fica evidente que a heterogeneidade na composição da mesma vem guiando o intenso e desordenado processo de evolução urbana. É perceptível que esse processo possui raízes históricas seguindo uma lógica norteadas por interesses de classes dominantes, sem considerar os impactos que afetaram e afetam o ambiente físico local.

3.4 Contextualização da Metodologia

A proposta é mapear e analisar a heterogeneidade e as mudanças da paisagem da Bacia Hidrográfica dos Rios Iguçu-Sarapuí (RJ) ao longo de uma série temporal com intervalos mínimos de 10 anos e sua influência nos processos hidrogeomorfológicos a partir de dados de cobertura e uso da terra e do total de áreas impermeabilizadas, obtidos através de sensores remotos e de técnicas de geoprocessamento em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG)⁶. Ao analisar a heterogeneidade da paisagem de forma integrada às transformações antrópicas e aos processos hidrogeomorfológicos associados às transformações da superfície urbana será possível identificar as relações com a presença de áreas suscetíveis à inundação, baseadas em mapeamento já existente, executado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), no contexto do projeto Programa de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais, incluído no Plano Plurianual 2012-2015 do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (CPRM, 2015).

Para uma melhor compreensão dos dados e métodos utilizados e resultados esperados, segue um fluxograma (Figura 13), com todas as etapas descritas nesse capítulo de metodologia.

⁶ “Conjunto de ferramentas especializadas em adquirir, armazenar, recuperar, transformar e emitir informações espaciais (...) que descrevem objetos do mundo real em termos de posicionamento, com relação a um sistema de coordenadas, seus atributos não aparentes (como a cor, pH, custo, incidência de pragas, etc) e das relações topológicas existentes” (CÂMARA e ORTIZ, 1998)

METODOLOGIA

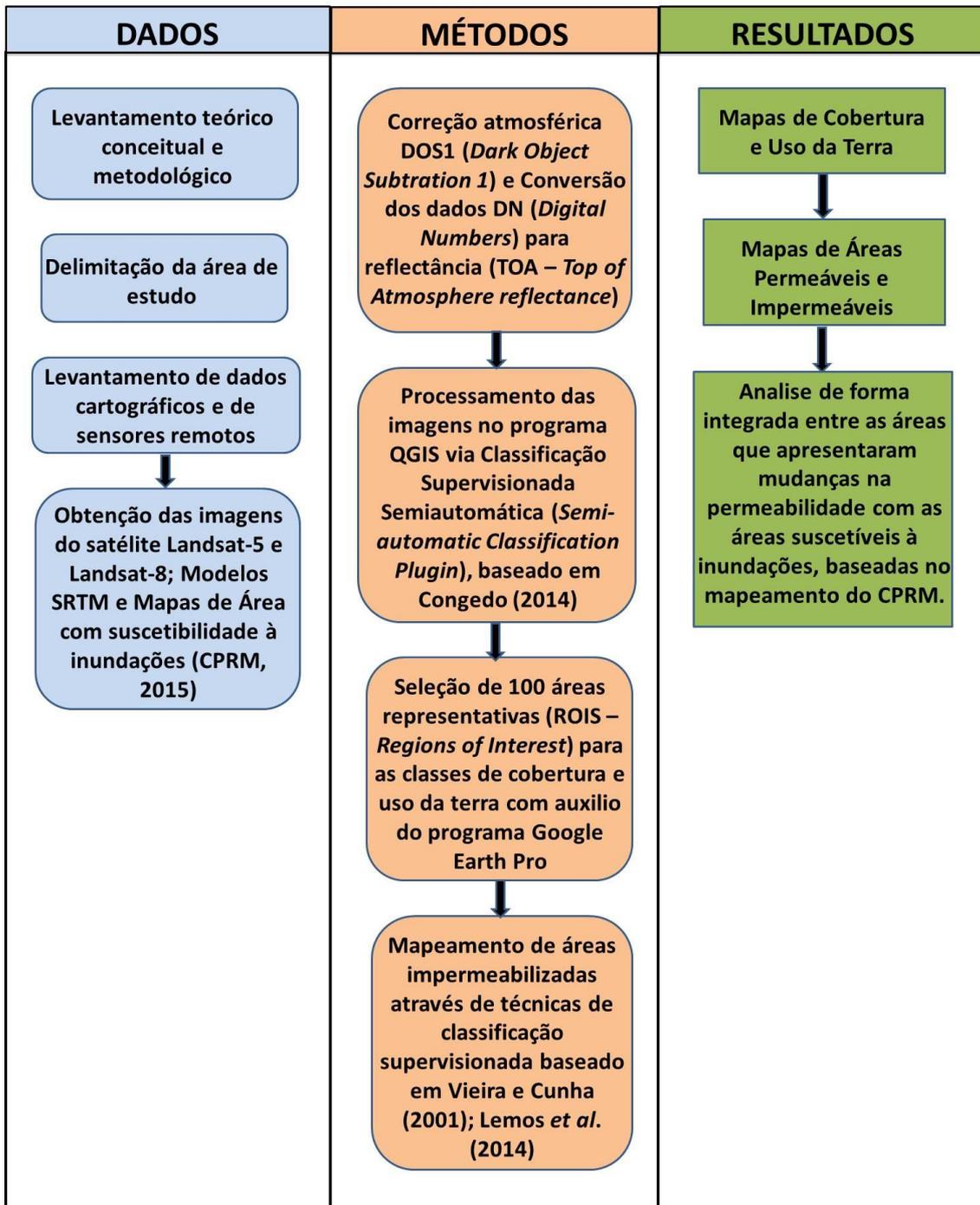


Figura 13 – Fluxograma com a esquematização das etapas da pesquisa

3.5 Levantamento de dados cartográficos e de sensores remotos

Foram utilizados dados de sensores remotos do programa *Landsat (Land Remote Sensing Satellite)*, Landsat-5 e Landsat-8, gerados e disponibilizados gratuitamente pela *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*, em parceria com a *United States Geological Survey (USGS)*, na página *Earth Explorer (USGS)*. Os dois sensores remotos possuem resolução espacial de 30 metros e são recomendados para uso até a escala 1:50.000 (USGS, 2016).

Para a extração de informações do relevo em ambientes Sistemas de Informação Geográfica (SIG) foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) disponibilizado pelo Projeto TOPODATA (INPE – Instituto de Pesquisas Espaciais), gerado através de processamentos digitais do MDE do SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*).

Segundo Valeriano (2008, p. 21), Modelos Digitais de Elevação (MDE) “são arquivos que contêm registros altimétricos estruturados em linhas e colunas georreferenciadas, como uma imagem com um valor de elevação em cada pixel”. O projeto TOPODATA oferece o Modelo Digital de Elevação (MDE) e suas derivações locais básicas para todo o território nacional. Seus produtos são derivados do processo de refinamento das imagens SRTM que transforma sua resolução espacial original, de ~90m para ~30m utilizando o método de krigagem, além de diversas análises geomorfométricas (BRASIL, 2008). De acordo com Miceli *et al.* (2011), a escala de utilização recomendada varia, em função do tipo de aplicação e de suas exigências, de 1:100.000 a 1:250.000.

Os arquivos vetoriais em formato *shapefile*, referente a delimitação da bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí (RJ) foram disponibilizados pelo Laboratório de Recursos Hídricos e Meio Ambiente (LABH2O) vinculado ao Programa de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio de Janeiro (<http://www.hidro.ufrj.br/>). Os arquivos utilizados como polígono envolvente como máscara, referente aos limites dos municípios do estado do Rio de Janeiro, foram disponibilizados através do banco de dados do IBGE. Todos os arquivos vetoriais utilizados foram georreferenciados na projeção UTM, sistema geodésico WGS84 com escala 1:25.000.

3.5.1 O sensor Landsat

O Programa LANDSAT (*Land Remote Sensing Satellite*) representa uma série de oito satélites que foram desenvolvidos e lançados pela *National Aeronautics and Space Administration (NASA)* em parceria com a *United States Geological Survey (USGS)*. Seu início se deu em 23 de julho de 1972 com o lançamento do satélite *Landsat 1* e atualmente o programa encontra-se com seu oitavo satélite em órbita, este lançado no ano de 2013 (USGS, 2016).

Esse programa se caracterizou a partir da década de 1970 como um marco do uso de sensoriamento remoto nas pesquisas de recursos naturais, pois permitia ao usuário a obtenção constante de dados da superfície terrestre. Segundo Novo (2010, p. 160),

A missão do Programa Landsat foi proporcionar a aquisição repetitiva de dados multiespectrais calibrados, com resolução espacial relativamente alta, se comparada a dos satélites para aplicações meteorológicas e oceanográficas, de modo global, para permitir comparações do estado da superfície terrestre ao longo do tempo. (NOVO, 2010, p. 160).

O sistema *Landsat* possui dois subsistemas: o subsistema Satélite e o subsistema Segmento Solo. O subsistema Satélite tem como principal objetivo adquirir os dados através de seus sensores, transformar esses dados para que se tornem passíveis de transmissão, garantir energia necessária para todas essas operações e para a manutenção da vida útil do próprio satélite e realizar a comunicação com a estação terrestre.

O subsistema Segmento Solo, por sua vez, tem a função de oferecer suporte a operação do satélite, ativando o processo de recepção e gravação dos dados, onde os mesmos são processados e arquivados, tornando-se assim, utilizáveis para extração de informações de inúmeros interesses por pesquisadores em diversas partes do mundo.

O quadro 3 apresenta as informações sobre os satélites utilizados durante a pesquisa: Landsat-5 e Landsat-8. Todas as imagens foram geradas pela NASA/USGS, como já observado, disponibilizadas gratuitamente na página *Earth Explorer* (USGS). Todas as cenas adquiridas são da órbita-ponto 217-76, que abrange a Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Quadro 3 - Informações sobre as imagens do satélite Landsat utilizadas na pesquisa.

SATÉLITE	LANDSAT-5	LANDSAT-5	LANDSAT-5	LANDSAT-8
Data da passagem do satélite na área	05/08/1985	11/04/1995	09/06/2005	18/02/2017
Órbita-ponto	217-76	217-76	217-76	217-76
Nº de Bandas	6 bandas multiespectrais; 1 banda termal.	6 bandas multiespectrais; 1 banda termal.	6 bandas multiespectrais; 1 banda termal.	1 banda Pancromática; 8 bandas Multiespectrais; 2 bandas Termais
Resolução espacial	30 metros (Bandas Multiespectrais) 120 metros (Banda Termal)	30 metros (Bandas Multiespectrais) 120 metros (Banda Termal)	30 metros (Bandas Multiespectrais) 120 metros (Banda Termal)	30 metros (Bandas Multiespectrais) 100 metros (Banda Termal) 15 metros (Banda Pancromática)
Área de abrangência no solo	185 x 185 km			

Fonte: Informações obtidas em <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em 03 de novembro de 2016.

3.6 Programas utilizados

3.6.1 QGIS

O QGIS é um programa de código aberto (*open source*) e de qualidade, multiplataforma de Sistema de Informações Geográficas (SIG) que provê visualização, edição e análise de dados georreferenciados. Desenvolvido pelo programador Gary Sherman em 2002, o QGIS tornou-se um projeto oficial da *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo) em 2007 e pode ser utilizado em Linux, Unix, Mac OSX, Windows e Android.

O programa é disponibilizado gratuitamente através do sítio: <http://www.qgis.org/en/site/> e mantido por um grupo de desenvolvedores voluntários que regularmente lançam atualizações e um crescente número de recursos fornecidos por funções básicas e “plugins”, além da elaboração de traduções em 48 línguas. O QGIS é licenciado sob a Licença Pública Geral GNU.

Equivalente a outros softwares SIG, o QGIS oferece ao usuário a possibilidade de criar mapas com diversas utilidades usando diferentes projeções cartográficas, além de ser capaz de georreferenciar imagens. A composição de mapas é feita a partir de camadas raster e/ou vetoriais. Os dados podem ser armazenados como pontos, linhas, ou polígonos. Na presente pesquisa foi utilizada a versão 2.18.13.

3.6.2 Extensão para Classificação Supervisionada Semi-Automática para QGIS

A extensão para Classificação Supervisionada Semi-Automática (*Semi-Automatic Classification Plugin*) é uma extensão para QGIS que permite a classificação de imagens de sensores remotos. Além disso, ele oferece várias ferramentas para o pré-processamento de imagens, o pós-processamento de classificações e o cálculo *raster*. Esta extensão foi desenvolvida em 2013, por Luca Congedo, pesquisador da Sapienza Università di Roma.

Além do recurso de classificação de imagens, a extensão também permite a rápida criação de Regiões de Interesse (ROIs), que servirão como amostras para o processamento da classificação, além de, pesquisar e baixar imagens *Landsat* e *Sentinel*. Os algoritmos de classificação disponíveis são: distância mínima, máxima verossimilhança e mapeamento de ângulo espectral. As ferramentas de pós-processamento incluem: precisão de avaliação, a mudança de cobertura e uso da terra, relatório de classificação, índice *kappa*, classificação para vetor e reclassificação dos valores de *raster*. Além disso, uma ferramenta permite o cálculo *raster*. A versão utilizada na presente pesquisa foi a 5.3.6.1, disponibilizada gratuitamente através da aba de extensões do programa QGIS.

3.6.3 Google Earth Pro e outros programas utilizados

O *Google Earth Pro* é uma versão ampliada do *Google Earth*. Além de oferecer imagens de satélite, mapas detalhados, terrenos e modelos 3D, a versão profissional do programa é particularmente conveniente para projetos e pesquisas, pois, diferentemente da versão comum, a versão permite que os usuários salvem imagens em uma resolução de até 4800x3200 pixels, porém, é preciso atenção, pois, a resolução espacial dessas imagens baixadas é desconhecida, portanto, a utilização deste software foi destinada apenas para a retirada de dúvidas pontuais e análises comparativas de áreas.

Outros programas utilizados no desenvolvimento da pesquisa foram programas de edição de texto como Word, planilhas eletrônicas como Excel, ambos do pacote de ferramentas fornecidas pela empresa *Microsoft*.

3.7 Mapeamento de cobertura e uso da terra

Os estudos relacionados à cobertura e uso da terra trazem muitas contribuições em prol das análises e avaliações dos impactos ambientais, tais como desmatamentos ou, ainda, os inúmeros impactos gerados pelos altos índices de urbanização.

Segundo Alves (2011), as discussões quanto à definição de uma tipologia de cobertura e uso da terra vêm sendo feitas desde os anos 1960, onde ‘cobertura da terra’ é definida como vegetação e coberturas artificiais que revestem a terra, e o ‘uso’ como a atividade desenvolvida pelo homem na terra e a qual se acha diretamente relacionada a ela. Em geral, as definições sobre o uso da terra estão ligadas às atividades realizadas pelo homem, ou seja, “a atividade do homem que se acha diretamente relacionada à terra” (ANDERSON *et al.*, 1979). Já a cobertura da terra está ligada “aos elementos da natureza como a vegetação, água, gelo, rocha nua, areia e superfícies similares, além das construções artificiais criadas pelo homem, que recobrem a superfície da terra” (ANDERSON *et al.*, 1979).

No Brasil, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) segue as recomendações e conceitos básicos consagrados pela *Food and Agriculture Organization of the United Nation* – FAO onde, no mapeamento dos atributos da terra é preciso que sejam compreendidos e definidos os termos Terra, Uso da Terra e Cobertura da Terra (FAO, 1976). Assim, o uso da nomenclatura cobertura e uso da terra visa unificar os conceitos e assegurar a compatibilidade dos resultados, inclusive com os de outros países que promovem pesquisas semelhantes (IBGE, 2006).

A definição utilizada pelo IBGE para "cobertura da terra", diz respeito àquelas áreas onde predominam as características naturais ou construídas podendo ser determinada por observação direta (campo ou sensoriamento remoto). Quanto à definição de "uso da terra", o IBGE considera as áreas sob utilização econômica, realizadas pelo homem (na superfície terrestre) que tem como objetivo obter algum produto ou benefício, entendidas assim, como uma representação sintética de um conjunto de atividades econômicas com expressão espacial que, de alguma forma, interagem nesse espaço, devendo refletir a maior significância espacial de um determinado tipo de uso (IBGE, 2006). Os termos cobertura e uso podem manter uma relação complexa entre si. Por exemplo, a cobertura pode ter muitos usos, como cobertura de gramínea: parques urbanos, pasto etc. E, conseqüentemente, o uso da terra pode ter várias coberturas, como uso agrícola: área preparada, colhida, plantada etc.

O mapeamento da cobertura e uso da terra é de grande importância, na medida em que os efeitos do uso desordenado podem causar a deterioração do ambiente. Segundo Monteiro (2008), esse instrumento de análise espacial faz a ligação entre o meio físico e o sócioeconômico, sendo indispensável em estudos ambientais, na tomada de decisão em ordenamento e planejamento do território, e na definição de políticas de gestão de recursos naturais.

Na literatura da geomorfologia, em especial da geomorfologia urbana, é notória a consideração quanto à cobertura e uso da terra na configuração das propriedades hidrogeomorfológicas. Tucci (2013, p. 393) afirma que “o uso da terra, principalmente nas cidades, torna a superfície mais impermeável aumentando o escoamento superficial e os picos de vazão, influenciando o comportamento da curva original do hidrograma de vazão.” No caso específico da interferência na curva original do hidrograma de vazão, isto ocorre devido “ao aumento da vazão máxima, a antecipação do tempo de pico e o aumento do volume do escoamento superficial em zonas urbanas” (POLETO, 2014, p. 35).

O mapeamento da cobertura e uso da terra foi executado a partir da utilização de dados de imagens extraídas de satélites orbitais em períodos distintos. Essas imagens foram processadas na extensão para classificação supervisionada semi-automática (*Semi-Automatic Classification Plugin*), incorporada no programa de código aberto QGIS.

3.7.1 Classificação supervisionada de dados de sensores remotos

Um dos trabalhos mais realizados atualmente com o uso de SIGs que extraem as informações das imagens digitais fazendo uma análise quantitativa das mesmas, onde se atribui a cada pixel um significado em função de suas propriedades numéricas são as denominadas classificações. Segundo Novo (2010) as técnicas de classificação visam, antes de tudo, atribuir a cada pixel um rótulo em função de suas propriedades espectrais e/ou espaciais.

Optou-se como método nesse trabalho a realização de uma classificação supervisionada. De acordo com Novo (2010, p. 316),

A classificação supervisionada repousa em um conhecimento prévio do analista sobre a localização espacial de algumas amostras das classes de interesse. Independentemente da técnica adotada, a classificação supervisionada se baseia no pressuposto de que cada classe espectral pode ser descrita a partir de amostras fornecidas pelo analista. (NOVO, 2010, p. 316).

As cenas dos sensores *Thematic Mapper (TM)*, *Operational Land Imager (OLI)* e *Thermal Infrared Sensor (TIRS)* a bordo dos satélites *Landsat-5* e *Landsat-8*, respectivamente, dispensam a etapa de georreferenciamento, pois as mesmas já são disponibilizadas na página *Earth Explorer (USGS)* ortorretificadas. As imagens dos dois satélites foram processadas na extensão para classificação supervisionada semi-automática (*Semi-Automatic Classification Plugin*). Para um melhor aperfeiçoamento das quatro análises, correspondentes aos anos de 1985, 1995, 2005 e 2017, a estratégia metodológica adotada seguiu uma determinada paridade em todos os procedimentos.

O pré-processamento dos dados envolveu inicialmente a conversão desses dados de DN (*Digital Numbers*) para reflectância (*TOA - Top of Atmosphere reflectance*) e temperatura de brilho (*At-Satellite Brightness Temperature*). O método de correção atmosférica aplicado foi o *DOS1 (Dark Objetc Subtration 1)*.

Após a conversão e aplicação do método de correção atmosférica foram criados dois arquivos no formato *raster* virtual de composição RGB – cores verdadeiras (com as bandas 3, 2 e 1 para as imagens dos satélites *Landsat-5* e com as bandas 4,3 e 2 para a imagem do satélite *Landsat-8*) e falsas cores infravermelhas (com as bandas 4,3 e 2 para as imagens dos satélites *Landsat-5* e com as bandas 5,4 e 3 para a imagem do satélite *Landsat-8*).

Com o objetivo de otimizar os processos futuros e destacar a área de estudo foi feito um recorte em todos os arquivos de imagens, de forma a selecionar apenas a área de interesse através de um polígono envolvente como máscara, referente a delimitação da Bacia Hidrográfica dos Rios Iguçu-Sarapuí (RJ).

A etapa seguinte, de processamento da classificação, consistiu em definir categorias de interesse por meio da seleção de pontos amostrais. Para cada cena foi realizada a seleção de 100 áreas representativas para as classes, designadas como *ROIs - Regions Of Interest*, para a determinação de padrões de comportamento dos *pixels* para cada classe para que o sistema realizasse a busca destes padrões em toda a imagem.

Com base no Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2006) e em observações realizadas previamente em trabalhos de campo na área de estudo foram definidas as seguintes classes de cobertura e uso da terra:

- 1- Vegetação densa
- 2- Áreas Construídas
- 3- Pastagens e/ou Campos Abertos
- 4- Corpos Hídricos
- 5- Manguezais
- 6- Solo exposto

Também serviram no auxílio para reconhecimento e diferenciação das classes representativas trabalhos de campo, realizados previamente para o ano de 2017. Somando-se a esses fatores, para um melhor aprimoramento das classificações de anos anteriores (1985, 1995 e 2005) foram utilizadas (apenas com caráter consultório) imagens de satélites históricas disponibilizadas pelo programa Google Earth Pro.

Como algoritmo de classificação foi adotado o método MAXVER, para o qual o valor do limiar deve ser no mínimo 100 pixels. Finalmente, foi executado o processamento final dos dados, e obtidos posteriormente os cálculos de área (em km²) e a porcentagem (%) de cada classe. Os mapeamentos foram elaborados com uma escala de 1:200.000.

Ao final do processo de classificação, as imagens geradas foram verificadas com base em sua acurácia e precisão dos mapas. Para tal procedimento, foi criado um conjunto de 100 amostras de forma aleatória para cada ano mapeado, de forma que todas as classes estivessem contidas nesse conjunto. A avaliação da acurácia e precisão de mapas permitem expandir a qualidade das informações contidas nestes mapas. A avaliação de precisão quantitativa determina a qualidade do mapa (CONGALTON e GREEN, 2009).

Com o objetivo de enriquecer os mapeamentos gerados, foram utilizadas duas técnicas de avaliação de acurácia da classificação de dados de sensoriamento remoto para cada imagem: a Exatidão Global e o coeficiente Kappa.

Segundo Congalton (1991) uma das técnicas mais utilizadas na realização de avaliação de acurácia da classificação de dados de sensoriamento remoto é o emprego da matriz de confusão. De uma matriz de confusão podem ser derivadas várias medidas de precisão da classificação, sendo a exatidão global uma das mais conhecidas (FOODY, 2002). A exatidão global é calculada dividindo a soma da diagonal principal da matriz de erros x_{ii} , pelo número total de amostras coletadas n , (Equação 1):

$$G = \frac{\sum_{i=1}^c x_{ii}}{n} \quad (1)$$

A partir deste método também pode ser obtida a precisão de uma categoria individual. Segundo Congalton e Green (2009), esse resultado é obtido através da divisão do número total de amostras classificadas corretamente naquela categoria pelo número total de amostras daquela categoria.

Por fim, as imagens geradas também foram verificadas com base nas suas respectivas amostras de treinamento de acordo com os índices de precisão Kappa (K), descritos na Tabela 1 (FONSECA, 2000). O coeficiente Kappa quantifica a concordância entre a escolha de amostras realizadas pelo observador e a escolha feita de forma aleatória, incluindo neste cálculo um fator que subtrai a interferência do acaso. De acordo com Fonseca (2000), o coeficiente Kappa pode ser calculado através da seguinte equação (Equação 2):

$$K = \frac{n \sum_{i=1}^c x_{ii} - \sum_{i=1}^c x_{i+} x_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^c x_{i+} x_{+i}} \quad (2)$$

Onde K é uma estimativa do coeficiente Kappa; x_{ii} é o valor na linha i e coluna i ; x_{i+} é a soma da linha i e x_{+i} é a soma da coluna i da matriz de confusão; n é o número total de amostras e c o número total de classes.

