



Flávia Adissi

**A contribuição de derivadores oceânicos e
simulações numéricas de correntes marinhas
e ventos