Tabela 1 - Escala de valor Kappa.

Escala de valor Kappa	
Coeficiente Kappa	Força da concordância
Menor que zero	<i>Poor (insatisfatória)</i>
0 a 0,2	<i>Slight (desprezível)</i>
0,21 a 0,4	<i>Fair (suave)</i>
0,41 a 0,6	<i>Moderate (moderada)</i>
0,61 a 0,8	<i>Substantial (substancial, grande)</i>
0,81 a 1	<i>Almost perfect (quase perfeita)</i>

Fonte: Fonseca (2000).

3.8 Mapeamento de Áreas Impermeabilizadas

A urbanização do espaço tem se desenvolvido de forma abrangente, não se confinando aos limites territoriais. Na sociedade atual o espaço vem se reproduzindo segundo as demandas da lógica do capital, onde os padrões de desenvolvimento e ocupação pouco ou nada se importam com as dinâmicas ambientais. Segundo Christofolletti (2002), a preocupação em manter áreas verdes na paisagem urbana tem por objetivo sensibilizar a qualidade de vida para a população e não, recuperar ou manter ecossistemas naturais.

A área de drenagem da bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí comporta cidades importantes da RMRJ que se desenvolveram a partir da adição de fluxos de matéria e energia artificiais resultando em uma contínua sucessiva impermeabilização do solo. De acordo com Lemos *et al.* (2014), esse padrão de ocupação que ocorreu em todas as cidades brasileiras, historicamente, não respeitou as necessidades naturais dos cursos d'água (áreas de nascentes ou matas de galeria, por exemplo) e gerou um aumento exponencial de poluições difusas e pontuais.

Com base em metodologias propostas por Vieira e Cunha (2001) e Lemos *et al.* (2014), a respeito de mapeamentos de áreas impermeabilizadas a partir de classificação de cobertura e uso da terra executadas previamente, foram realizados mapeamentos das áreas permeáveis e impermeáveis, de modo a analisar a sua abrangência e expansão, representadas

pelo aumento das áreas construídas e de solo exposto⁷, ao longo de uma série temporal com intervalos mínimos de 10 anos.

Segundo Vieira e Cunha (2001), com o mapeamento baseado na classificação prévia do uso do solo através de uma perspectiva histórica, foram obtidos valores para o contínuo crescimento de solos impermeáveis, na área urbana de Teresópolis (RJ), devido à retirada da cobertura vegetal e à consequente substituição por asfalto e concreto, entre outros, aumentando os valores do escoamento superficial. Por sua vez, Lemos *et al.* (2014) destacam que o mapeamento de impermeabilização do solo por técnicas de classificação orientada, a partir de imagens Landsat-5 em dois momentos históricos – 1984 e 2011 com a finalidade a entender o processo evolutivo da ocupação e da impermeabilização do solo na bacia hidrográfica da Lagoa da Pampulha (MG), se mostrou como uma alternativa coerente e de excelentes resultados.

A finalidade principal da comparação temporal foi compreender a impermeabilização do solo como consequência da expansão das áreas urbanizadas. Dessa forma, para a classificação das imagens, as classes definidas previamente como Solo Exposto e Áreas Construídas foram consideradas como uma única unidade denominada: Áreas Impermeáveis. E as classes Vegetação Densa, Pastagens e/ou Campos Abertos, Manguezais e Corpos Hídricos foram consideradas como: Áreas Permeáveis. O quadro 4 apresenta as classes utilizadas para cobertura e uso da terra e como elas foram reclassificadas.

Quadro 4 – Reclassificação para mapeamento de áreas permeáveis e impermeáveis.

Classes de cobertura e uso da terra	Classes de permeabilidade
Vegetação densa; Pastagens e/ou campos abertos; Corpos hídricos; Manguezal	Áreas Permeáveis
Áreas construídas; Solo exposto;	Áreas Impermeáveis

3.9 Identificação das áreas com suscetibilidade a inundações (CPRM, 2015)

A identificação das áreas com suscetibilidade a inundações foi avaliada a partir de Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações (CPRM, 2015) dos municípios que abrangem a área pesquisada com informações geradas na escala de 1:25.000.

As Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações (CPRM) são documentos cartográficos do Programa de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais, incluído no Plano Plurianual 2012-2015 do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. A elaboração deste documento considera as diretrizes contidas no manual para zoneamento de suscetibilidade, perigo e risco a deslizamento, publicado em 2008 pelo Comitê Técnico de Deslizamentos e Taludes Construídos das associações técnico-científicas internacionais de geologia de engenharia e engenharia geotécnica (ISSMGE, IAEG e ISRM-JTC-1). As cartas indicam áreas suscetíveis à fenômenos e processos do meio físico

⁷ De acordo com Lemos et al. (2014, p. 12): “o solo exposto é sujeito a selamento superficial, incorrendo em uma maior quantidade de água a ser escoada superficialmente e gerando um maior potencial erosivo nas áreas à jusante.” E segundo Menezes (2016), em pesquisa prévia na área de estudo, observou-se que áreas com solos expostos estão sendo destinadas a futuras construções, como observado em alguns locais no município de Nova Iguaçu (RJ) principalmente nas margens do eixo rodoviário Arco Metropolitano.

cuja dinâmica pode gerar desastres naturais. A elaboração das cartas de suscetibilidade encontra-se sob a coordenação nacional do Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

Segundo a Nota Técnica Explicativa (BITAR, 2014) os levantamentos abrangeram 300 municípios brasileiros e foram realizados em parceria com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, o Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia - Censipam, a Universidade Federal do Paraná - UFPR e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. As imagens utilizadas nas interpretações são oriundas do RapidEye (resolução 5,0 m), ortoimagens de RADAR (resolução 2,5 m) e ortofotos (resolução de 0,39 a 10 m). Foram utilizados modelos digitais de elevação e terreno oriundos de levantamentos por RADAR (resolução de 1,0 a 10 m), aerofotogramétricos (resolução de 1,0 a 20 m) e do TOPODATA-INPE (resolução 30x30 m).

Os processos do meio físico analisados a partir das Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações (CPRM, 2015) compreendem os principais tipos de movimentos gravitacionais de massa (deslizamentos; rastejos; quedas, tombamentos, deslocamentos e rolamentos de rochas; e corridas de massa) e de processos hidrológicos (inundações e enxurradas), os quais estão frequentemente associados a desastres naturais em todo o país. Ressalta-se que, em virtude da temática escolhida para análise, foram utilizados apenas os dados sobre inundações.

O objetivo do documento elaborado pelo CPRM foi cartografar áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa e inundação, classificadas como alto, médio e baixo, em municípios brasileiros priorizados pelo Governo Federal (BITAR, 2014). A classificação relativa (alta, média, baixa) aponta áreas onde a propensão ao processo é maior ou menor em comparação a outras (BITAR, 2014).

Nesse sentido, as Cartas de suscetibilidade elaboradas pelo CPRM referem-se à indicação de áreas propensas ao desenvolvimento de processos do meio físico que podem gerar desastres naturais, em face da presença de fatores predisponentes básicos em terrenos ocupados e não ocupados.

Os procedimentos para caracterização das suscetibilidades seguiram diretrizes contidas nos trabalhos de Fell *et al.* (2008) e Julião *et al.* (2009). No caso específico do mapeamento de áreas suscetíveis a inundações, foi realizado um mapeamento de acordo com as seguintes atividades: abordagem quali-quantitativa baseada em índices morfométricos; área de estudo para aplicação dos índices morfométricos segundo a bacia hidrográfica do rio principal do município; hierarquização relativizada na bacia hidrográfica quanto à suscetibilidade a inundações de cada uma das sub-bacias contribuintes; e proposta de espacialização da inundação, que abrange o conjunto do território formado por planícies e terraços fluviais e/ou marinhos (BITAR, 2014).

Assim, os procedimentos de análise e classificação consistiram em três etapas básicas (Figura 14). Na Etapa 1, procedeu-se a identificação da suscetibilidade das bacias a partir de índices morfométricos. Na Etapa 2, a espacialização dos graus de suscetibilidade a partir da aplicação do modelo denominado HAND (Height Above Nearest Drainage), conforme Rennó *et al.* (2008). Finalmente, na Etapa 3, as classificações obtidas nas duas etapas anteriores foram cruzadas, aplicando-se o recorte do zoneamento nas áreas de planícies e terraços.

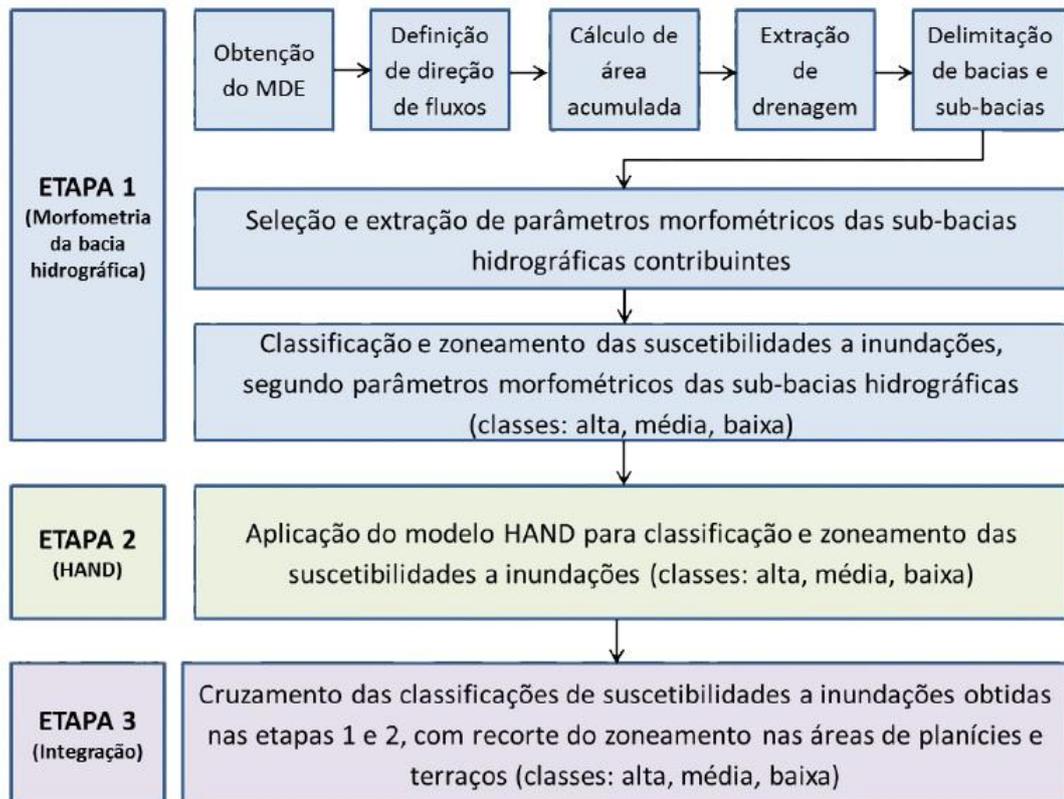


Figura 14 – Fluxograma das três etapas básicas executadas para fins de análise, classificação e zoneamento da suscetibilidade a inundações.

Fonte: Bitar (2014, p. 19)

Quanto à morfometria da bacia hidrográfica (etapa 1), pode ser definida como a análise quantitativa das interações entre a fisiografia e a sua dinâmica hidrológica que propicia um conhecimento da dinâmica fluvial, bem como das relações existentes entre essa dinâmica e os diversos componentes do meio físico e biótico de uma bacia (FARIA *et al.*, 2009). Em relação à aplicação do modelo HAND (etapa 2), que atua na espacialização da inundação nas planícies e terraços, o mesmo mede a diferença altimétrica entre qualquer ponto da grade do MDE e o respectivo ponto de escoamento na drenagem mais próxima, considerando a trajetória superficial de fluxo (flowpath) que liga topologicamente os pontos da superfície com a rede de drenagem. O resultado é uma grade que representa a normalização do MDE em relação à drenagem e indica a área onde uma cheia pode se desenvolver, em caso de haver água em excesso fluindo na superfície (PIRES e BORMA, 2013). Por fim, na integração e recorte nas áreas de planícies e terraços (etapa 3), consistiu na integração dos resultados obtidos nas etapas 1 e 2, finalizando-se o zoneamento da suscetibilidade a inundações no âmbito da área mapeada (BITAR, 2014).

3.9.1 Classificação das áreas com suscetibilidade a inundações (baixa, média, alta)

As classes de informações morfológicas determinam diferenças essenciais entre distintas paisagens (HORTON, 1945; STRAHLER, 1957; CHRISTOFOLETTI, 1978). Lindner *et al.* (2007) apontam que os índices morfométricos são importantes pressupostos para estudos acerca de eventos de natureza hidrometeorológica, como enchentes e inundações.

Autores como Oliveira (2010) e Souza (2004) realizaram estudos nos quais utilizaram distintos parâmetros e/ou índices morfométricos para analisar a suscetibilidade a inundações em uma dada bacia hidrográfica. No caso específico das Cartas de Suscetibilidade a Inundações (CPRM, 2015), o procedimento foi executado de forma relativa, hierarquizando, em vista das bacias analisadas, aquelas que possuem maior ou menor grau de suscetibilidade (BITAR, 2014). Com isso, foram utilizados os seguintes parâmetros e índices: Área de contribuição (Ac); Relação de relevo (Rr); Densidade de drenagem (Dd); Índice de circularidade (Ic), e Índice de sinuosidade (Is).

De acordo com o Quadro 5, contido na Nota Técnica Explicativa (BITAR, 2014), o parâmetro área de contribuição (Ac) refere-se à área acumulada na bacia de drenagem até o ponto exutório selecionado. A relação de relevo (Rr), conforme concebida por Schumm (1956), utiliza a amplitude altimétrica e o comprimento do canal principal da sub-bacia hidrográfica, onde a amplitude altimétrica é obtida pela diferença entre as altitudes máxima e mínima. O parâmetro da densidade de drenagem (Dd), definida por Horton (1945) relaciona o comprimento da drenagem com a área da bacia. No caso do índice de circularidade (Ic), proposto por Müller (1953), relaciona a área da sub-bacia com a área de um círculo de mesmo perímetro. Por fim, o índice de sinuosidade (Is), proposto por Schumm (1963), relaciona o comprimento do canal principal com a distância vetorial entre extremos do canal.

Quadro 5 - Parâmetros e índices morfométricos selecionados, contendo referência, modo de cálculo e influência possível acerca da suscetibilidade a inundações.

Parâmetro/índice	Cálculo	Influência
Área de contribuição (Ac)	Extração automática em SIG	Associa-se ao volume de água que atinge o rio principal. Quanto maior Ac, maior tende a ser a suscetibilidade
Relação de relevo (Rr) (SCHUMM, 1956)	Relação entre amplitude (Δa) e comprimento do rio principal da sub-bacia (L); $Rr = \Delta a/L$	Indica velocidade de escoamento. Quanto maior Rr, mais rápido tende a ser o fluxo, reduzindo o acúmulo de água na sub-bacia
Densidade de drenagem (Dd) (HORTON, 1945)	Relação entre comprimento da drenagem (C) c/ área da sub-bacia (A); $Dd = C/A$	Quanto maior Dd, menor é infiltração de água no solo e maior tende a ser a velocidade com que a água atinge o rio
Índice de circularidade (Ic) (MÜLLER, 1953)	Relação entre a área da sub-bacia (A) e a de um círculo de mesmo perímetro (Ac); $Ic = A/Ac$	Quanto maior é o Ic, maior tende a ser a retenção de água na sub-bacia, reduzindo a velocidade de chegada da água no rio
Índice de sinuosidade (Is) (SCHUMM, 1963)	Relação entre o comprimento do canal principal (L) com a distância vetorial entre os extremos do canal (dv); $Is = L/dv$	Quanto maior o Is, menor tende a ser a velocidade do escoamento e chegada da água no rio

Fonte: Bitar (2014, p. 20).

Bitar (2014) aponta que todas essas variáveis representam, em conjunto, a influência geral em relação a inundações, onde, os valores correspondentes foram normalizados para fins de comparação de grandeza e elaboração de um índice geral que propicie avaliar a influência de cada sub-bacia na ocorrência de inundações.

As informações contidas na Nota Técnica Explicativa indicam que, para os parâmetros e índices que apresentam relação diretamente proporcional ao fenômeno da inundação (Área de contribuição, Densidade de drenagem, Índice de Circularidade e Índice de Sinuosidade), a ponderação é dada pela Equação 3:

$$GS = \frac{4 (X - X_{min})}{(X_{max} - X_{min})} + 1 \quad (3)$$

No entanto, para os que denotam relação inversa à ocorrência do fenômeno (no caso, a Relação de relevo), aplica-se a Equação 4:

$$GS = \frac{4 (X - X_{max})}{(X_{min} - X_{max})} + 1 \quad (4)$$

Onde, para as duas equações acima: *GS* é o grau de suscetibilidade; *X* é o valor do parâmetro/índice morfométrico a ser avaliado para cada bacia; e *X_{min}* e *X_{max}* são os valores mínimo e máximo dos parâmetros/índices morfométricos de todas as sub-bacias, respectivamente.

Finalmente, os parâmetros e índices padronizados são somados (*Ac + Rr + Dd + Ic + Is*) e novamente padronizados, agora em uma escala de 1 a 3, onde 1 = baixa suscetibilidade; 2 = média suscetibilidade e 3 = alta suscetibilidade a inundações, conforme a Equação 5, a seguir:

$$GSf = \frac{2 (Y - Y_{min})}{(Y_{max} - Y_{min})} + 1 \quad (5)$$

Onde: *GSf* é o grau de suscetibilidade final; *Y* é o valor do parâmetro/índice em cada sub-bacia; e *Y_{min}* e *Y_{max}* são os valores mínimo e máximo dos parâmetros/índices de todas as sub-bacias, respectivamente (BITAR, 2014).

Em função da presente pesquisa foram adquiridos os dados cartográficos das cartas de suscetibilidade a inundações em escala de 1:25.000 de municípios que compõem a área de estudo: Nilópolis, Mesquita, São João de Meriti, Nova Iguaçu, Belford Roxo e Duque de Caxias. Posteriormente esses dados foram analisados, sobrepostos na área de estudo e através de geoprocessamento foi realizada uma análise comparativa entre as áreas que apresentaram mudanças na permeabilidade ao longo do recorte temporal de 32 anos, com as áreas suscetíveis à inundações identificadas pelo CPRM, a fim de compreender quais interações e influências ocorreram e ocorrem na bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí que influenciam a ocorrência de inundações urbanas na região.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 A heterogeneidade e as mudanças na paisagem da bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí: uma análise espaço-temporal da cobertura e o uso da terra

A bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí ostenta uma notável heterogeneidade em sua paisagem devido ao seu processo evolutivo natural, mas também, principalmente mais recentemente, aos diversos usos que a população, indústrias e empresas fazem no interior da bacia. Como abordado por pesquisadores, tais como Soares (1962) e Amador (1997), a área denominada Baixada Fluminense (onde se encontra a bacia) sofreu, principalmente após o século XIX e mais intensamente no decorrer do século XX, um vigoroso processo de transformação no que tange a sua paisagem natural. Esse evento em marcha, realizado por diferentes ações antrópicas, tais como a expansão urbana sem um planejamento adequado, a supressão da vegetação nativa e ciliar, a exposição de solos para construções futuras, o despejo sem qualquer tratamento de contaminantes nos rios, entre outros, se mantêm em ritmo crescente nesse início do século XXI.

Com o intuito de analisar essa heterogeneidade da paisagem e as mudanças resultantes na bacia de drenagem dos rios Iguaçu-Sarapuí foram realizadas quatro classificações supervisionadas de cobertura e uso da terra referentes aos anos de 1985, 1995, 2005 e 2017.

As classificações supervisionadas para a Cobertura e Uso da Terra apresentaram os seguintes valores de Kappa e Exatidão Global para os quatro anos analisados: 1985 = 0,83; 1995 = 0,90; 2005 = 0,97; e 2017 = 0,96 (Tabela 2). Segundo Fonseca (2000), tais valores correspondem a uma força de concordância *almost perfect* (quase perfeita), como pode ser observado na Tabela 1.

A exatidão global para a matriz de erros das classificações supervisionadas para a Cobertura e Uso da Terra apresentaram os seguintes valores para os quatro anos analisados: 1985 = 86,9%; 1995 = 98,7%; 2005 = 98,4%; e 2017 = 97,8% (Tabela 3).

Tabela 2 - Valores de Índice Kappa para os quatro anos analisados.

Ano	Índice Kappa
1985	0,83
1995	0,90
2005	0,97
2017	0,96

Tabela 3 - Exatidão Global para os quatro anos analisados.

Ano	Exatidão Global (%)
1985	86.9
1995	98.7
2005	98.4
2017	97.8

É imprescindível ressaltar que, por mais que sejam utilizadas técnicas de validação, o mapeamento da superfície terrestre possui limitações, onde sua aplicação é apenas uma das formas de representação do espaço, mas não a única. Segundo Joly (1990, p. 14), “a grande vantagem do mapa é permitir representar num plano os objetos observados sobre a superfície terrestre, ao mesmo tempo na sua posição absoluta e nas suas relações em distâncias e em direções”. Portanto, tais mapeamentos condicionados a processos de validação não substituem as visitas de campo ou o conhecimento do espaço vivido, por exemplo. Porém, podem atuar na espacialização e reconhecimento de fenômenos e como auxílio no planejamento ambiental e urbano com uma precisão adequada.

Os resultados da classificação supervisionada das imagens Landsat em escala de 1:200.000 nos anos de 1985, 1995, 2005 e 2017 estão representados nos mapas de Cobertura e Uso da Terra (Figuras 15 a 18).

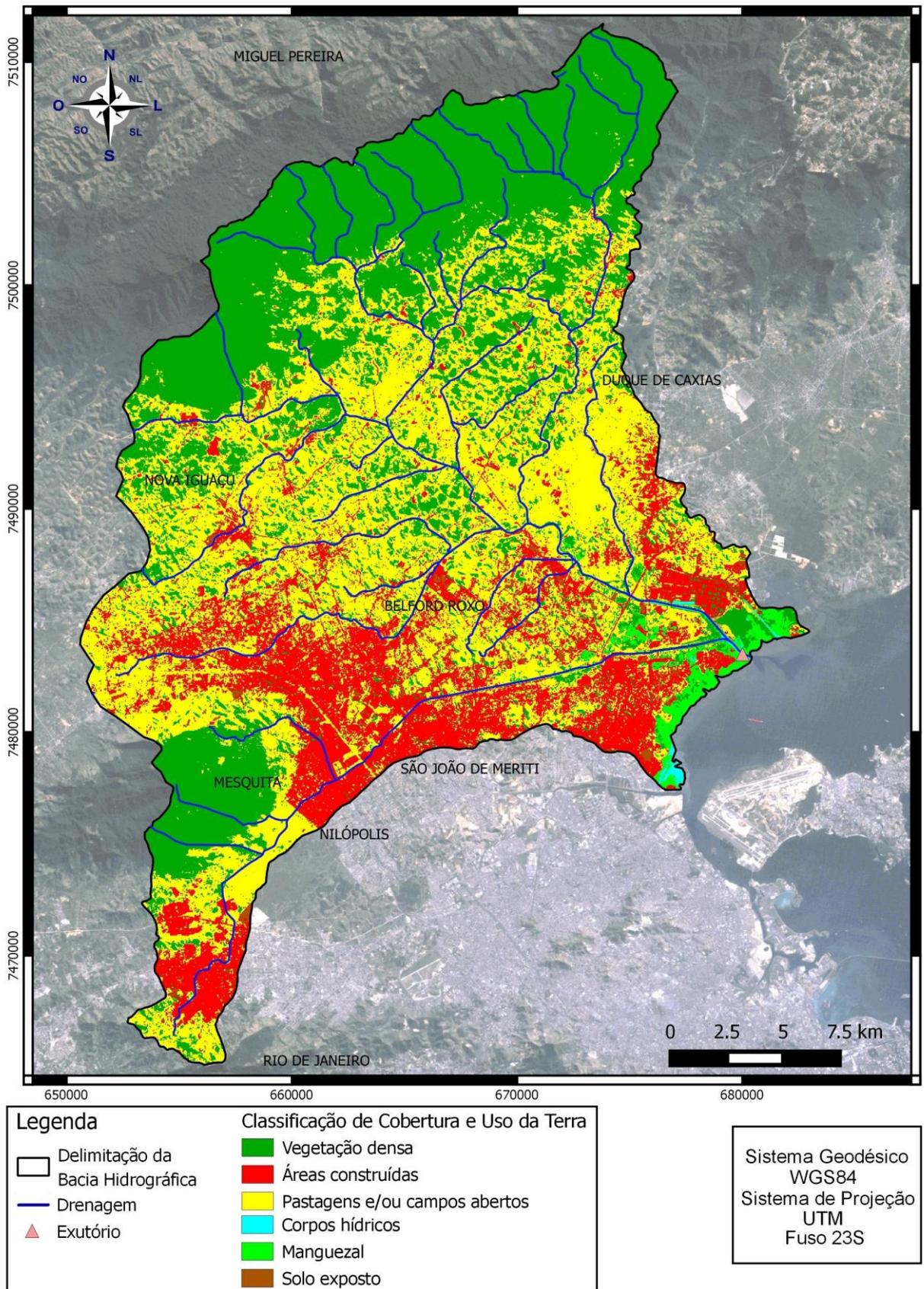


Figura 15 - Mapa de Cobertura e uso da Terra da bacia hidrográfica dos rios Iguazu-Sarapuá (RJ) no ano de 1985.

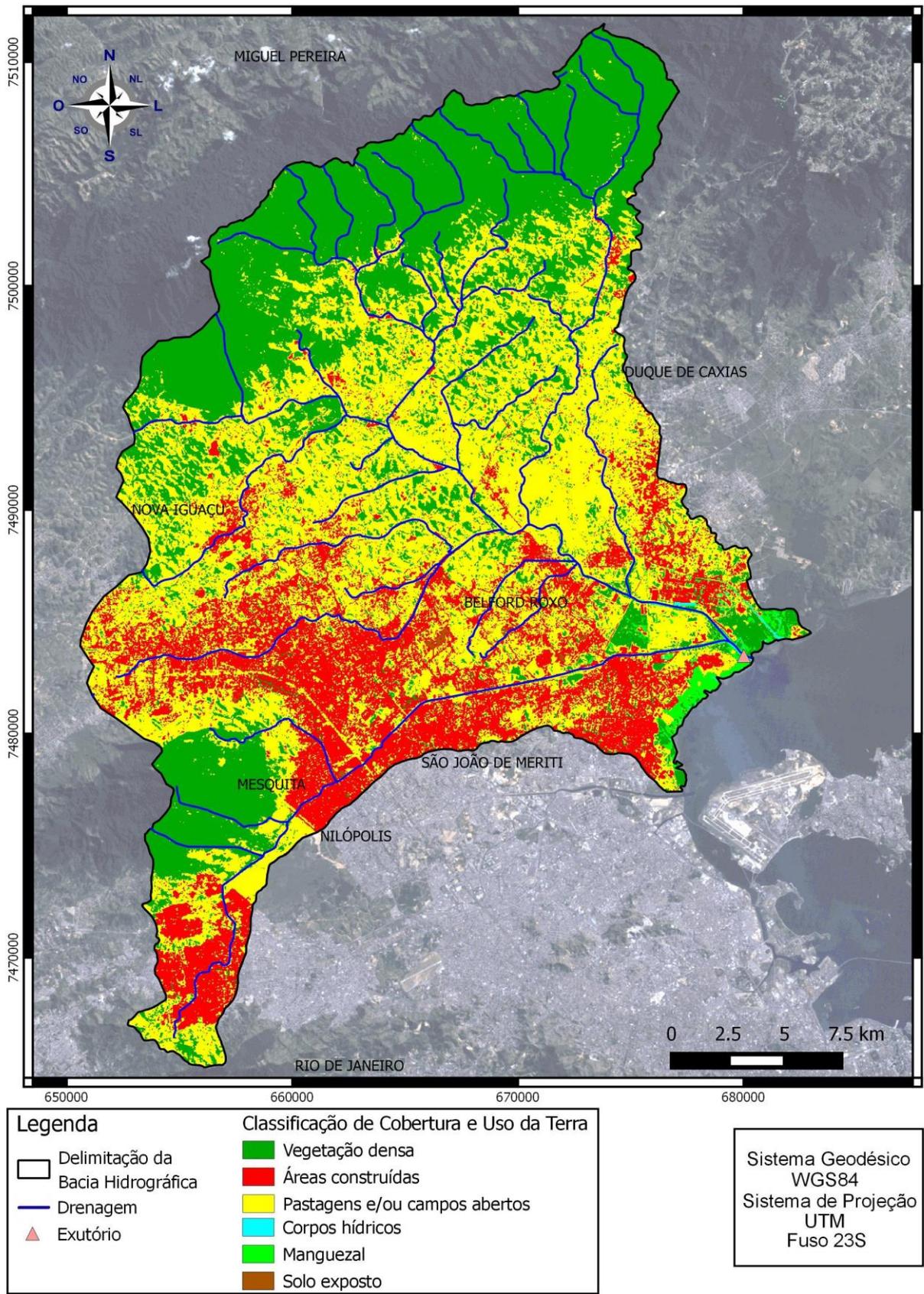


Figura 16 - Mapa de Cobertura e uso da Terra da bacia hidrográfica dos rios Iguazu-Sarapuí (RJ) no ano de 1995.

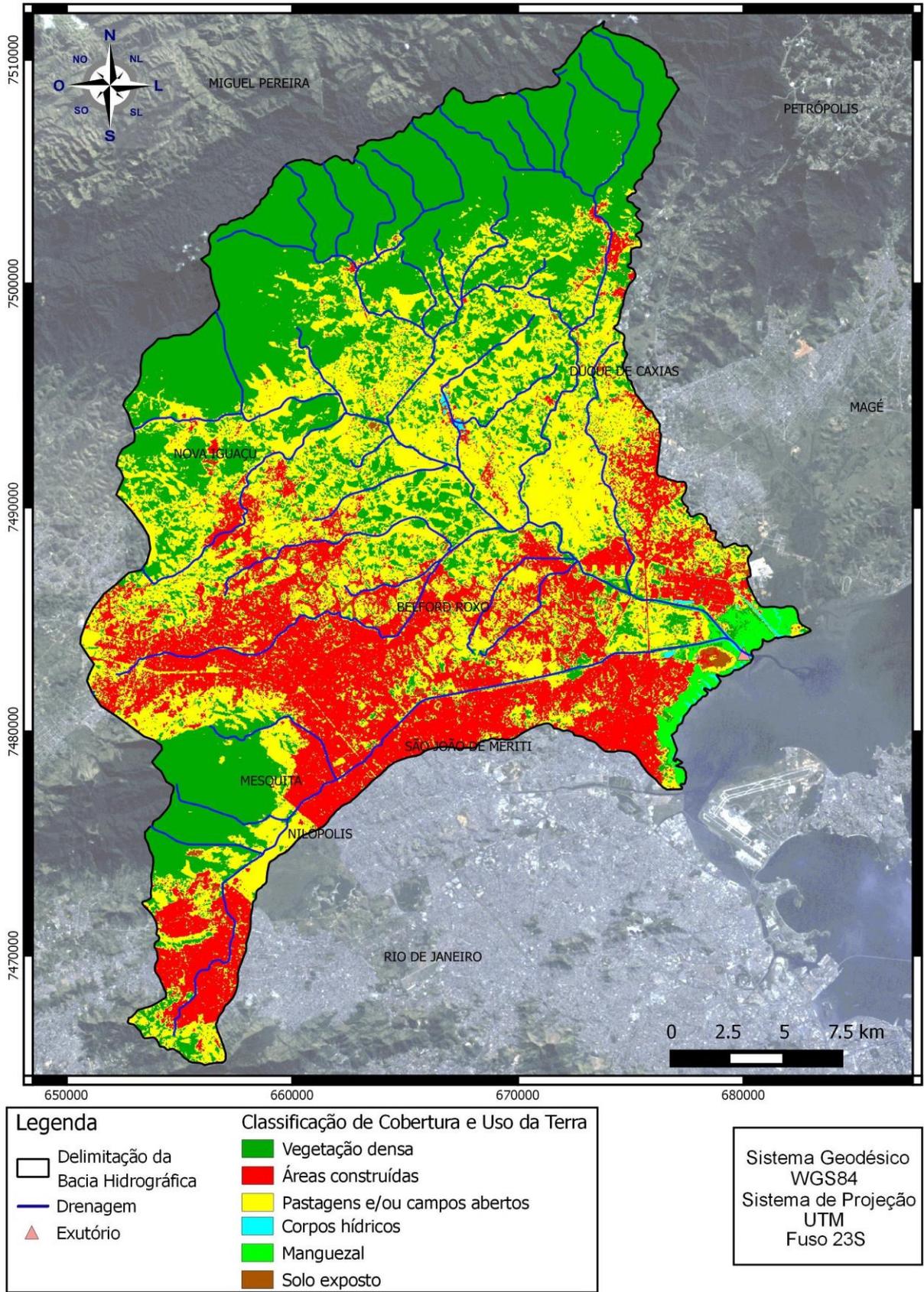


Figura 17 - Mapa de Cobertura e uso da Terra da bacia hidrográfica dos rios Iguazu-Sarapuí (RJ) no ano de 2005.

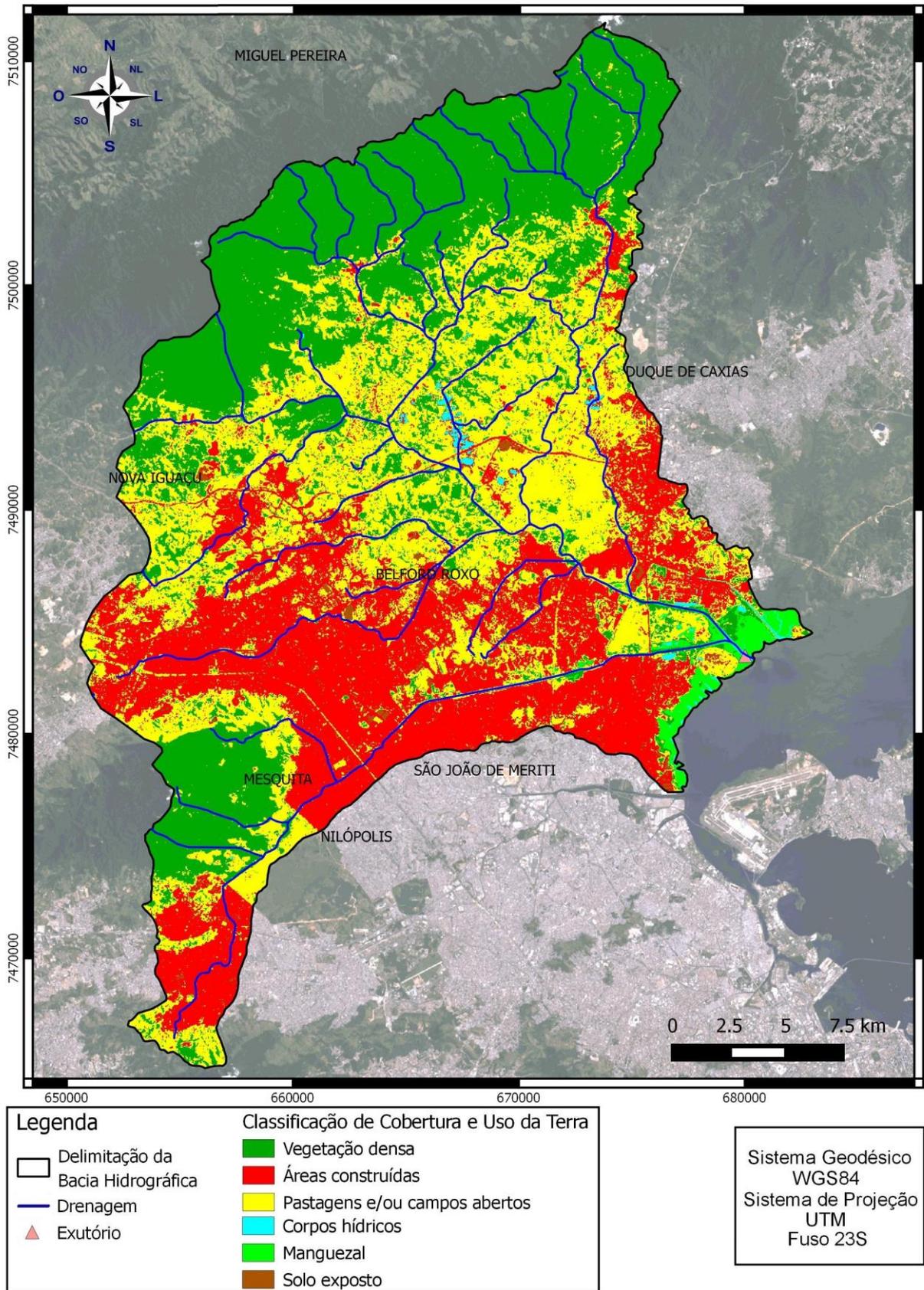


Figura 18 - Mapa de Cobertura e uso da Terra da bacia hidrográfica dos rios Iguazu-Sarapuí (RJ) no ano de 2017.

O Quadro 6 apresenta a síntese dos resultados com a heterogeneidade e evolução da cobertura e uso da terra, além de mostrar a variação percentual das classes. Observou-se que a classe definida como "Vegetação densa" sofreu uma redução de 8,38% após um período de 32 anos (1985-2017), assim como a classe identificada como "Pastagens e/ou Campos Abertos", nesse caso com perda de 18,85% nesse mesmo período. Registrou-se também uma redução da classe "Solos Expostos" de 13,7%. A classe "Corpos Hídricos" apresentou um acréscimo de 151,8%, assim com a de "Manguezal", com 0,7%. O aumento da classe "Áreas Construídas" em 59,5%, combinado à supressão da vegetação e de áreas de pastagens e/ou campos abertos, como apontados acima, corroboram com o reconhecido processo de expansão urbana em pleno desenvolvimento na área de drenagem da bacia.

Quadro 6 – Síntese dos dados da classificação da cobertura e uso da terra, referentes aos anos de 1985, 1995, 2005 e 2017.

Classes	Área em 1985 (km ²)	Área em 1985 (%)	Área em 1995 (km ²)	Área em 1995 (%)	Área em 2005 (km ²)	Área em 2005 (%)	Área em 2017 (km ²)	Área em 2017 (%)	Varição (%) no período (1985-2017)
Vegetação Densa	271,365	37,07	254,901	34,79	251,975	34,36	248,82	33,96	-8,38
Áreas Construídas	132,665	18,11	141,317	19,32	170,010	23,19	211,53	28,89	+59,5
Pastagens e/ou Campos Abertos	308,843	42,16	325,608	44,45	291,442	39,76	250,465	34,21	-18,85
Corpos Hídricos	2,045	0,27	1,656	0,22	3,579	0,47	5,03	0,68	+151,8
Manguezal	10,048	1,37	6,611	0,90	9,289	1,25	10,164	1,38	+0,7
Solos Expostos	7,521	1,02	2,394	0,32	6,192	0,97	6,478	0,88	-13,7
TOTAL	732,487	100,0	732,487	100,0	732,487	100,0	732,487	100,0	-

A perda de vegetação na bacia hidrográfica de estudo foi algo presente em todos os anos analisados, observadas principalmente no entorno de importantes Unidades de Conservação localizadas ao norte, nas encostas do Maciço Marapicu-Gericinó-Mendanha, ao sul, e nas áreas que margeiam os principais canais da bacia. Monteiro (2003) observa que, na estrutura urbana, as áreas verdes estão cada vez mais vistas com certa ojeriza que conduz ao abate sistemático de árvores e eliminação de resíduos e nichos de vegetação, o que pode ser observado na área de estudo de maneira associada à expansão urbana.

Essa redução enfatiza um problema que pouco ou nunca foi tratado com a devida importância, principalmente para o equilíbrio do ambiente físico-natural. Com a quebra desse

equilíbrio, as consequências não ficam restritas e acabam assolando as pessoas que residem neste local. A presença da vegetação é fundamental, principalmente para os rios da região que se transformaram em verdadeiros valões a céu aberto. De acordo com Botelho e Silva (2012), na ausência de uma vegetação ribeirinha, fato comum ao meio urbano, onde se costuma retificar e canalizar os rios, os sedimentos carregados são neles depositados, gerando o assoreamento, que aumenta os riscos de enchente, em função da diminuição da área da seção transversal do canal, como pode ser observado no rio Botas, afluente do rio Iguaçu, no bairro Lote XV, em Belford Roxo, onde o mesmo se encontra brutalmente assoreado com escassa presença de vegetação em suas margens (Figura 19).



Figura 19 – Escassez de mata ciliar e estado de assoreamento do Rio Botas, no bairro Lote XV, em Belford Roxo.

Com base nos resultados aqui apresentados, o maior acréscimo no período analisado ocorreu na classe “Áreas construídas”: de 132,665 km² em 1985 para 211,53 km² em 2017. Esse aumento pode ser considerado devido ao modelo de desenvolvimento econômico adotado por gestores que enfatizam a urbanização como sinônimo de “desenvolvimento”. Porém, essa ação é, em grande parte, ausente de planejamento urbano adequado. É importante também ressaltar que a presente área de estudo está localizada em uma zona de grande concentração populacional. Entendemos que essa concentração pode acabar gerando ainda mais a convergência de diversas aglomerações populacionais que, por sua vez, podem vir a ameaçar a qualidade ambiental nessa área de drenagem, pois, de acordo com Monteiro (2003, p.10):

Concentradora de população, estruturada socialmente, produzindo economicamente e, pelas suas funções e múltiplos serviços, núcleo de polarização e organização do espaço, e tudo o mais que daí decorre, a cidade é, também, o lugar de mais efetiva interação entre o Homem e a Natureza. A partir da organização primitiva da segunda, o primeiro promove, de maneira concentrada, uma série infindável de derivações que se aglutinam na massa de edificações urbanas ao cabo de que as primitivas condições geo-ecológicas do sítio vão sendo derivadas por acréscimos. [...] Tudo isso, aliado à própria dinâmica da população aí concentrada, circulando e desempenhando variadas atividades e serviços, faz com que as cidades sejam - por excelência - os lugares onde as resultantes ambientais configuram-se como obra conjunta de uma natureza retrabalhada e afeiçoada aos propósitos do viver humano. (MONTEIRO, 2003, p.10)

A classe ‘áreas construídas’ se mostrou presente em todos os anos analisados no município de Nilópolis, São João de Meriti e em Mesquita (com exceção para as áreas da APA do Geriçinó-Mendanha, contidas nesse município). Em Belford Roxo percebeu-se um adensamento que evoluiu a cada ano, principalmente na porção leste e norte do município onde o rio Botas faz o seu percurso.

Uma pequena porção do município do Rio de Janeiro está contida na área de drenagem da bacia dos rios Iguaçú-Sarapuí. Essa área se localiza entre os maciços da Pedra Branca e de Geriçinó-Mendanha, abrangendo os bairros de Bangu, Senador Camará e Realengo que, desde 1985, já predominava a classe ‘áreas construídas’ e com os anos posteriores esta classe se apresentou ainda mais concentrada.

No município de Duque de Caxias, já no baixo curso dos canais fluviais da bacia, a urbanização representada na classe ‘áreas construídas’, já se espalhava no ano de 1985 principalmente na divisa com o município de Belford Roxo. A partir dos anos seguintes e mais intensamente na análise do ano de 2017, percebeu-se um adensamento das áreas urbanizadas e uma expansão dessa classe no em direção ao norte do município nas áreas próximas a rodovia Washington Luiz (BR-040).

Em Nova Iguaçu, alguns bairros do município como Dom Bosco, Cabuçu, Ipiranga, Valverde, Paraíso, Lagoinha e Marapicu, localizados no sudoeste da bacia hidrográfica vêm sofrendo nos últimos anos com um intenso aumento da especulação imobiliária, com criação de novos loteamentos para usos residenciais e comerciais. Nessas áreas que margeiam o maciço do Marapicu-Geriçinó-Mendanha a evolução da classe ‘áreas construídas’ se deu no sentido leste-oeste de forma bem expressiva (Figura 20). Além disso, notou-se também um aumento de áreas construídas em direção ao norte do município de Nova Iguaçu, alcançando assim bairros que são atravessados pelo Arco Metropolitano do Rio de Janeiro (AMRJ).

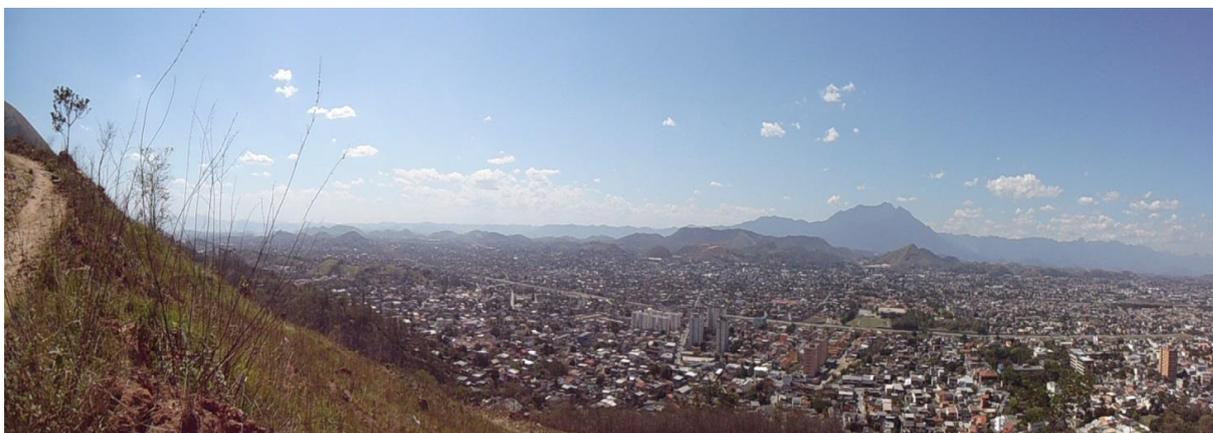


Figura 20 – Grande aglomerado de áreas construídas margeando o maciço do Marapicu-Geriçinó-Mendanha no município de Nova Iguaçu.

O Arco Metropolitano do Rio de Janeiro atravessa os dois maiores municípios da bacia hidrográfica: Nova Iguaçu e Duque de Caxias. A construção dessa rodovia pode levar a uma intensificação da ocupação ao longo das vias de acessos, seja por fábricas ou loteamentos, como também a substituição de áreas com uma maior quantidade de cobertura florestal por áreas degradadas ou áreas mais urbanizadas e, conseqüentemente, o avanço dessas sobre áreas "protegidas". Nesse contexto, Souza (2015) aponta que a expansão da fronteira urbana mais ao norte, implica em impactos socioambientais negativos, tais como o

agravamento dos problemas de infraestrutura existentes nos municípios cortados pelo arco e o aumento de pressões antrópicas nas áreas de preservação ambiental.

Soares (1962) já evidenciava o papel das rodovias na expansão urbana da Baixada Fluminense, caracterizando-as como artérias que traziam grandes quantidades de pessoas e produtos. Essas vias de circulação foram, para a autora, uma das grandes responsáveis pelo aumento demográfico da região. Hoje esse quadro pouco mudou, porém, além de trazer essa maior movimentação, há também a pressão que algumas Unidades de Conservação vêm sofrendo devido à construção do Arco Metropolitano que atravessa as APAs de Retiro, Rio D'Ouro e Tinguazinho, todas localizadas no município de Nova Iguaçu.

Devido a essa crescente urbanização sem planejamento, o que se observa na paisagem da bacia hidrográfica hoje de forma geral é um crescimento acelerado de aglomerações e insuficiência de infraestrutura básica, causando uma expressiva degradação da qualidade de vida dos residentes desta área.

Somando-se a isso, há ainda a hipótese das áreas com solos expostos serem destinadas à futuras construções. Como observou Soares (1962) e Amador (2012), a Baixada Fluminense sofreu, principalmente no decorrer do século XX, obras de engenharias como edificações, pavimentações de ruas e calçadas e, conseqüentemente, a remoção da cobertura vegetal nativa, ocasionando em alguns casos a exposição do solo. É preciso ressaltar também que essa exposição contribui para a formação de processos erosivos como a remoção do solo por escoamento difuso (erosão laminar) que acaba se refletindo no processo de assoreamento dos rios da bacia de drenagem.

A diminuição da classe 'pastagens e/ou campos abertos' indica uma retração das atividades agrícolas e pecuárias na região, refletindo assim um novo arranjo da economia e do desenvolvimento urbano que ocorreu na região no período analisado com conseqüente reflexo nas áreas periféricas.

O município de Nova Iguaçu chegou a abranger toda a área de drenagem da bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí, porém no período de 1947 a 2001 sofreu emancipações que deram origem aos municípios que atualmente a compõem (exceto a capital, Rio de Janeiro). Em relação a isso, Pereira (1977) aponta que a grande área que pertencia a Nova Iguaçu atravessou três importantes ciclos agrícolas: "cana, café e laranja". Diante da ruína desse último, a citricultura, em meados do século XX, a cidade conseguiu sobreviver assumindo novas funções, aproveitando-se de elementos favoráveis de sua posição geográfica. De acordo com Soares (1962), um desses elementos seria a sua situação à margem da importante ferrovia que a ligava à metrópole. A esse elemento se somava a situação de Nova Iguaçu ao lado de uma planície ampla, condição essa que assumiria, também, novo valor diante do crescimento da população do Rio de Janeiro e do aumento do número de indústrias. A metrópole necessitava de terrenos planos, amplos e baratos, dotados de comunicações fáceis para neles instalar novas indústrias ou ampliar as antigas. Ao mesmo tempo, necessitava de espaço para alocar a população que para ela afluía, atraída exatamente pela ampliação do seu mercado de trabalho fazendo um movimento pendular todos os dias em direção a capital fluminense.

Portanto, analisando a redução do percentual da classe 'pastagens e/ou campos abertos' (308,843 km² em 1985 para 250,465 km² em 2017) ressalta-se que o primeiro ano analisado (1985) representou um resquício maior dessa região predominantemente rural, ocorrendo assim, uma progressiva perda de território para outros arranjos nos anos

subsequentes, caracterizando com a passagem do mundo rural ao urbano periférico após o fim da citricultura na região, onde as atividades agropecuárias perdem sua importância uma vez que novas prioridades surgiam com o desenvolvimento da cidade e a comercialização de antigas áreas de pastagens e campos de agricultura. Somente nas encostas do Maciço Marapicu-Gericinó-Mendanha, ao sudoeste da bacia, essa classe pouco se alterou devido a presença de áreas de criação de gado.

Já na classe “corpos hídricos” considera-se que o acréscimo percentual de 151,8% foi ocasionado pelo surgimento de dezenas de lagos no bairro Parque Barão do Amapá, pertencente ao município de Duque de Caxias. Esses lagos surgiram devido a exploração (em alguns casos de forma clandestina) de depósitos quaternários na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ). Esse processo se intensificou a partir dos anos 2000 trazendo grandes mudanças paisagísticas na área como mostra a comparação da figura 21.



Figura 21 – Bairro Parque Barão do Amapá em 2003, a esquerda, antes da presença de corpos hídricos e no ano de 2017, a direita, após a presença de dezenas de corpos hídricos.

Fonte: Google Earth Pro. Elaboração: o autor.

Em trabalho realizado sobre a extração desse recurso mineral na RMRJ, Silva (2010, p. 29) relata que,

os impactos associados à extração de areia referem-se às lagoas formadas pela contínua escavação atingindo o lençol freático, as quais são abandonadas após tornarem-se improdutivas para mineração. Portanto, o cenário que se desenha é: lagoas (cavas) em progressão, alastrando-se vertical e, sobretudo horizontalmente, adjacentes a aterros artificiais com camadas de sedimentos homogeneamente finos (lagoas de rejeitos), bem selecionados pela lavagem. (SILVA, 2010, p. 29).

Nessa área é comum a presença de caminhões e tratores no entorno, todos envolvidos na extração e transporte de areia. Essas empresas extratoras exploram uma área até não ter mais material para retirar e, depois, partem para outra. A proximidade entre o mercado produtor e consumidor se apresenta como um fator fundamental, pois, de acordo com Silva (2010), como a areia é considerada um material de baixo valor agregado, o deslocamento entre grandes distâncias acaba encarecendo a produção e conseqüentemente isso se torna algo mercadologicamente impeditivo.

Além de servir como ponto de extração de areia, o local também é conhecido como “Lagoa Azul” (devido a coloração da água), localizada as margens do Arco Metropolitano do Rio de Janeiro. Esse local também é frequentado por banhistas e até pessoas com motos aquáticas (Figura 22), apesar de placas informarem sobre a proibição para banhistas.



Figura 22 – Presença de banhistas próximos a máquinas de extração de areia, a esquerda, e motos aquáticas, a direita, na “Lagoa Azul”.

Fonte: Website Baixada inteligente [<http://obaixadainteligente.blogspot.com.br/2016/01/a-lagoa-azul-do-amapa-duque-de-caxiasrj.html>] Acessado em: 12 de janeiro de 2018.

Segundo reportagem do Jornal do Brasil⁸, publicado no dia 23 de março de 2015, em março do mesmo ano, policiais do serviço reservado do Comando de Polícia Ambiental (CPAm), fecharam o areal do bairro Parque Barão do Amapá. No local, os policiais encontraram cinco pessoas que trabalhavam no terreno (o proprietário do areal, um auxiliar, um tratorista, um operador do silo e um operador da balsa), além de sete caminhões. Ainda de acordo com a reportagem, todos os acusados responderam por crime de extração mineral. Silva (2010) aponta que a prática mais comum para as áreas degradadas pela mineração tem sido seu simples abandono, e que estes terrenos localizados em áreas urbanas acabam favorecendo a ocupação e usos desordenados, que aliados às condições de instabilidade ambiental resulta em risco à população.

Em todos os anos analisados a classe “Manguezal” ficou restrita às áreas próximas ao exutório da bacia, obviamente devido a esse local ser o único a apresentar as condições necessárias para a formação desse bioma devido às inúmeras transformações observadas. Na quantificação apontada nesse trabalho, essa classe pouco variou no recorte de 32 anos (1985-2017), apresentando um irrisório acréscimo de 0,7%. Porém, ressalta-se que um aumento de 0,11 km² não foi o suficiente para evitar as fortes pressões que esse bioma vem sofrendo.

Com o fechamento do aterro de Jardim Gramacho, em junho de 2012, os terrenos daquela área localizados próximos aos manguezais ganharam enorme valor, constatando-se uma desenfreada especulação imobiliária. Em entrevista ao jornal *O Globo*⁹, publicado em 2013, o biólogo Mario Moscatelli, aponta que, embora a maior parte do terreno já estivesse degradada, as obras para instalação de novos empreendimentos estão avançando numa Área de Preservação Permanente (APP), próxima ao fundo da Baía de Guanabara, onde áreas que não valiam nada agora passaram a valer muito.

Considerados Áreas de Preservação Permanente (APP) pelo Código Florestal Brasileiro (2012), os manguezais constituem um ecossistema costeiro de transição entre os ambientes terrestre e marinho. A riqueza biológica faz com que essas áreas sejam berçários

⁸ Disponível em: <http://www.jb.com.br/rio/noticias/2015/03/28/policiais-ambientais-fecham-areal-clandestino-na-baixada-fluminense/> Acessado em 08 de janeiro de 2018. 12:58 hrs.

⁹ Disponível em: <https://oglobo.globo.com/rio/biologo-denuncia-destruicao-de-manguezal-em-duque-de-caxias-10949889> Acessado em 12 de janeiro de 2018. 09:03 hrs.

naturais de várias espécies. Os manguezais localizados no exutório da bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí são marcados por muitas transformações, que variam desde a exploração do mangue como fonte de madeira até a utilização como fonte para a subsistência familiar das populações pesqueiras. Entretanto, de acordo com Reis (2007), as maiores transformações ocorridas nesse ecossistema estão relacionadas ao alto índice de poluição, que vem ocorrendo há décadas, e uma constante destruição por aterros, drenagens, derramamento de óleos e depósito de lixo.

A presença da REDUC (Refinaria Duque de Caxias), da Petrobras vem causando graves problemas ambientais na área. Um exemplo recente foi o vazamento de 1,3 milhão de litros de óleo na Baía de Guanabara em 18 de janeiro de 2000 atingindo boa parte dos manguezais localizados no recôncavo da Guanabara, transformando-os em verdadeiros lamaçais. Tal acontecimento pode ter causado a morte de diversas espécies nativas desse ecossistema, além de afetar diretamente os pescadores locais que dependem dessa atividade para o seu sustento.

Atualmente, há movimentos de resistência por parte dos pescadores locais devido ao comunicado da Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (Feema)¹⁰ fornecendo a licença de instalação para as obras de ampliação da Reduc, ampliando a capacidade de produção dos atuais 27 milhões para 42 milhões de litros de óleo ao ano.

A Figura 23 apresenta o gráfico evolutivo da Classificação de Cobertura e Uso da Terra da bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí destacando, como já mencionado anteriormente, as transformações que ocorreram no período de 1985 a 2017, evidenciando de maneira clara e objetiva a redução gradativa das classes ‘Vegetação densa’ e ‘Pastagens e/ou campos abertos’ e o acréscimo progressivo da classe ‘Áreas construídas’. Assim como as variações nas classes ‘Solo exposto’, ‘Manguezal’ e ‘Corpos hídricos’.

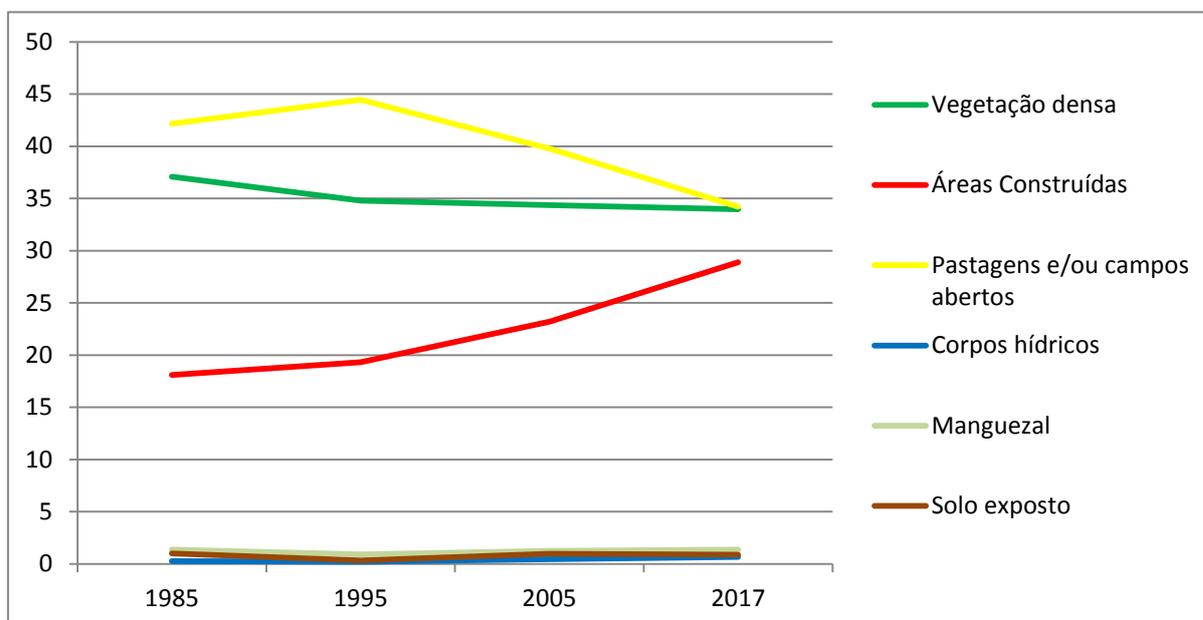


Figura 23 - Gráfico evolutivo da Classificação de Cobertura e Uso da Terra nos anos 1985, 1995, 2005 e 2017.

¹⁰ Disponível em: <http://economia.estadao.com.br/noticias/negocios,feema-autoriza-inicio-da-expansao-de-r1-5-bi-da-reduc,213354> Acessado em 12 de janeiro de 2018. 16: 05 hrs.

No período analisado, nota-se como a cobertura e uso da terra na área de drenagem bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí vêm sendo modificadas, em muitos casos, impulsionado pelo capital privado através da instalação de novos empreendimentos que substituem a vegetação nativa pela construção de casas, ruas, avenidas, entre outras empreitadas da construção civil. Esses eventos resultam em impactos diretos no aporte hídrico da bacia. Segundo Guerra (2011 p.360), “a ocupação desordenada do solo em bacias hidrográficas, com rápidas mudanças decorrentes das políticas e dos incentivos governamentais, agrava seus desequilíbrios”.

As mudanças na cobertura e uso da terra alteram profundamente os rios da bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí, não apenas com os fatores já destacados, assim como também com a impermeabilização do solo. Vitte e Guerra (2012) apontam que uma bacia hidrográfica irá apresentar funcionamento que difere conforme a área que se encontra. Nesse sentido, mesmo que um trecho dos canais fluviais percorra em seu alto curso áreas com um menor nível de alteração do solo, quando esse mesmo rio atravessa ambientes urbanos, há uma expressiva superfície impermeabilizada, o que leva a consideráveis fluxos superficiais e nenhuma ou quase nenhuma infiltração da água no solo.

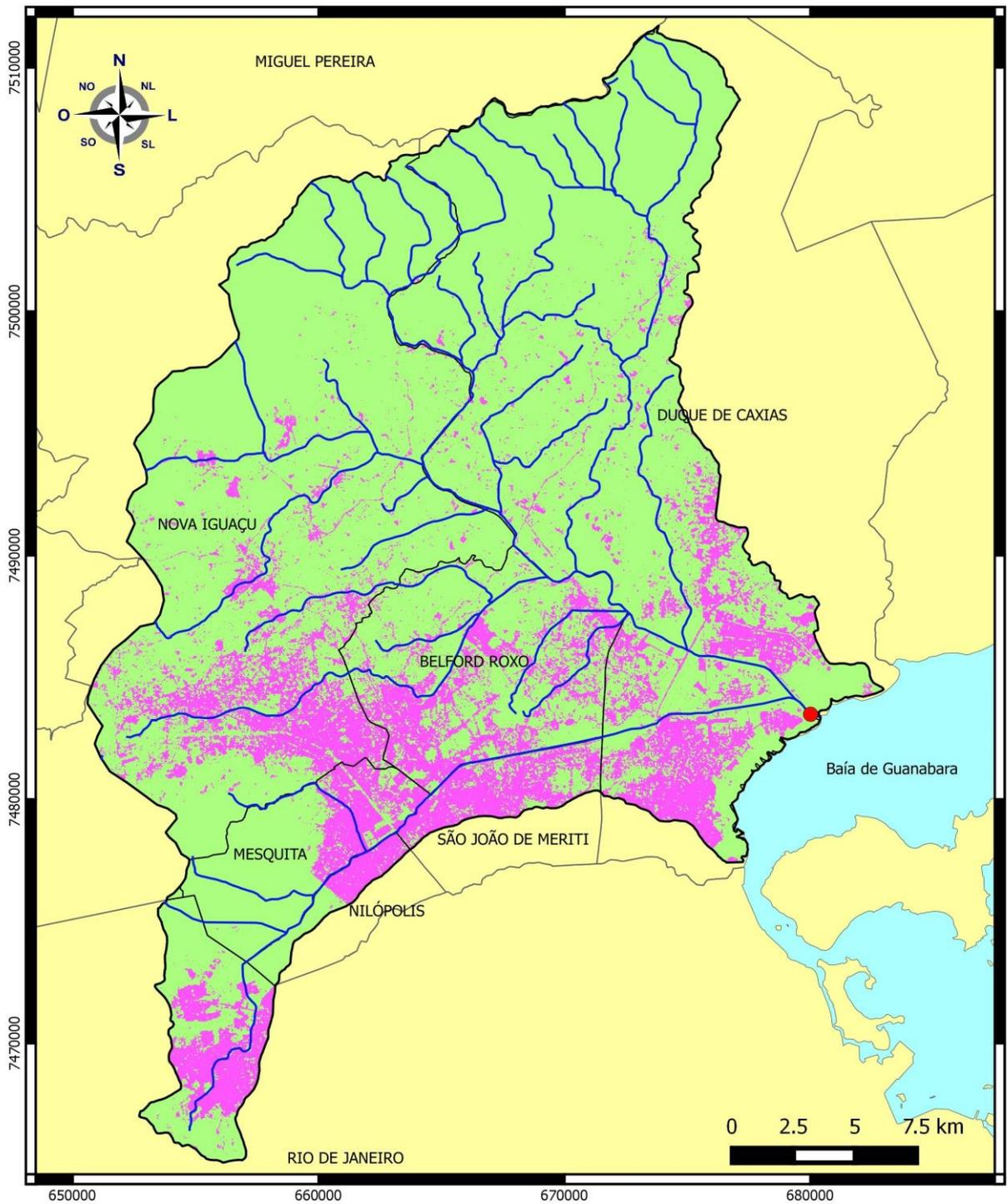
As mudanças na cobertura e uso da terra, portanto, possuem uma relação direta com a impermeabilidade do solo. Com isso o mapeamento de áreas impermeabilizadas da área de estudo se apresenta pertinente.

4.2 Análise temporal da permeabilidade da superfície da bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí

Como já mencionado, na bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí, muitos canais fluviais foram modificados com intuito de escoar rapidamente as águas e ampliar áreas para assentamento. Porém, devido à impermeabilização do solo, a velocidade das águas aumentou, e essas intervenções acabaram contribuindo para o agravante quadro de recorrentes inundações em épocas de chuvas na área, além do carregamento de sedimentos para a calha do rio, causando o seu assoreamento.

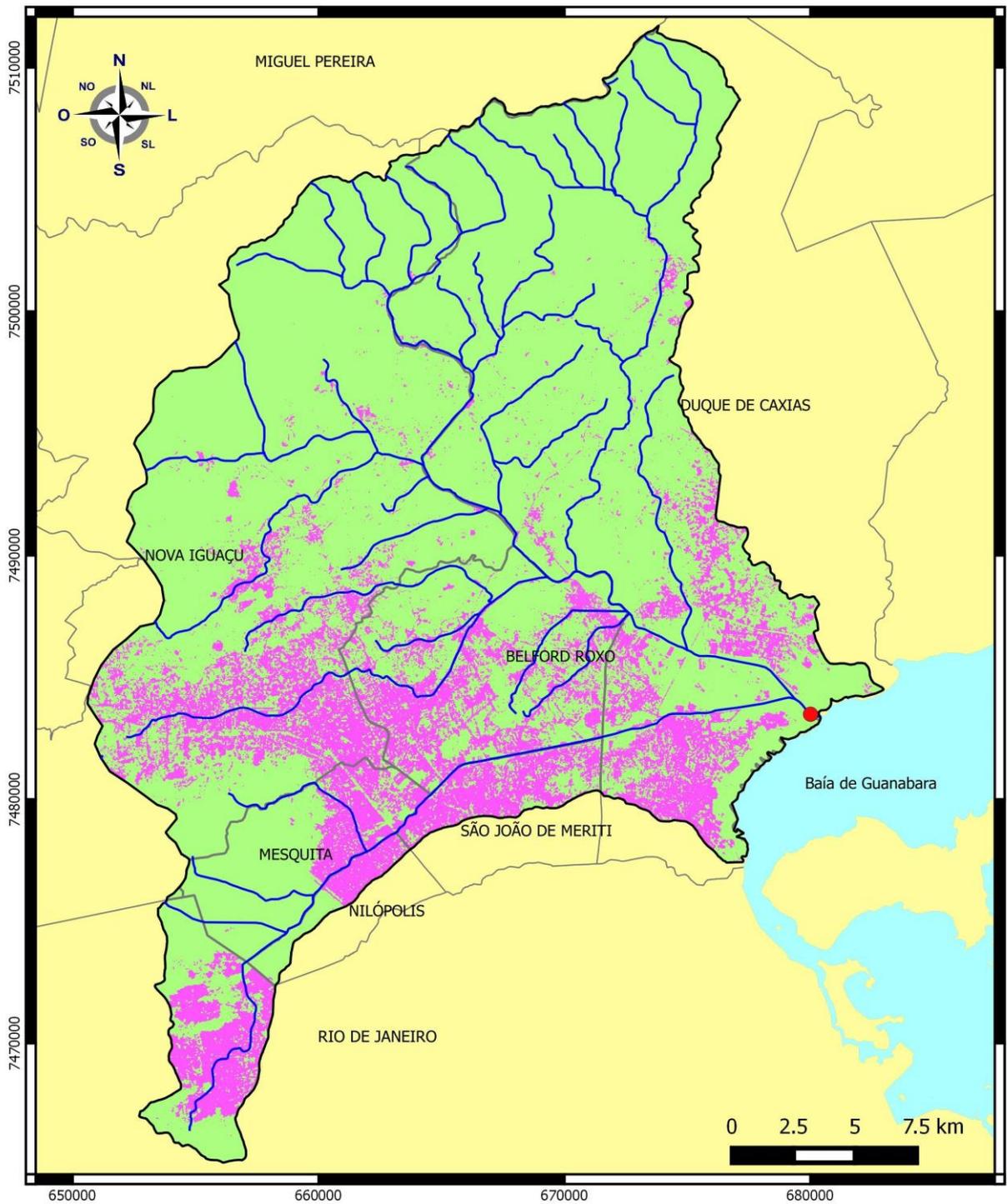
Para Dozena (2001), o uso e a ocupação do solo com a qualidade de vida e a qualidade ambiental nas cidades estão diretamente associados. E, segundo Dozena (2001), grande parte dos modelos hidrológicos que tratam da drenagem urbana necessita conhecer a área impermeável e a modificação das condições de escoamento das bacias devido à ocupação do solo, pois o aumento de áreas impermeáveis aumenta o escoamento superficial.

No presente trabalho elaboraram-se mapas de permeabilidade da área de estudo, em escala de 1:200.000 a partir de classificação supervisionada de cobertura e uso da terra realizada previamente, para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2017 representadas nas figuras 24, 25, 26 e 27, respectivamente.



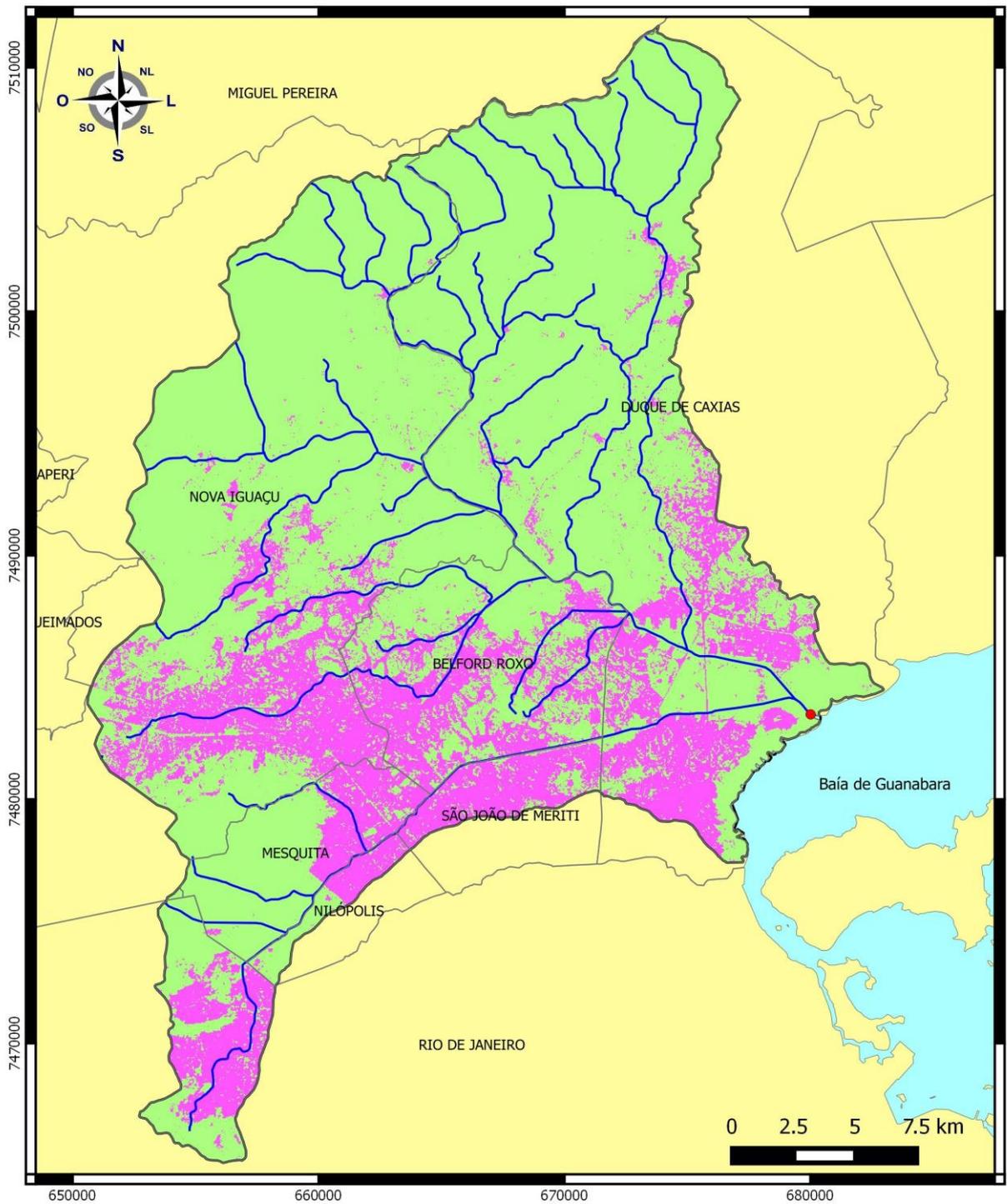
Legenda		Sistema Geodésico WGS84 Sistema de Projeção UTM Fuso 23S
<ul style="list-style-type: none"> □ Delimitação da Bacia Hidrográfica ■ Municípios do Estado do Rio de Janeiro ■ Baía de Guanabara — Drenagem 	<ul style="list-style-type: none"> ● Exutório ■ Áreas Permeáveis ■ Áreas Impermeáveis 	

Figura 24 - Mapa de permeabilidade da bacia hidrográfica dos rios Iguazu-Sarapuí (RJ) no ano de 1985.



Legenda		Sistema Geodésico WGS84 Sistema de Projeção UTM Fuso 23S
<ul style="list-style-type: none"> Delimitação da Bacia Hidrográfica Municípios do Estado do Rio de Janeiro Baía de Guanabara Drenagem 	<ul style="list-style-type: none"> • Exutório Áreas Permeáveis Áreas Impermeáveis 	

Figura 25 - Mapa de permeabilidade da bacia hidrográfica dos rios Iguazu-Sarapuí (RJ) no ano de 1995.

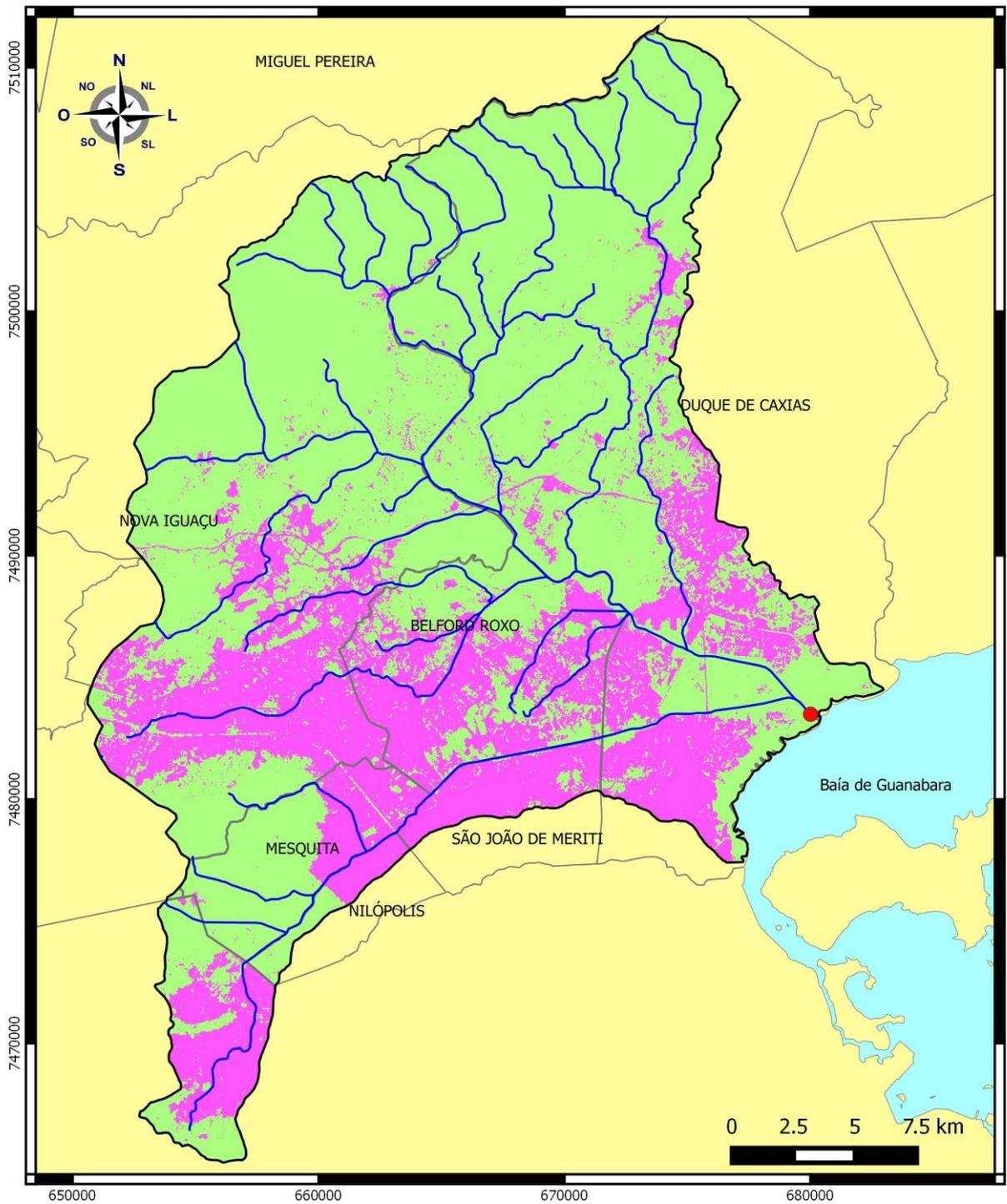


Legenda

- | | |
|--|----------------------|
| □ Delimitação da Bacia Hidrográfica | ● Exutório |
| ■ Municípios do Estado do Rio de Janeiro | ■ Áreas Permeáveis |
| ■ Baía de Guanabara | ■ Áreas Impermeáveis |
| — Drenagem | |

Sistema Geodésico
WGS84
Sistema de Projeção
UTM
Fuso 23S

Figura 26 - Mapa de permeabilidade da bacia hidrográfica dos rios Iguazu-Sarapuí (RJ) no ano de 2005.



Legenda		Sistema Geodésico WGS84 Sistema de Projeção UTM Fuso 23S
<ul style="list-style-type: none"> Delimitação da Bacia Hidrográfica Municípios do Estado do Rio de Janeiro Baía de Guanabara Drenagem 	<ul style="list-style-type: none"> • Exutório Áreas Permeáveis Áreas Impermeáveis 	

Figura 27 - Mapa de permeabilidade da bacia hidrográfica dos rios Iguazu-Sarapuí (RJ) no ano de 2017.

O Quadro 7 apresenta a quantificação dos resultados com a evolução da permeabilidade, além de mostrar a variação percentual das classes. Observou-se durante as comparações que a classe definida como "Áreas Impermeáveis" obteve um incremento consecutivo e, após um período de 32 anos (1985-2017), alcançando 55,6% de aumento. No entanto, a classe definida como "Áreas Permeáveis" registrou consecutivas perdas com um declínio total ao final do período analisado de 13,1%.

Quadro 7 – Síntese dos dados de mapeamentos de permeabilidade, referentes aos anos de 1985, 1995, 2005 e 2017.

CLASSE	1985 (%)	1985 (km ²)	1995 (%)	1995 (km ²)	2005 (%)	2005 (km ²)	2017 (%)	2017 (km ²)	Varição (%) no período (1985-2017)
Áreas Permeáveis	80,87	592,30	80,36	588,77	75,84	556,28	70,23	514,47	- 13,1
Áreas Impermeáveis	19,13	140,18	19,64	143,71	24,16	176,20	29,77	218,00	+ 55,6

A permeabilidade da superfície de uma área pode determinar desequilíbrios em uma bacia de drenagem, interferindo no volume de água que escoar superficialmente ou infiltra no subsolo. Segundo Trevisol (2002), os fatores que influenciam o escoamento superficial podem ser de ordem climática, relacionados à precipitação ou de natureza fisiográfica ligados às características físicas da bacia. Neste trabalho, o enfoque será na questão fisiográfica da bacia, mais especificamente na permeabilidade.

De acordo com Baccaro (1994), dentre os fatores fisiográficos os mais importantes são a área, a forma, a permeabilidade, a capacidade de infiltração, a topografia da bacia e as obras hidráulicas onde, no caso da permeabilidade do solo, influi diretamente na capacidade de infiltração, ou seja, quanto mais permeável for o solo, maior será a quantidade de água que ele pode absorver, diminuindo assim a ocorrência de excesso de águas superficiais.

Dessa forma, as alterações nos processos hidrogeomorfológicos da bacia dos rios Iguaçu-Sarapuí, no âmbito da natureza fisiográfica da bacia, mantêm uma relação direta com o aumento das áreas impermeáveis. Alguns locais surgem como exemplificadores dessas alterações quanto a permeabilidade da bacia como será dissertado a seguir.

Um dos canais fluviais principais que dá nome a bacia, o rio Sarapuí, atravessa uma área extremamente impermeabilizada, inclusive em locais próximos a montante. Esse rio corta o Parque Municipal Natural do Gericinó e os municípios de Mesquita, Nilópolis, São João de Meriti, Belford Roxo e Duque de Caxias, onde deságua no rio Iguaçu, próximo a Baía de Guanabara. O rio Sarapuí é o responsável por ser o divisor político entre os municípios de Nilópolis e Mesquita e entre os municípios de Belford Roxo e São João de Meriti. Essa porção entre esses quatro municípios apresentou um elevado adensamento de áreas impermeáveis em todos os anos mapeados, onde a planície de inundação é totalmente desconsiderada e ocupada de forma indiscriminada. Com isso, são frequentes os problemas enfrentados, tanto pelo próprio rio que se encontra assoreado e servindo como um verdadeiro valão a céu aberto, como para os moradores desses locais que convivem com alagamentos e eventos de inundações, como demonstrado na reportagem da Figura 28.

Moradores estão ilhados por esgoto em São João de Meriti, na Baixada Fluminense

Rio Sarapuí, que corta a cidade e tem várias saídas de esgoto, transbordou. Seis ruas de Coelho da Rocha estão alagadas com dejetos.

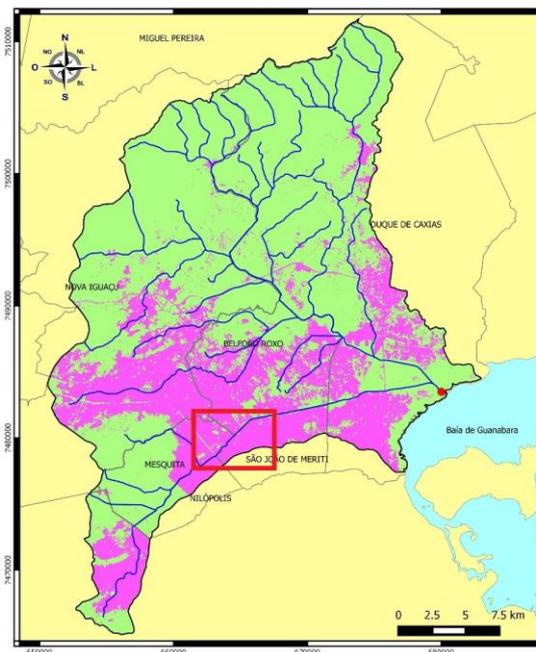


Figura 28 – À esquerda, reportagem sobre problemas de impermeabilização no município de São João de Meriti, e à direita, para efeito de localização, o Mapa de Permeabilidade do ano de 2017.

Fonte: <https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/moradores-estao-ilhados-por-esgoto-em-sao-joao-de-meriti-na-baixada-fluminense.ghtml>. Acessado em 03 de janeiro de 2018.

O bairro de Coelho da Rocha, em São João de Meriti, onde ocorreu o problema relatado acima é acometido por eventos de inundações e alagamentos há décadas, sem uma solução definitiva para tal por parte das sucessivas administrações municipais e estaduais. Além do problema da impermeabilização, falta também no local uma infraestrutura adequada para as águas pluviais. Segundo a reportagem supracitada, muitas saídas de esgoto desembocam no rio Sarapuí, que passa pela cidade e transbordou, misturando água e dejetos após um forte temporal que deixou pelo menos seis ruas completamente alagadas.

De acordo com o último censo, o município de São João de Meriti possui a maior densidade demográfica do estado do Rio de Janeiro com 13.024,56 hab/km² (IBGE, 2010). Esse adensamento populacional ocasionou no decorrer dos anos um grande acréscimo de áreas urbanizadas que afetam diretamente a área de drenagem do rio Sarapuí e que continuam a se intensificar conforme vimos nos mapas de cobertura e uso da terra. Nesse sentido, Motta Jr e Tucci (1984) e Campana e Tucci (1994) relacionam os índices de impermeabilização com a densidade habitacional, por ser uma informação disponível através dos censos, e também para que se possam caracterizar cenários futuros de impermeabilização, através das estimativas de crescimento populacional.

O rio Botas é um outro importante canal na bacia dos rios Iguaçu-Sarapuí que sofre com a urbanização e, conseqüentemente, está cercado por áreas impermeáveis. Nasce no Maciço de Gericinó-Mendanha, na localmente denominada Serra de Madureira, na cidade de Nova Iguaçu, passando pela área central desse município, além do bairro de Comendador Soares. Após adentrar no município de Belford Roxo e atravessar diversos bairros, deságua no rio Iguaçu no bairro de São Vicente. Seus principais afluentes são os Rio Maxambomba e o Rio das Velhas.

Entre as cidades de Nova Iguaçu e Belford Roxo, o rio Botas possui a sua planície de inundação densamente ocupada, com a presença de residências e até algumas fábricas como *Niely Cosméticos*, *Compactor*, *Usimeca* e *Granfino*. Esse corpo hídrico encontra-se altamente poluído e visivelmente assoreado em diversos pontos (Figura 29). O rio, caracterizado pela hidrologia, sedimentos, morfologia e comunidade biótica, reflete os cenários naturais e humanos atuantes na bacia hidrográfica (VIEIRA e CUNHA, 2001). Com isso, no sistema bacia hidrográfica, o rio como um elemento da paisagem altamente sensível às mudanças ambientais, torna-se o segmento mais vulnerável a qualquer tipo de alteração (THOMAS & ALLISON, 1993).



Figura 29 – Presença de diversas construções nas margens do rio Botas, no bairro Xavantes em Belford Roxo.

Fonte: o autor. Data da imagem: 16 de março de 2016

O que observamos atualmente nas margens impermeabilizadas do rio Botas, diz muito sobre o seu estado altamente degradado e inanimado. A utilização de materiais artificiais impermeáveis que cobrem boa parte do solo nas áreas urbanas tem sido uma opção quase única adotada pela população. De acordo com Poletto (2014), no avanço da urbanização, surgem novas obras de engenharia como edificações, pavimentação de ruas, calçadas e a consequente remoção da cobertura vegetal original do ambiente, o que ocasiona uma mudança na permeabilidade natural dessas áreas. Isso acaba refletindo no comportamento hidrológico da própria bacia hidrográfica, pois ainda de acordo com Poletto (2014, p.35):

Isso ocorre principalmente porque a urbanização tende a remover as vegetações existentes nas bacias hidrográficas, sendo as mesmas substituídas por áreas impermeáveis (calçadas, ruas pavimentadas, telhados, estacionamentos, etc.). Essas mudanças acabam ocasionando alterações no hidrograma local, fazendo com que os tempos de concentração sejam reduzidos e os picos de vazão sejam ampliados. (POLETO, 2014, p.35).

A área onde se localiza a foz do rio Botas, no bairro de São Vicente, em Belford Roxo, é marcada por um adensamento urbano menos expressivo e, conseqüentemente, uma maior quantidade de áreas permeáveis. Isso poderia ser algo positivo, se não fosse o fato de, ao chegar a sua foz, o rio Botas já acumular esgoto e dejetos carregados de trechos mais a montante.

Um importante rio na história não apenas da cidade de Nova Iguaçu, como de boa parte da Baixada Fluminense, o rio Iguaçu com seus 43 km de extensão desde o maciço do Tinguá até a Baía de Guanabara, atravessa os municípios de Nova Iguaçu, Belford Roxo e Duque de Caxias. Seu trajeto é marcado por uma heterogênea paisagem com áreas menos transformadas a montante contrastando com áreas densamente modificadas a jusante.

Nas áreas à montante, percebeu-se que a presença das Unidades de Conservação (Figura 10) garantiram a limitação das áreas construídas e, conseqüentemente, uma presença maior de áreas permeáveis (Figura 30). Segundo o Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC (BRASIL, 2000), “as Unidades de Conservação possuem objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção”.

Entretanto, embora essas unidades colaborem para a manutenção das áreas florestadas, foi observado em trabalhos de campo nas proximidades do rio Tinguá, um dos principais afluentes da margem a esquerda do rio Iguaçu, um processo de especulação imobiliária, com a comercialização de muitos terrenos, sítios e chácaras no bairro de Tinguá, em Nova Iguaçu, sendo que, muitas dessas áreas vêm sofrendo constantes pressões de ocupações irregulares, desde pequenos casebres até mesmo a instalação de fábricas (Figura 31).

A ocupação irregular das áreas de matas ciliares, além de provocar a retirada dessa vegetação pode ocasionar outros problemas como o lançamento direto de efluentes domésticos e resíduos sólidos dentro dos corpos d’água. Este processo foi presenciado nas margens do rio Tinguá, no bairro que leva o mesmo nome (Figura 32). De acordo com Cardoso *et al.* (2006) grandes porcentagens de casas construídas em bacias hidrográficas urbanizadas se situam da faixa de 10 a 15 metros a partir das margens do corpo d’água (área de vegetação ciliar), no que deveria ser um local de preservação permanente (Área de Preservação Permanente), como previstas inicialmente na Lei 4.771/1965 (BRASIL, 1965), revogada pela Lei 12.651, de 2012¹¹ (Novo Código Florestal) (BRASIL, 2012). Nessas mesmas áreas, os corpos d’água locais possuem apenas alguns resquícios da mata ciliar e estão totalmente expostas as atividades antrópicas.

¹¹ Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acessado em 07 de junho de 2018.

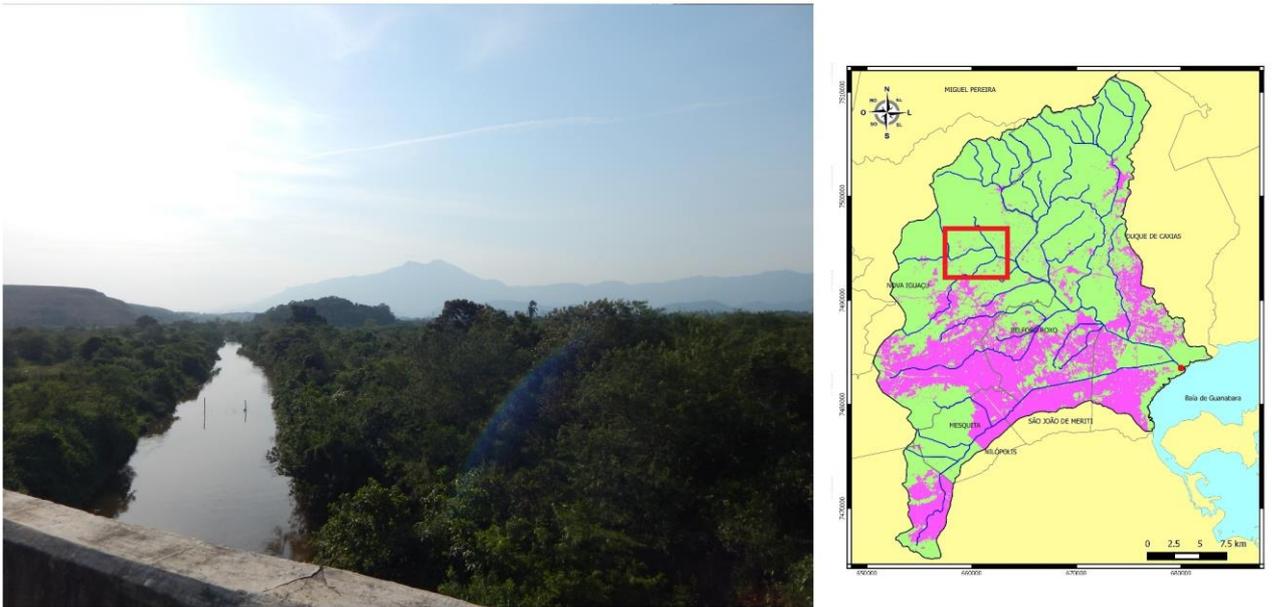


Figura 30 – Presença de áreas permeáveis nas margens do rio Iguaçu em áreas próximas a montante.

Fonte: o autor. Data da imagem: 30 de agosto de 2016



Figura 31 – Fábrica da Bonafont Água Leve (Danone) instalada no interior da APA do Alto Iguaçu, no bairro de Tinguá.

Fonte: o autor. Data da imagem: 11 de abril de 2016

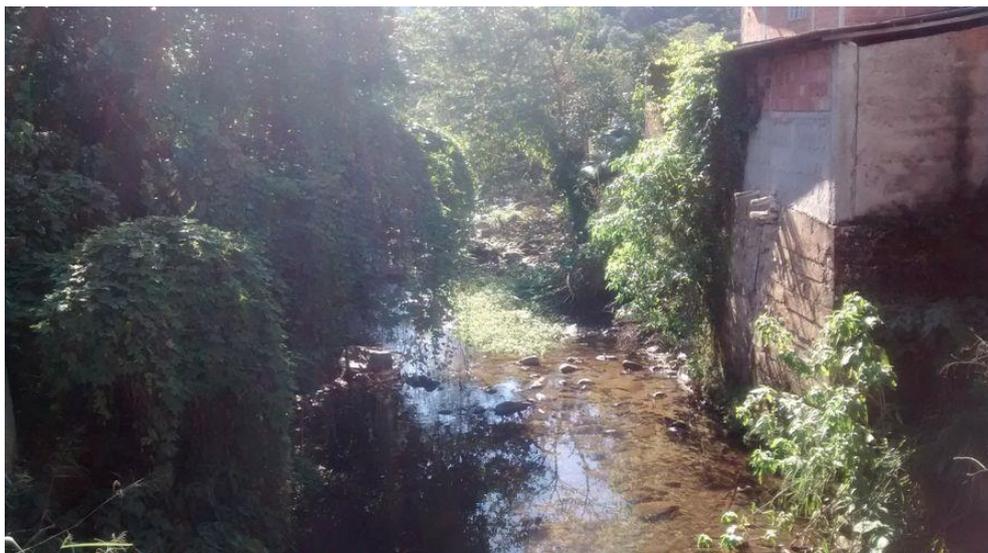


Figura 32 – Margens do rio Tinguá com ocupações.

Fonte: o autor. Data da imagem: 04 de abril de 2017

Em direção à jusante, o rio Iguazu começa a ser margeado de forma mais recorrente por inúmeras construções, principalmente nos municípios de Belford Roxo e Duque de Caxias, causando assim uma maior presença de áreas impermeáveis em seu percurso. Além dessa impermeabilização, sofre também a partir do deságue de seus principais afluentes Botas, Pilar, Capivari e Sarapuí que despejam esgoto, matéria orgânica e dejetos residenciais e industriais.

A pouco menos de 5 km de distância de sua foz, na Baía de Guanabara, o rio Iguazu passa ao lado da REDUC. A localização desta refinaria causa diversas críticas por parte dos pescadores locais e ambientalistas. Não são raras as denúncias de contaminação das águas do Iguazu através de vazamentos de óleo. Segundo reportagem do jornal *Estadão*¹², por exemplo, de dezembro de 2011, a REDUC foi acusada de cometer crime ambiental, pois, após o INEA (Instituto Estadual do Ambiente) realizar coletas nos dutos da refinaria que deságuam no rio, foi constatado na época que a presença de substâncias orgânicas e químicas, como óleo e graxa, estava em volume superior ao permitido por lei. Em relação a esse tipo de poluição, Nascimento e Heller (2005) apontam que a urbanização produz impactos distintos de natureza física, química e biológica sobre os meios receptores, fazendo com que os rios, ao passarem por áreas urbanas, recebam uma carga poluente de grandes proporções que causam alterações na qualidade da água, na biota aquática, na morfologia fluvial e no regime hidrológico.

Outro acréscimo de áreas impermeáveis indicado no mapeamento de permeabilidade da bacia hidrográfica dos rios Iguazu-Sarapui, especificamente para o ano de 2017, se refere à construção do Arco Metropolitano do Rio de Janeiro (BR-493) e suas áreas marginais. Construído para desafogar o trânsito, principalmente das cargas rodoviárias que chegam ao Rio de Janeiro, a rodovia é marcada atualmente por apresentar um ritmo intenso de construções irregulares às suas margens. Na área de estudo do presente trabalho, esse eixo viário atravessa os municípios de Duque de Caxias e Nova Iguaçu, onde é possível perceber pontos de favelização e adensamento populacional que muitas das vezes por não ter opções

¹² Disponível em: <http://www.estadao.com.br/noticias/geral,educ-pode-ter-causado-poluicao-do-rio-iguacu,809673> Acessado em: 22 de janeiro de 2018. 12:58 hrs.

para onde residir, famílias estão construindo casas e ocupando desordenadamente as margens da rodovia sem qualquer infraestrutura e saneamento básico.

Há também a pressão que algumas Unidades de Conservação vêm sofrendo devido à construção desse eixo rodoviário, que atravessa as APAs de Retiro, Rio D'Ouro e Tinguazinho, podendo ocasionar a retirada da vegetação natural e alterando assim, a permeabilidade do solo.

Com o intuito de sintetizar os dados obtidos a partir dos mapeamentos de áreas permeáveis e impermeáveis da bacia hidrográfica dos rios Iguazu-Sarapuí, a Figura 33 apresenta o gráfico evolutivo da permeabilidade da área de estudo destacando, como já mencionado anteriormente, as transformações que ocorreram no período de 1985, 1995, 2005 e 2017, evidenciando a redução gradativa da classe Áreas permeáveis e o acréscimo progressivo da classe Áreas impermeáveis.

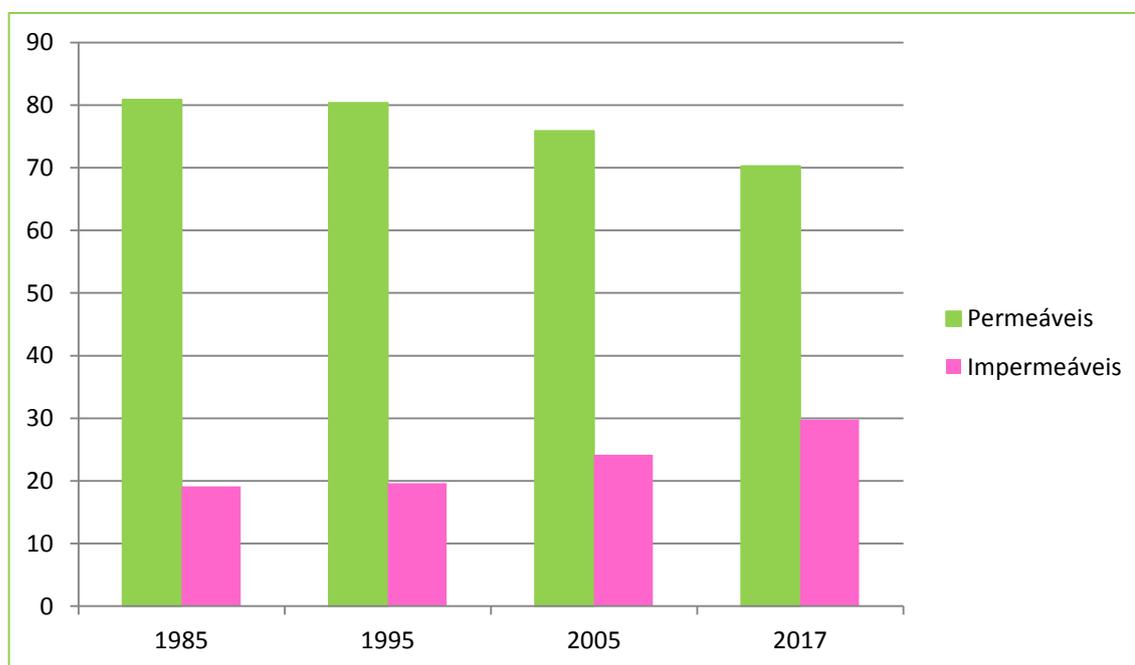


Figura 33 - Gráfico evolutivo das áreas permeáveis e impermeáveis nos anos 1985, 1995, 2005 e 2017 (%).

Para Schueler (1994), a qualidade do fluxo de escoamento da água começa a degradar quando mais que 10% da área de uma bacia hidrográfica é impermeabilizada. Tucci (2000) relacionou o aumento do volume de escoamento superficial em bacias urbanas em função da porcentagem de impermeabilização e observou que superfícies impermeabilizadas em 7, 20, 60 e 80% produziram, respectivamente, aumentos aproximados de 2, 3, 6 e 8 vezes no volume de escoamento.

De acordo então com Schueler (1994), o meio ambiente já é considerado desgastado se possuir área impermeável maior que 10%. Desse modo, a bacia hidrográfica dos rios Iguazu-Sarapuí já estava com desgaste superior a este valor (19,13%) no ano de 1985. E, de acordo com o panorama indicado por Tucci (2000), ressalta-se o ano de 2017 com um total de 29,77% de áreas impermeabilizadas, quando a bacia hidrográfica em questão pode chegar a ter um aumento de três vezes quanto ao volume de escoamento. Devido, então, a essa

impermeabilização, a tendência é que haja uma redução da infiltração da água precipitada acarretando um forte aumento do escoamento superficial de águas pluviais.

Nesse sentido, Christofolletti (2002) aponta que a ampliação das áreas impermeabilizadas devido ao crescimento urbano repercute na capacidade de infiltração das águas no solo, favorecendo o escoamento superficial, a concentração das enxurradas e a ocorrência de inundações, afetando também o funcionamento do ciclo hidrológico, pois interfere no rearranjo dos armazenamentos e na trajetória das águas. Portanto, a ocorrência de inundações possui total relação com as condições de impermeabilidade do solo.

4.3. Análise das mudanças na permeabilidade da bacia hidrográfica dos rios Iguazu-Sarapuí, a partir de padrões de cobertura e uso da terra, com as áreas de suscetibilidade à inundação a partir de mapeamentos das Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações (CPRM, 2015).

As alterações na superfície da bacia hidrográfica dos rios Iguazu-Sarapuí acarretam vários problemas para o ambiente físico e humano, como já mencionado anteriormente. E uma das ocorrências que mais afetam a área de estudo são os eventos de inundações que ocorrem frequentemente em épocas chuvosas. Poletto (2014) afirma que a ocorrência das inundações urbanas está totalmente relacionada à urbanização, pois essa tende a remover a vegetação existente nas bacias hidrográficas, com a sua substituição por áreas impermeáveis.

Nesse sentido, foram realizadas, através de técnicas de geoprocessamento e equações matemáticas, sobreposições das áreas permeáveis e impermeáveis da bacia dos rios Iguazu-Sarapuí no interior das áreas definidas pelo CPRM (2015) como suscetíveis a inundações. O CPRM (2015) classifica como alta, média e baixa as áreas onde a propensão ao processo é maior ou menor em comparação a outras.

As cartas de suscetibilidade elaboradas pelo CPRM referem-se à indicação de áreas propensas ao desenvolvimento de processos do meio físico que podem gerar desastres naturais, em face da presença de fatores predisponentes básicos em terrenos ocupados e não ocupados. Portanto, por mais que áreas apontadas como permeáveis fossem encontradas no interior da delimitação que o CPRM realizou, isso não indica propriamente uma contradição, pois, primeiramente, estamos nos referindo a uma área de planícies aluviais, onde naturalmente já hajam condições para que os rios transbordem e, além disso, os critérios adotados pelo órgão não levaram em consideração apenas a cobertura e uso da terra. Por mais que as alterações na permeabilidade da superfície mereçam toda a atenção, representa apenas um dos fatores apontados como predisponentes básicos para a ocorrência das inundações urbanas. Em concordância, Botelho (2011, p. 82) aponta que

a ocorrência de cheias ou o transbordamento das águas dos canais fluviais é fenômeno natural, característico das áreas de baixo curso dos rios e responsável pela formação das planícies e terraços aluviais. Como parte da dinâmica fluvial, as cheias são controladas pelo volume e distribuição das águas das chuvas, pelo tipo e densidade da cobertura vegetal, pelas diferenciações na cobertura pedológica, substrato geológico, características do relevo, como declividade e forma das encostas, e geometria do canal fluvial. Todos esses fatores atuam sobre a quantidade e a distribuição das águas, determinando a frequência e a intensidade das cheias em uma bacia hidrográfica. (BOTELHO, 2011, p. 82).

O documento do CPRM foi realizado a partir de índices morfométricos, da aplicação do modelo denominado HAND (*Height Above Nearest Drainage*) e divulgado em 2016. Com isso, foram analisadas as sobreposições dos mapeamentos de permeabilidade de modo a verificar se essa área considerada atualmente como suscetível a inundação pelo CPRM sofreu alguma alteração quanto à permeabilidade no período de 1985 a 2017.

A Figura 34 apresenta as áreas suscetíveis a inundações no interior da bacia dos rios Iguaçu-Sarapuí, na escala 1:200.000, classificadas em baixa, média e alta suscetibilidade.

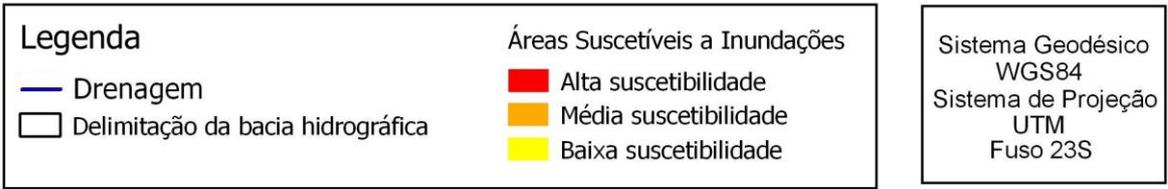
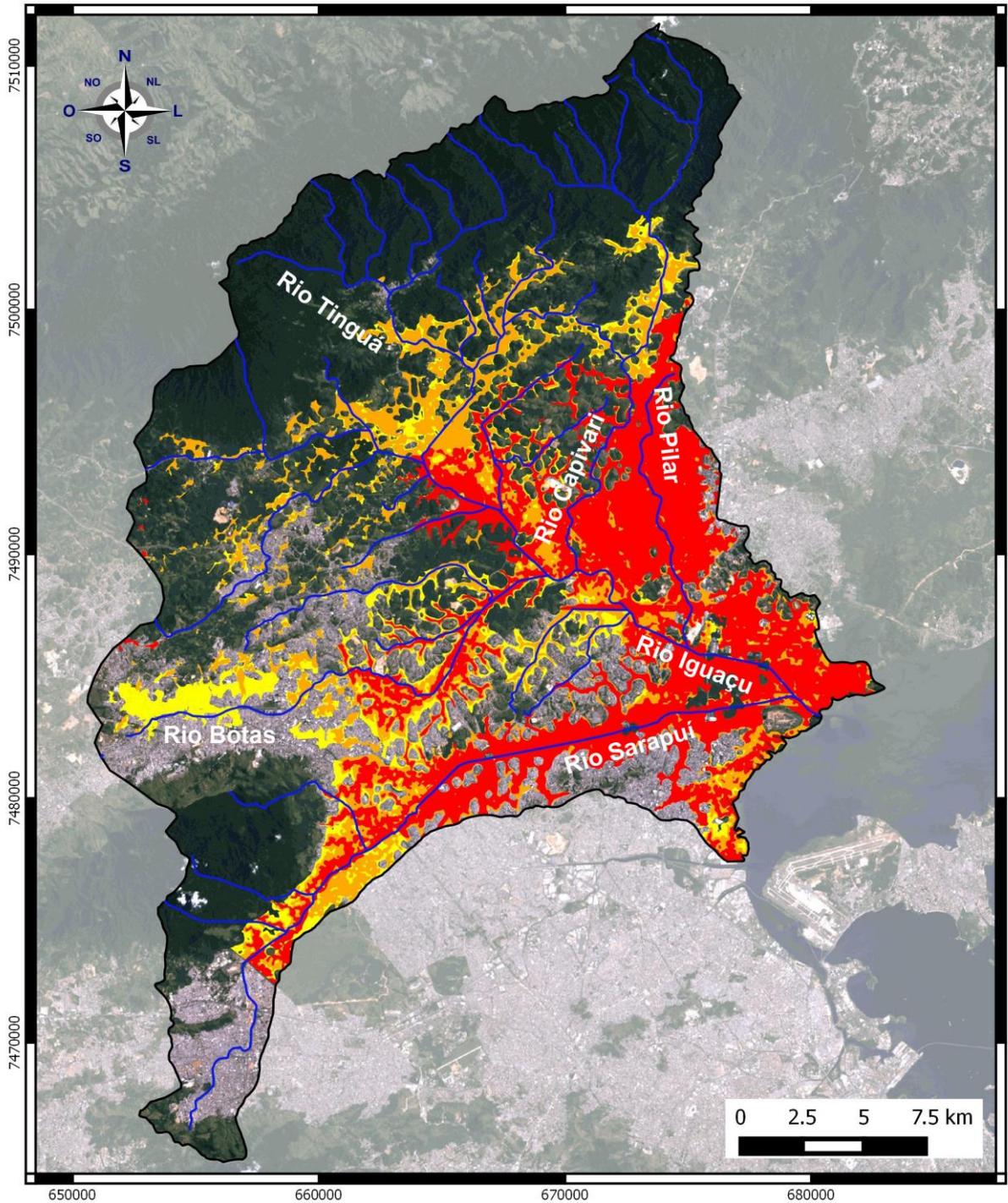


Figura 34 - Áreas suscetíveis a inundações (CPRM) no interior da bacia hidrográfica dos rios Iguazu-Sarapuí.

Elaboração: o autor. Fonte: CPRM (2015).

Dos 732,487 km² de extensão territorial da bacia dos rios Iguaçu-Sarapuí, 236,210 km², ou seja, 32,24% foram considerados áreas suscetíveis à inundações. Desses, 127,695 km² (17,43%) são classificados como de alta suscetibilidade, 71,951 km² (9,82%) como média suscetibilidade e 36.564 km² (4,44%) como baixa suscetibilidade.

Nota-se que as áreas com alta suscetibilidade à inundações foram verificadas principalmente nas áreas próximas aos canais fluviais. Nas margens do rio Sarapuí¹³, a essa classe aparece em praticamente todo o seu trajeto, se intensificando ainda mais quando o mesmo atravessa uma grande área impermeável em seu médio e baixo cursos até a foz. Nas margens do rio Botas, o mesmo processo ocorre e se intensifica a partir do ponto em que o rio atravessa as áreas centrais dos municípios de Nova Iguaçu e Belford Roxo.

O rio Iguaçu apresentou uma grande suscetibilidade à inundações em suas margens, principalmente nas confluências com seus afluentes rio Tinguá, rio Pilar, rio Capivari e rio Sarapuí. O trecho, inclusive, entre os rios Capivari e Pilar apresentou grandes áreas com alta suscetibilidade à inundações. Além do processo de urbanização que essa região atravessa, e que vai do bairro Lote XV (Belford Roxo) aos bairros de Parque Capivari, Cidade dos Meninos e Campos Elísios (Duque de Caxias), como já mencionado, os rios da bacia hidrográfica em estudo possuem como característica percorrerem uma extensa área de planícies aluviais, como demonstrado nos perfis longitudinais dos principais canais (Figura 35), fazendo com que naturalmente surjam pontos de extravasamento dos rios em épocas de cheia ou quando a vazão aumenta.

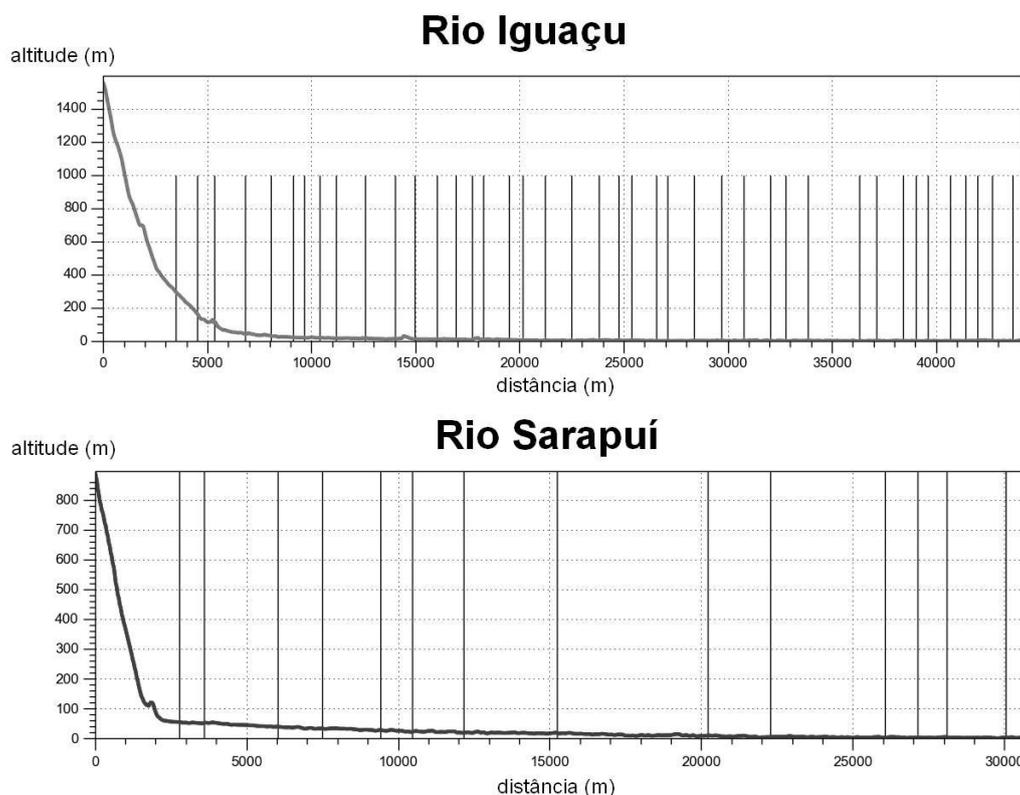


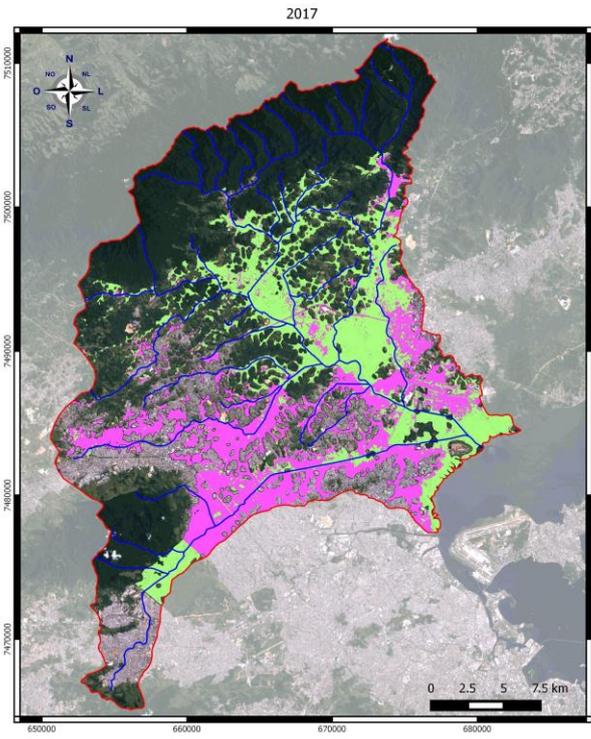
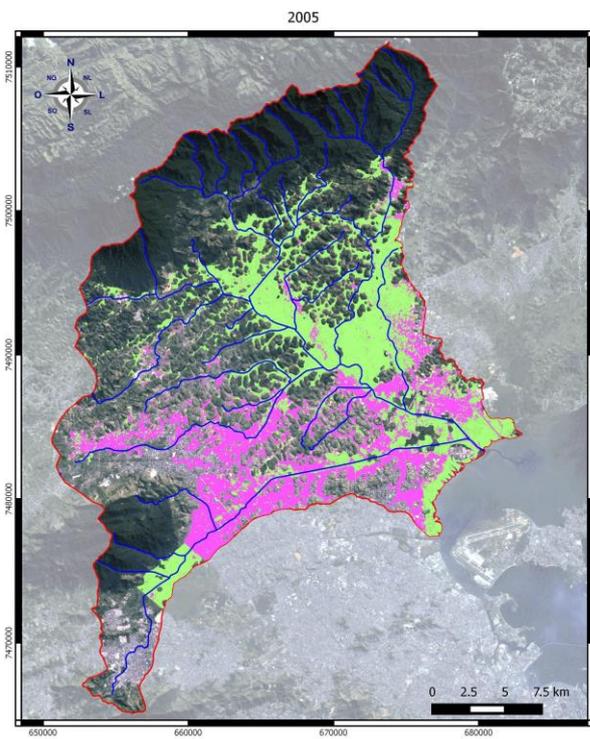
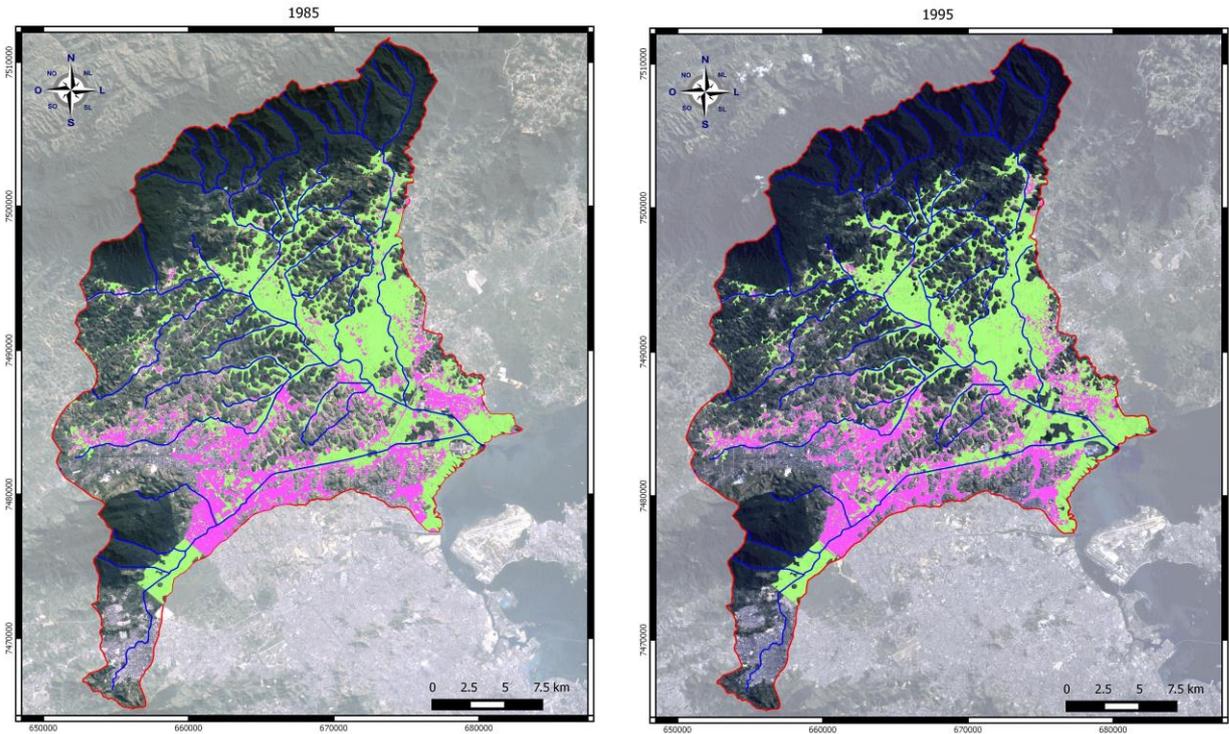
Figura 35 – Perfil longitudinal dos rios Iguaçu e Sarapuí.

¹³ Devido ao alto índice de áreas impermeáveis, considera-se que o rio Sarapuí também seria de alta suscetibilidade a inundações quando o mesmo percorre uma pequena parte do município do Rio de Janeiro. Porém, as cartas de suscetibilidade do CPRM não possuíam dados deste município, impossibilitando, assim, a análise nessa porção do território da bacia hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí.

A partir dos 5000 metros de seus trajetos, nota-se que os dois principais rios da bacia percorrem áreas que não ultrapassam a cota de 100 metros de altitude em seu médio e baixo cursos, permanecendo assim até a sua foz. A ocupação de áreas sem a devida consideração sobre a dinâmica dos rios, a consequente impermeabilização da superfície, somada a uma morfologia propícia e a falta de estrutura básica de saneamento básico vêm trazendo prejuízos ambientais e sociais ao longo do tempo nessa área.

Os processos hidrogeomorfológicos são dinâmicos e estão a todo tempo em transformação. De acordo com Stevaux e Latrubesse (2017), o sistema fluvial, como todo sistema geomórfico, possui um grande número de variáveis, cuja hierarquia, sensibilidade e inter-relação são extremamente complexas, de forma que a interferência antrópica num determinado ponto pode se propagar tanto espacialmente, por longas distâncias, quanto temporalmente, por um longo período de tempo após a intervenção.

Com isso, foram analisadas as sobreposições dos mapeamentos de permeabilidade, em diferentes anos, com o intuito de constatar se essa área considerada atualmente como suscetível a inundação pelo CPRM sofreu alguma alteração quanto à permeabilidade ao longo do tempo. A Figura 36 apresenta os mapeamentos de permeabilidade no interior das áreas suscetíveis a inundações (definidas pelo CPRM) na bacia dos rios Iguazu-Sarapuí para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2017.



Legenda

- Delimitação da Bacia Hidrográfica dos rios Iguaçu-Sarapuí (RJ)
- Drenagem da Bacia
- Áreas Permeáveis
- Áreas Impermeáveis

Sistema Geodésico
WGS84
Sistema de Projeção
UTM
Fuso 23S

Figura 36 – Mapa de permeabilidade no interior das áreas suscetíveis a inundações (definidas pelo CPRM) para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2017.

O Quadro 8 apresenta a quantificação dos resultados com a evolução da permeabilidade, além de mostrar a variação percentual das classes. Observou-se durante as comparações que a classes definida como "Áreas Impermeáveis" obteve um incremento consecutivo e, após um período de 32 anos (1985-2017), 41,9% de aumento total. No entanto, as classes definidas como "Áreas Permeáveis" registraram consecutivas perdas com um declínio total ao final do período analisado de 19,1%.

Quadro 8 – Síntese dos dados de mapeamentos de permeabilidade, referentes aos anos de 1985, 1995, 2005 e 2017, no interior das áreas suscetíveis a inundações definidas pelo CPRM.

Classes	Área em 1985 (km ²)	Área em 1985 (%)	Área em 1995 (km ²)	Área em 1995 (%)	Área em 2005 (km ²)	Área em 2005 (%)	Área em 2017 (km ²)	Área em 2017 (%)	Variação (%) no período (1985-2017)
Áreas Permeáveis	165,239	68,68	161,137	68,21	144,248	61,06	131,228	55,55	- 19,1
Áreas Impermeáveis	70,971	31,32	75,073	31,79	91,962	38,94	104,982	44,45	+ 41,9
TOTAL	236,210	100,0	236,210	100,0	236,210	100,0	236,210	100,0	-

A área definida pelo CPRM, em 2015, como suscetível à ocorrências de inundações apresentou mudanças quanto a sua cobertura superficial. Na Tabela 11 pode ser observado que no ano de 1985 e 1995, 68,68% e 68,21%, respectivamente, dessa área pertencia à classe permeável. Nos anos de 2005 e 2017 os valores relativos a esta classe passaram para 61,06% e 55,55%, respectivamente. A redução nesses valores explica uma pavimentação e edificação nos quarteirões, sendo esse aumento mais expressivo nas duas últimas décadas analisadas. O aumento das coberturas impermeabilizadas demonstra como essa área foi sendo transformada ao longo do período analisado, contribuindo, assim, para o aumento dessa condição de impermeabilização nas áreas suscetíveis a inundações urbanas.

A Figura 37 apresenta os gráficos com a quantificação das classes alta, média e baixa suscetibilidade a inundações para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2017.

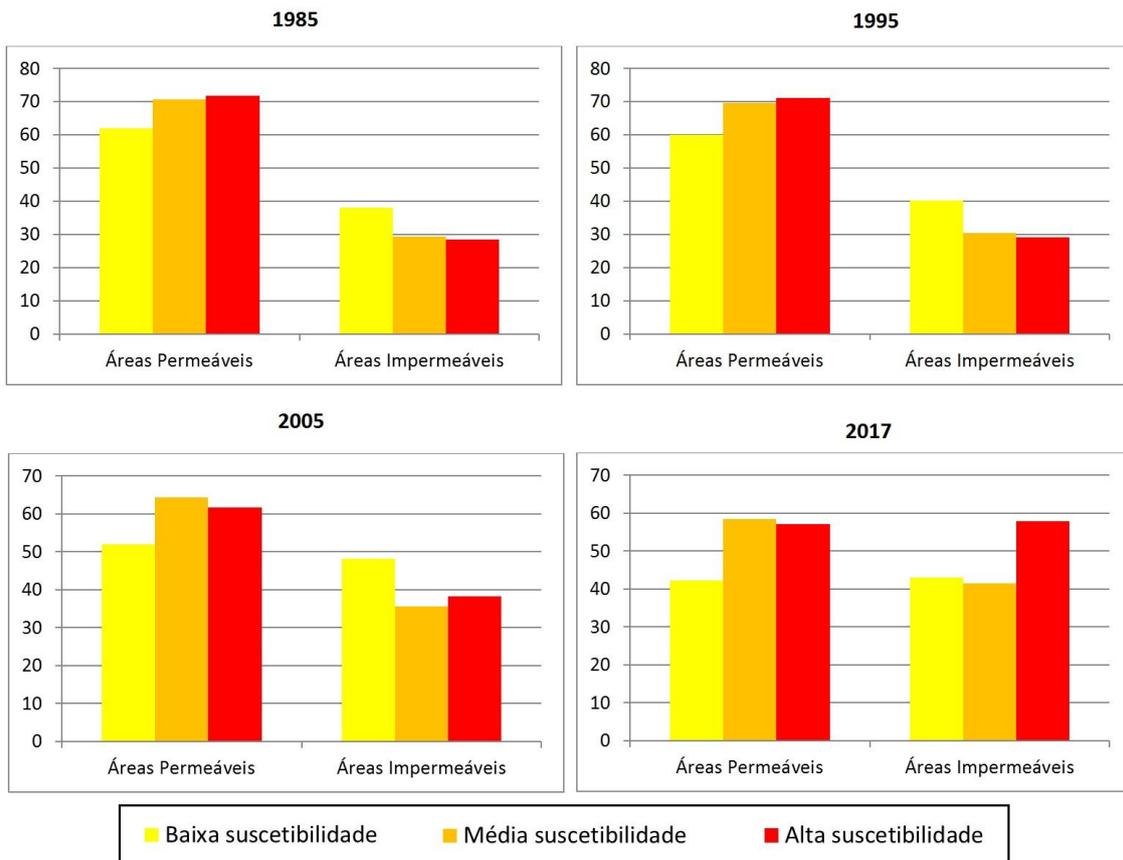


Figura 37 – Quantificação das classes alta, média e baixa suscetibilidade à inundações em áreas permeáveis e impermeáveis nos anos de 1985, 1995, 2005 e 2017 (%)

Os dados quantitativos acima revelaram que as áreas classificadas como alta suscetibilidade à inundações apresentaram um acréscimo quando sobrepostas às áreas impermeáveis. Como o CPRM define que a variação da suscetibilidade se dá em comparação a outras classes, alerta-se para esse acréscimo acima mencionado, pois aponta para o aumento de uma classe que apresentou as maiores suscetibilidades para a ocorrência das inundações. Em 1985 as áreas com alta suscetibilidade a inundações possuíam 71,6% de sua superfície permeável e 28,3% de sua superfície impermeável, enquanto no ano mais atualizado da análise, essa mesma área com alta suscetibilidade à inundações possuía 57,07 % de superfície permeável e 42,93% de superfície impermeável.

Tal fator surge como um alerta para cenários futuros, pois se esse ritmo seguir em relação ao aumento de áreas impermeabilizadas, em poucos anos poderemos ter um aumento de áreas com alta suscetibilidade a inundações que causarão ainda mais impactos para a rede de drenagem e a população.

Pode-se observar que a ocupação, no que hoje é definida como áreas suscetíveis à inundações pelo CPRM, no interior da bacia hidrográfica dos rios Iguazu-Sarapuí, foi intensificada ao longo dos últimos trinta e dois anos (1985 a 2017), com as mudanças no uso do solo, incluindo-se o surgimento de novos loteamentos. Em alguns casos, já demonstrados nas Figuras 19, 29 e 32, as casas se localizam a poucos metros da calha fluvial.

Soma-se a isso os problemas de infraestrutura no sistema de drenagem na área de estudo que se apresenta, muitas vezes repleto de resíduos sólidos que impossibilitam a

passagem da água, contribuindo para o aumento do escoamento superficial. Esse problema é recorrente nas cidades brasileiras. De acordo com Botelho e Silva (2011), os sistemas de drenagem urbana, criados para conduzir as águas pluviais, de modo a evitar danos ao ambiente e a sociedade, na forma de erosão, assoreamento e enchentes, muitas vezes mostram-se ineficientes por terem sido subdimensionados ou, mais comumente, por falta de investimentos em serviços de melhoria e ampliação da rede, ou ainda por direcionamento inadequado das águas, agravando ainda mais seus efeitos.

Por mais que o mapeamento do CPRM tenha sido realizado com parâmetros condizentes ao ano de 2015, sendo assim, mais próximo da realidade apresentada no mapeamento de 2017, a sobreposição dos mapeamentos de permeabilidade dos anos anteriores ressalta como que essa área vem se modificando através de ações antrópicas que priorizam interesses econômicos de classes e corporações dominantes sem qualquer planejamento ambiental e urbano, e não considerando as alterações nos processos hidrogeomorfológicos que tais ações podem ocasionar.

As bacias hidrográficas em fase de urbanização estão sujeitas à rápidas transformações, como alterações qualitativas da paisagem, degradação ambiental e ocupação irregular. Uma vez que ocorrem de forma intensa, os impactos ambientais nesta unidade natural são também de considerável magnitude (GUIMARÃES e PENHA, 2009).

A escassa presença de nichos de vegetação tem sido cada vez mais substituída por ruas e calçadas. Segundo Tucci (2013) as ruas respondem por cerca de 40 a 50% da cobertura impermeável nas áreas residenciais. Já os telhados, dependem do tipo de habitação (popular ou de classe média ou alta) construída no local. Em ambos os casos, esses dois tipos de superfícies impermeáveis (além dos estacionamentos), são os que mais contribuem para as enchentes urbanas.

Tucci (2013) também destaca que a urbanização atrelada ao desmatamento acaba produzindo um aumento da frequência de inundações após eventos de cheias pequenas e médias, inclusive. Com isso, percebe-se o quanto tais transformações oriundas do processo de urbanização interferem na frequência de ocorrência de inundações.

Com isso, quando a precipitação é intensa, a quantidade de água que chega simultaneamente ao rio pode ser superior à sua capacidade de drenagem, ou seja, a da sua calha normal, resultando na inundação das áreas ribeirinhas. Nesse sentido, Poletto (2014) aponta que os problemas resultantes da inundação dependem do grau de ocupação da várzea pela população e da frequência com a qual ocorrem as inundações.

Algumas medidas foram iniciadas para tentar amenizar os efeitos dessas transformações na superfície que possibilitam as ocorrências de inundações urbanas de forma mais frequente. Destaca-se o Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Iguaçu-Sarapuí: Ênfase no controle de inundações, conhecido como Projeto Iguaçu. Sob a responsabilidade do Instituto Estadual do Ambiente (Inea), o projeto está incluído no Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), do Governo Federal – e tem como objetivo o controle de inundações e a recuperação ambiental das bacias dos Rios Iguaçu, Botas e Sarapuí, na Baixada Fluminense.

O Projeto Iguaçu estimou um universo de cerca de 180 mil pessoas vivendo em áreas sujeitas a inundações na bacia (CARNEIRO, 2008), onde as condições socioambientais são as mais precárias. Essas pessoas convivem com o lixo e o esgoto de suas casas sendo lançados diretamente nos rios e canais, piorando as condições de escoamento e de qualidade das águas.

A erosão e o desmatamento das margens produzem sedimentos que, transportados para os rios, acabam reduzindo a sua capacidade de escoamento e retendo o lixo acumulado. A ocorrência de algumas doenças, tais como, a leptospirose (diretamente relacionada à frequência e intensidade das inundações), hepatite, dengue, entre outras acabam sendo associadas a essas condições ambientais nocivas.

A partir de 2007, vinculadas ao Projeto Iguaçu, foram realizadas obras, que incluíram drenagem, barragem, reflorestamento de encostas, recuperação de nascentes e urbanização das margens dos rios: avenidas-canal e parques de lazer para desestimular a ocupação das faixas marginais e, nos trechos mais sujeitos a alagamentos, parques inundáveis. Segundo as informações disponibilizadas pelo portal do Governo do Estado do Rio de Janeiro¹⁴, até julho de 2011 já foram executados a dragagem de 56 km de rios e canais, com a retirada de 5,58 milhões de toneladas de lama e lixo, a implantação de 10,3 km de vias marginais, implantação de seis Parques Fluviais, plantio de 1.105 árvores e o reassentamento de 1.730 famílias ribeirinhas.

Porém, de acordo com Carneiro (2008), apesar de bastante abrangentes, as intervenções realizadas nessa primeira fase do Projeto Iguaçu no período (2007-2011) não foram suficientes para sanar completamente décadas de abandono e de urbanização caótica. O anúncio de cortes no Programa de Aceleração de Crescimento (PAC) atingiu em cheio o Projeto Iguaçu que, além disso, viu os recursos para obras serem congelados pelo Tribunal de Contas da União (TCU), que alegou encontrar irregularidades na primeira fase do projeto. Com isso, uma iniciativa que se apresentou como o mais abrangente e criativo projeto para lidar de maneira adaptativa com o fenômeno das enchentes na Baixada Fluminense se encontra parado, com obras inacabadas, rios se deteriorando e populações vivendo em condições completamente insalubres e que podem ser agravadas de acordo com os dados produzidos nessa pesquisa com relação ao agravamento das condições de impermeabilização na bacia de drenagem.

¹⁴ Disponível em: <http://www.rj.gov.br/web/informacaopublica/exibeconteudo?article-id=1043614>. Acessado em 25/03/2018.

5. CONCLUSÕES

As variações na permeabilidade da superfície estão diretamente relacionadas com a heterogeneidade da paisagem e mudanças na cobertura e uso da terra. Os resultados indicaram a estreita relação entre as áreas construídas com as áreas impermeáveis e suscetíveis a ocorrência de inundações urbanas, e que merecem extrema atenção na medida em que influenciam as dinâmicas hidrogeomorfológicas. Além disso, constatou-se o papel da cobertura vegetal na redução das superfícies impermeabilizadas, juntamente com a redução das áreas suscetíveis a inundação nas áreas de Unidades de Conservação ou mesmo no entorno dessas áreas protegidas.

Percebeu-se uma relação entre as áreas suscetíveis a inundações apontadas pelo CPRM, nas áreas mais urbanizadas, completamente sem vegetação. Esse resultado pode ser atribuído principalmente às transformações locais ocasionadas pelo uso do solo ao longo dos anos, bem como pela utilização de materiais que impedem ou dificultam a infiltração da água no subsolo (concreto, asfalto, pavimento, telhados, dentre outros). Essa urbanização altera significativamente os elementos físicos de uma paisagem gerando interferências nas dinâmicas dos processos hidrogeomorfológicos que a cada ano impactam e vitimizam a população que reside na área de estudo, assim como os canais fluviais que apresentam quadros de degradação avançados.

A morfologia onde se encontra área de estudo propicia a ocorrência de inundações, porém intensificadas devido à presença de áreas construídas que impermeabilizam a superfície. No entanto, observa-se que assim como a presença das unidades de conservação, a implementação de projetos que visem combater os problemas de inundações urbanas nessa área, como o Projeto Iguaçu, por exemplo, pode retardar ou até mesmo amenizar a geração de condições para a sua ocorrência.

As transformações na cobertura e uso da terra se apresentaram como responsáveis (porém, não a única condição) pela ocorrência das inundações na bacia, associados às condições morfológicas e hidrológicas particulares dessa área da Baixada Fluminense. Nesse processo também se apresentam como agravantes: a falta de infraestrutura urbana, a deficiência ou total inexistência dos serviços de esgotamento sanitário e coleta de lixo, a exploração de recursos minerais, a ocupação desordenada e ilegal de margens dos rios ou de planícies inundáveis, a obstrução ou alteração do escoamento em decorrência da obtenção de novos locais para ocupar bem como de muros e edificações que obstruem as calhas dos rios. Segundo Carneiro (2008), na origem destes problemas sempre se encontra uma legislação inadequada de uso do solo ou, na grande maioria dos casos, o não cumprimento da legislação existente.

A convivência do ser humano com os sistemas fluviais necessita de técnicas e metodologias que permitam a exploração necessária dos recursos hídricos com o mínimo de impacto, de modo que o sistema mantenha sua estrutura e funcionamento (STEVANUX e LATRUBESSE, 2017). Nesse sentido, Downs e Gregory (2004) afirmam que o manejo deve ser pensado no âmbito da bacia hidrográfica e não apenas da planície aluvial. Uma das alternativas seria a criação de zonas-tampão urbanas que podem atuar na manutenção ou restauração do ambiente fluvial através da estabilização das margens e filtração de sedimentos.

Tucci (1999, p. 10) propõe alguns princípios e possíveis alternativas que visam evitar os problemas relacionados as inundações urbanas:

A drenagem deve ser planejada em conjunto dos outros sistemas, principalmente o plano de controle ambiental, esgotamento sanitário, disposição de material sólido e tráfego; [...] O escoamento durante os eventos chuvosos não pode ser ampliado pela ocupação da bacia, tanto num simples loteamento, como nas obras de macrodrenagem existentes no ambiente urbano [...] O Plano Diretor de Drenagem urbana, na sua regulamentação, deve contemplar o planejamento das áreas a serem desenvolvidas e a densificação das áreas atualmente loteadas [...]. O controle de enchentes deve ser realizado considerando a bacia como um todo e não trechos isolados [...] o controle de enchentes é um processo permanente; não basta que se estabeleçam regulamentos e que se construam obras de proteção, é necessário estar atento as potenciais violações da legislação na expansão da ocupação do solo das áreas de risco. Portanto, recomenda-se que a comunidade tenha uma participação nos anseios, nos planos, na sua execução e na contínua obediência das medidas de controle de enchentes. [...] A educação: a educação de engenheiros, arquitetos, agrônomos e geólogos, entre outros profissionais, da população e de administradores públicos é essencial para que as decisões públicas sejam tomadas conscientemente por todos. (TUCCI, 1999, p. 10).

Os resultados obtidos também ressaltam as possibilidades da utilização de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto a partir de geotecnologias eficientes, de fácil acesso e gratuitas de forma a contribuir com a representação espacial das dinâmicas relacionadas às alterações na superfície, sendo utilizadas para analisar os processos físico-naturais atuantes e as consequências das ações antrópicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, C. D. **Mudanças da cobertura e uso da terra decorrentes da expansão da cana-de-açúcar utilizando dados TM MODIS com análise orientada a objeto.** 139 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, SP, 2011.
- AMADOR, E. S. **Bacia da Baía de Guanabara Características geoambientais, formação e ecossistemas.** Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2012. 405 p.
- AMADOR, E. S. **Baía de Guanabara e ecossistemas periféricos.** Rio de Janeiro: Edição do Autor, 1997. 539 p.
- AMADOR, E. S. Traços gerais da evolução quaternária da Bacia do Rio São João-RJ. In: **XXXI Congresso Brasileiro de Geologia:** p. 542-556, 1978.
- ANDERSON, J. R.; HARDY, E. E.; ROACH, J. T.; WITMER, R. E. **Sistema de classificação do uso da terra e do revestimento do solo para utilização com dados de sensores remotos.** Tradução de Harold Strang. Rio de Janeiro: IBGE, SUPREN, 1979. (Série Paulo de Assis Ribeiro, n. 9).
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os Trópicos.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002. 332 p.
- BACCARO, C. A. D. Os estudos experimentais aplicados na avaliação dos processos geomorfológicos de escoamento pluvial em área de cerrado. **Revista Sociedade e Natureza.** Uberlândia: EDUFU, 1994. p. 55-61.
- BAHIA. Superintendencia de Proteção e Defesa Civil. **Inundação e Alagamento – O que fazer?** 2015. Disponível em http://www.defesacivil.ba.gov.br/?page_id=218, Acessado em novembro de 2017
- BERTALANFFY, L. V. **Teoria geral dos sistemas.** Tradução de Francisco M. Guimarães 2º ed. Petrópolis: Vozes, 1975. 360 p.
- BERTALANFFY, L.V. An outline of general system theory. **British Journal for the Philosophy of Science 1:** 134-165. 1950
- BERTRAND, C.; BERTRAND, G. **Uma geografia transversal e de travessias: o meio ambiente através dos territórios e das temporalidades.** Tradução de Messias Modesto dos Passos. Maringá: Massoni, 2009, 358 p.
- BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física global: esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**, n.13, 1971. 27 p.
- BERTRAND, G. Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique. Tradução: Olga Cruz. **Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest**”, Toulouse, v. 39 n. 3, p. 249-272, 1968.
- BITAR O. Y. (Coord.). Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações -1:25.000: **Nota Técnica Explicativa.** 2014. São Paulo: IPT; Brasília, DF: CPRM, 2014 (Publicação IPT 3016).

BOTELHO, R. G. M.; Bacias hidrográficas urbanas. In: GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p. 71-115.

BOTELHO, R. G. M.; CORATO, R. M. S. Uso da Microbacia como Unidade Fundamental de Análise em Ciências Ambientais: uma avaliação a partir dos Simpósios Nacionais de Controle de Erosão. **VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão**. (CD-ROM), Goiânia, 2001.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. In: VITTE, A. C; GUERRA, A. J. T. (Org). **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. p. 153-192.

BRANDÃO, A. M. P. M. As alterações climáticas na área metropolitana do Rio de Janeiro: uma provável influência do crescimento urbano. In: ABREU, M. A. (org.). **Natureza e Sociedade no Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Biblioteca Carioca, 1992. p. 143 – 200.

BRASIL. **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Resolução n.001, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 17 fev. 1986.

BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Topodata: banco de dados geomorfométricos do Brasil. Variáveis geomorfométricas locais. São José dos Campos, 2008. Disponível em <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em 09 jan. 2018.

BRASIL, 2012. Lei 4771/1965. **Código Florestal Brasileiro**. Disponível em: <http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/1032082/lei-12651-12> Acesso: 12/01/2018.

BRASIL. **Lei nº 9.985/2000, que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC)**. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=322>> Acesso em 05 abr. 2017.

BRASIL. **Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal**. In: Diário Oficial dos Estados Unidos do Brasil nº 117, ano CIII, Seção I, Parte I, Brasília, 16 de setembro de 1965. Disponível em: <http://www.jusbrasil.com.br/diarios/2981664/dou-secao-1-16-09-1965-pg-pdfView>. Acesso em 06 de abr. 2017.

BRITTO, A. L. N. de P.; BESSA, E. da S. Possibilidades de mudanças no ambiente construído: o saneamento nos novos planos diretores da Baixada Fluminense. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, 4., 2008, Brasília. **Anais...** Brasília, DF, 2008.

BRITTO, M. C.; FERREIRA, C. de C. M. Paisagem e as diferentes abordagens geográficas. **Revista de Geografia - PPGEO UFJF**, v. 2, nº 1, p.1-10, 2011.

CÂMARA, G.; ORTIZ, M. J. Sistemas de Informação Geográfica para Aplicações Ambientais e Cadastrais: Uma Visão Geral. In: SOUZA E SILVA, M. (Org.) **Cartografia, Sensoriamento e Geoprocessamento**. Lavras, UFLA/SBEA, 1998. p. 59-88.

CAMPANA, N.A.; TUCCI, C.E.M. Estimativa de área impermeável de macro-bacias urbanas. Rio Janeiro. **RBE: Revista Brasileira de Engenharia**. Caderno de Recursos Hídricos, v.12, n.2, p. 79 – 94, Dez, 1994.

CAMPOS, F. B. L. **Gestão de bacias hidrográficas urbanas – estudo de caso da Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu-Sarapuí – Rio de Janeiro**. 2004. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental – Recursos Hídricos, PEAMB/UERJ, Rio de Janeiro. 2004.

CARDOSO, A. R.; POLETO, C.; MERTEN, G. H. Ocupação do espaço urbano e a maximização de suas fontes de sedimentos. In VII ENES Simpósio Nacional de Engenharia de Sedimentos (ENES). Porto Alegre: ABRH, 2006.

CARNEIRO, P. R. F. **Controle de inundações em bacias metropolitanas, considerando a integração do planejamento do uso do solo à gestão dos recursos hídricos. Estudo de caso: bacia dos rios Iguaçu/Sarapuí na região metropolitana do Rio de Janeiro**. 2008. 296 f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil). COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. 2008.

CASSETI, W. **Ambiente e apropriação do relevo**. São Paulo: Contexto, 1991, 147 p.

CASTRO, A. L. C. de (org.). **Glossário de Defesa Civil, Estudos de Riscos e Medicina de Desastres**. 5ª Ed. Brasília: Secretaria Nacional de Defesa Civil, Ministério da Integração Nacional, 2002.

CEPERJ. Mapa **Estado do Rio de Janeiro - Regiões de Governo e Municípios 2014**. Fundação Centro Estadual de Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Rio de Janeiro. Disponível em <http://www.fesp.rj.gov.br/ceep/info_territorios/Reg%20Gov_2013.pdf> Acesso em 03 de abril 2016.

CHORLEY, R. J. Geomorphology and general systems theory. **U. S. Geological Survey**, Professional Paper 500-B, 1962 (Tradução em Notícia Geomorfológica, 11, p. 3-21, 1971)

CHRISTOFOLETTI, A. A morfologia de bacias de drenagem. **Notícias Geomorfológicas**, Campinas, v. 18, n. 36, p. 130-2, 1978.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 1ª ed. São Paulo: Editora Edgar Blucher, 1974, 149 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial: o canal fluvial**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.

CHRISTOFOLETTI, A. Impactos no meio ambiente ocasionado pela urbanização no mundo tropical. In: SOUZA, M. A. A.; SANTOS, M.; SCALARTO, F. C.; ARROYO, M. **Natureza e Sociedade de hoje: uma leitura geográfica**. 4 ed. São Paulo: Hucitec, 2002. p. 127-138.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. 1ª ed. São Paulo: Blucher, 1999, 236 p.

CHRISTOPHERSON, R. W. **Geossistemas – Uma introdução à geografia física**. Tradução: Francisco Eliseu Aquino (et al.). Porto Alegre: Bookman, 7ª edição, 2012.

COELHO, M. C. N. Impactos Ambientais em Áreas Urbanas: teorias, conceitos e métodos de pesquisa. In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. da. (Orgs.). **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil**. 2 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004, 416p., p.19-45.

COIMBRA, J. de A. A. **O outro lado do meio ambiente: uma incursão humanística na questão ambiental**. Campinas: Millennium, 2002, 560 p.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 001, de 23/01/86. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=23>. Acesso em: 20 de maio de 2017.

COLGATON, R. G. *A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data*. **Remote Sensing of Environment**, v. 49, n. 12, p. 1671-1678, 1991.

CONGALTON, R.G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. New York: Lewis Publishers, 2009.

CONGEDO, L. Tutorial: **Land Cover Classification Using the Semiautomatic Classification Plugin v. 3.0 “Rome” for QGIS**. 2014. Disponível em <<http://fromgistors.blogspot.com/>> Acesso em 24 de outubro de 2014.

CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais). **Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações**. 2015. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geologia-de-Engenharia-e-Riscos-Geologicos/Cartas-de-Suscetibilidade-a-Movimentos-Gravitacionais-de-Massa-e-Inundacoes-3507.html>. Acesso: 24 set. 2017.

CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais). **Relatório Anual - 2002**. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br/>> Acesso em novembro de 2015.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Degradação ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand, 1996. p.337-379.

DOWNS, P. W.; GREGORY, K. J. *River channel management: towards sustainable catchment hydrosystem*. Londres: Arnold, 2004. 395 p.

DOZENA, A. **São Carlos e seu desenvolvimento: contradições urbanas de um pólo tecnológico**. 2001. 160 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Humana) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

FAO: A framework for Land evaluation. Roma: FAO, Wagering en: ILLR (Soil Bulletin, nº 29), 1976.

FARIA, M. M.; ZACCHI, R. C.; FERREIRA, E. S. Caracterização morfométrica e biológica da bacia hidrográfica do córrego Serafim, sub-bacia do rio Paraibuna, Juiz de Fora, MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13., 2009, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: Editora da Universidade Federal de Viçosa, 2009.

FELL, R.; COROMINAS, J.; BONNARD, C.; CASCINI, L.; LEROI, E.; SAVAGE, W. Z. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. **Engineering Geology**, v. 102, p. 83-111, 2008.

FERRARI, A. L. A geologia do “Rift” da Guanabara (RJ) na sua Porção Centro-Occidental e sua Relação com o Embasamento Pré Cambriano. In: XXXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. 1990, Natal-RN. **Anais...** 1990. p. 2858 – 2872.

FERRARI, A. L. **Evolução tectônica do Gráben da Guanabara**. 2001. 412 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

FONSECA, L. M. G. **Processamento digital de imagens**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2000. 105p.

FOODY, G. M. Status of land cover classification accuracy assessment. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, p. 185– 201, 2002.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, convênio SERLA - COPPE/UFRJ, financiamento CEF/BIRD 2975-br, projeto PNUD BRA-93/022, **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Iguaçú-Sarapuí** Ênfase: Controle de Inundações, Relatório Final Vol. 1, Rio de Janeiro, 1996

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. 10^a ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. 396p.

GUIMARÃES, N. A.; PENHA, J. W. Mapeamento das áreas de risco de inundação com a utilização do modelo digital de elevação hidrológicamente consistente: Estudo de caso em Muriaé-MG. **Revista Agrogeoambiental**, Inconfidentes, v. 1, n. 2, p. 46-52, ago. 2009.

HACK, J. T. Interpretation of erosional topography in humid temperate regions, **Amer. Journal of Science**. Bradley Volume, 258-A, p. 80-97, 1960. (Transcrito em Notícia Geomorfológica, 12 p. 3-37.

HAMMES, V. S. Efeitos da Diversidade e da Complexidade do Uso e Ocupação do espaço Geográfico. In: HAMMES, V. S. (Editora Técnica). **JULGAR – Percepção do Impacto Ambiental**. Vol. 4/Embrapa. São Paulo: Editora Globo, 2004. 223p. p. 35-39.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.

HOWARD, A. D. “Geomorphological systems – equilibrium and dynamics”. *Amer. Journal of Science*, n.263, p. 302-312, 1965

IBG. INSTITUTO BAÍA DE GUANABARA, 2004, disponível em <http://www.baiadeguanabara.org.br>, Acesso em agosto de 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. – **Censo 2010**. Disponível em: <http://censo2010.ibge.gov.br/> Acesso em janeiro de 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual Técnico de Uso da Terra. **Manuais Técnicos em Geociências**. 2^o ed., n. 7., Rio de Janeiro: IBGE, 2006.

INEA CERHI. Resolução CERHI-RJ N^o 107 de 22 de maio de 2013. Regiões hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwff/mda5/~edisp/inea_009662.pdf. Acesso em 21 de agosto de 2015.

JOLY, F. A **Cartografia**. Campinas-SP: Papyrus, 1990.

JULIÃO, R. P.; NERY, F.; RIBEIRO, J. L.; BRANCO, M. C.; ZÉZERE, J. L. **Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de**

Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de base municipal. Lisboa: Autoridade Nacional de Protecção Civil; Direcção-Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano; Instituto Geográfico Português, 2009. Disponível em: <[http://www.dgotdu.pt/detail.aspx?channelID=85E8AD30-00F8-417E-9F12-EBFAFE6A5B4 &contentId=3B54E44B-603C-4445-8C8A-ECC879127CEE](http://www.dgotdu.pt/detail.aspx?channelID=85E8AD30-00F8-417E-9F12-EBFAFE6A5B4&contentId=3B54E44B-603C-4445-8C8A-ECC879127CEE)>. Acesso em: 17 dez. 2017.

KNIGHT, J.; HARISSON, S. Evaluating the Impacts of Global Warming on Geomorphological Systems. **Ambio**, v. 41, n. 2, p. 206-210, 2012.

_____. The impacts of climate change on terrestrial Earth surface systems. **Nature Climate Change**, v. 3, p. 24-29, 2013.

KOPPEN, W. **Climatologia**. México: Fondo de Cultura Económica, 1931.

LANDSBERG, H. E. **The Urban Climate**. New York: International Geophysics Series, Vol.28, Academic Press, 1981.

LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia do Estado de Goiás e Distrito Federal**. Goiás. Secretaria de Indústria de Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. 2006.

LEMOS, R. S. ; CARVALHO, V. L. M. ; MAGALHAES JUNIOR, A. P. ; LOPES, F. W. A. A evolução do uso e ocupação em uma bacia hidrográfica urbana e suas consequências para a qualidade ambiental: reflexões a partir do caso da lagoa da Pampulha, Região Metropolitana de Belo Horizonte.. In: **Anais...** III Seminário Nacional sobre o Tratamento de Áreas de Preservação Permanente em Meio Urbano e Restrições Ambientais ao Parcelamento do Solo (APPURBANA 2014), Belém, 2014.

LINDNER, E. A.; GOMIG, K.; KOBIYAMA, M. Sensoriamento remoto aplicado à caracterização morfométrica e classificação do uso do solo na bacia rio do Peixe/SC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 3405-3412.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de Calor nas Metrôpoles**. O Exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 1985. 244 p.

LUCENA, A. J. **A ilha de calor na região metropolitana do Rio de Janeiro**. 2012. 357 f. Tese (Doutorado em Ciências Atmosféricas) - Programa de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. 2012.

LUCCOCK, J. **Notas sobre o Rio de Janeiro e partes meridionais do Brasil**. São Paulo: EDUSP, 1975. 187 p.

MEIS, M. R. M. **Contribuição ao estudo do Terciário Superior e Quaternário da Baixada da Guanabara**. Tese de doutorado: 238 p. 1976.

MENDES, L. D. **Termocronologia (U-Th)/He e reativação da margem continental do sudeste do Brasil: seção Serra da Mantiqueira - Gráben da Guanabara**. 2013. 214 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Texto, 2007. 206 p.

MENEZES, W. A. **A heterogeneidade e dinâmicas da paisagem na interação terra-atmosfera no município de Nova Iguaçu (RJ) a partir da aplicação de geotecnologias livres.** 2016. 119. Monografia (Licenciatura em Geografia) - Instituto Multidisciplinar, Departamento de Geografia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Nova Iguaçu-RJ, 2016.

MENEZES, W.A.; MENDES, L.D. A heterogeneidade e dinâmicas da paisagem na interação terra-atmosfera no município de Nova Iguaçu (RJ) a partir da aplicação de geotecnologias livres. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba - PR, Ano 13 – Vol. 21– p.430-448, 2017.

MICELI, B. S., DIAS, F. M., SEABRA, F. M., SANTOS, P. R. A., FERNANDES, M. C. Avaliação vertical de modelos digitais de elevação (MDEs) em diferentes configurações topográficas para médias e pequenas escalas. **Revista Brasileira de Cartografia** v. 63, n.1, p.191-201, 2011.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. 2013. **Capacitação em mapeamento e gerenciamento de risco.** Disponível em: <<http://www.defesacivil.mg.gov.br/conteudo/arquivos/manuais/Mapeamento/mapeamento-grafica.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2017.

MINISTÉRIO DAS CIDADES / INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT – **Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios.** Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007. 176 p.

MONTEIRO, A.; CARVALHO, V. Clima e planejamento regional. In: AMORIM, M. C. de C. T.; NETO, J. L. S.; MONTEIRO, A. (Org.). **Climatologia Urbana e Regional: questões teóricas e estudos de caso.** São Paulo: Outras Expressões, p. 93-116, 2013.

MONTEIRO, C. A. de F. **Geografia Sempre: O Homem e seus Mundos.** Campinas: Edições Territorial, 2008. 256 p.

MONTEIRO, C. A. de F. **Geossistemas: a história de uma procura.** 2º ed. São Paulo: Contexto, 1995. 127 p.

MONTEIRO, C. A. de F.; MENDONÇA, F. **Clima Urbano.** São Paulo: Contexto, 2003. 192 p.

MOTA, C. E. M. **Aspectos petrogenéticos e geocronologia das intrusões alcalinas de Morro Redondo, Mendanha e Morro de São João: caracterização do magmatismo alcalino no Estado do Rio de Janeiro e implicações geodinâmicas.** 2012. 198 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

MOTTA JR, J. C.; TUCCI, C. E. M. *Simulation of the urbanization effect in flow.* **Oxford. Hydrological Sciences Journal**, v.29, n.2, p. 131 – 147. 1984.

MÜLLER, V. C. **A quantitative geomorphology study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain Area, Virginia and Tennessee.** New York: Department of Geology, Columbia University, 1953. 51 p.

NASCIMENTO, N. O.; HELLER, L. Ciência, Tecnologia e Inovação na Interface entre as Áreas de Recursos Hídricos e Saneamento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, nº 1, p. 36-48, 2005.

NELSON, E. J.; BOOTH, D. B. *Sediment sources in an urbanizing, mixed land-use watershed*. **Journal of Hydrology**, v. 264, p. 51-68, 2002.

NETO, R. M. A abordagem sistêmica e os estudos geomorfológicos: algumas interpretações e possibilidades de aplicação. **Revista Geografia**, v. 17, n. 2, jul./dez., p. 67-87, 2008.

NIMER, E. Ensaio de um novo método de classificação climática: contribuição à climatologia intertropical e subtropical, especialmente do Brasil. **Boletim de Geografia**. Rio de Janeiro, v. 31, n.277, p.141-153, 1972.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto princípios e aplicações** 4ª ed. São Paulo: Blucher, 2010. 387 p.

OLIVEIRA, G. G. de. **Modelos para previsão, especialização e análise das áreas inundáveis na bacia hidrográfica do rio Caí, RS**. 2010. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

PEREIRA, W. **Cana, café e laranja**. Rio de Janeiro: Ed FVG, 1977.

PIRES, E. G.; BORMA, L. S. Utilização do modelo HAND para o mapeamento de bacias hidrográficas em ambiente de Cerrado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p. 5568-5575.

POLETO, C. (Org.) **Bacias Hidrográficas e Recursos Hídricos**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2014. 272 p.

POLETO, C.; MARTINEZ, L. L. G. Introdução aos Estudos de Sedimentos. In: POLETO, C. (org.). **Introdução ao Gerenciamento Ambiental**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2010.

REIS, C. H. **Caracterização espacial do uso da terra em áreas de manguezais utilizando diferentes sistemas orbitais – um caso aplicado aos manguezais da APA-Guapimirim-RJ**. 2007. 148 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; SOARES, J. V.; HODNETT, M. G.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M. J. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM; Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 3469-3481, 2008.

RIBEIRO, A.G. As escalas do clima. **Boletim de Geografia Teórica**, v.23, n.45/46, p. 288-294, 1993.

ROCHA, A. S.; MAGALHÃES, A. L.; SANTANA M. C.; FILHO, S. C. S. **Alma(naque)... da Baixada**. Rio de Janeiro: APPH-CLIO, 2013. 104 p.

RODRIGUES, A. O. **De Maxambomba a Nova Iguaçu (1833-90's) : economia e território em processo**. 2006. 127 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

RODRIGUES, C. A Teoria Geossistêmica e sua contribuição aos estudos geográficos e ambientais. **Revista do Departamento de Geografia da USP**. n.14., p. 69-77, 2001.

ROSSETTI, L. A. F. G.; PINTO, S. A. F; ALMEIDA, C. M. Geotecnologias aplicadas à caracterização das alterações da cobertura vegetal intraurbana e da expansão urbana da cidade de Rio Claro (SP). In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil. *Anais...* Florianópolis: INPE, 2007, p. 5479-5486.

SANT'ANNA NETO, J. L. Clima e organização do espaço. **Boletim de Geografia**, n.16, p. 119-131, 1998.

SANTOS, J. R. U. **Análise Integrada da vulnerabilidade erosiva da bacia hidrográfica do Rio Duas Bocas (ES)**. 2016. 178 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2016.

SCHUELER, T. R. *The importance of imperviousness*. **Watershed Protection Techniques**, v. 1, n. 3, p. 100-111, 1994.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. **Geological Society of America Bulletin**, n. 67, p. 597-646, 1956.

SCHUMM, S. A. **Rivers variability and complexity**. New York: Cambridge University Press, 2005. 220 p.

SCHUMM, S. A. Sinuosity of alluvial rivers on the great plains. **Geological Society of America Bulletin**, v. 74, n. 9, p. 1089-1100, 1963.

SILVA, S. L. **Extração de areia na Região Metropolitana do Rio de Janeiro - Distribuição espacial e parâmetros de análise na indicação de áreas produtoras**. 2010. 119 f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

SILVA, T. M. **A estruturação geomorfológica do Planalto Atlântico no Estado do Rio de Janeiro**. 2002. 264 f.. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2 ed. Porto Alegre, 1993, p. 35-51.

SOARES, M. T. S. Nova Iguaçu: a absorção de um célula urbana pelo Grande Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geografia**. Rio de Janeiro: IBGE, v. 2, n.24, p.155-256, 1962.

SOBREIRA, F. G.; SOUZA, L. A. de. Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 79-97, 2012.

SOTCHAVA, V. B. **O estudo dos geossistemas**. Métodos em Questão. São Paulo, n. 6, 1977. 50 p.

SOUZA, C. R. de G. Risco a inundações, enchentes e alagamentos em regiões costeiras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1., 2004, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: GEDN; UFSC, 2004. p. 231-247. 1 CD-ROM.

SOUZA, T. R. **O papel da ideologia na expansão urbana: a questão econômica e os impactos socioambientais do Arco Metropolitano do Rio de Janeiro**. 2015. 212 f.

Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

SPOSITO, M. E. B. **Textos e contextos para a leitura geográfica de uma cidade média**. Presidente Prudente: Gasperr – FCT/UNESP, 2001. 311 p.

STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos (Coleção Geografia; v. 3 – org. Francisco de Assis Mendonça), 2017. 336 p.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) – analysis of erosion al topography. **Geological Society of America Bulletin**, v.63, n.10, p.1117-1142, 1952.

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

TASSI, R.; POLETO, C. Gerenciamento Integrado de Bacias Urbanas. In: POLETO, C. (org.). **Introdução ao Gerenciamento Ambiental**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2010.

THOMAS, D. S. G.; ALLISON, R. J. (Eds.). *Landscape Sensitivity*. **British Geomorphological Research Group Symposium Series**, John Wiley and Sons, 1993. p. 129-147.

TREVISOL, R. G. **Avaliação de medidas físicas para recuperação de área de empréstimo da Mata Atlântica: Diques**. 2002. 66 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, UFRRJ. Seropédica, 2002.

TUCCI, C.E.M. Aspectos Institucionais no Controle de Inundações. **I Seminário de Recursos Hídricos do Centro-Oeste**. Brasília. 1999.

TUCCI, C. E. M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima das bacias urbanas. Porto Alegre: **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.5, n.1, p.61-68, jan/mar, 2000.

TUCCI, C. E. M (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4.ed. 5ª reimp. Porto Alegre: UFRGS/ABRH: 2013, 943 p.

USGS. United States Geological Survey Earth Explorer. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov>> Acesso em 24. ago. 2017.

VALERIANO, M. M. **Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. São José dos Campos, SP: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-15318-RPE/818). 72p., 2008.

VIEIRA, V. T.; CUNHA, S. B. Mudanças da rede de drenagem urbana de Teresópolis (Rio de Janeiro). IN: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p.111-143.

VILAÇA, M. F.; GOMES, I.; MACHADO, M. L.; VIEIRA, E. M.; SIMÃO, M. L. R. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão: o estudo de caso do ribeirão Conquista no município de Itaguara – MG. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA. *Anais...* Viçosa, MG, 2009. Disponível em: <http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo3/070.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2017.

VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (org.). **Reflexões sobre a Geografia Física**. 6ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.

YALCIN, G.; AKYUREK, Z. **Analysis Flood Vulnerable Areas with Multicriteria Evaluation**. In: Proceedings of XX International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Congress Istanbul, 2004. Proceedings. Istanbul: 2004. p. 359-364.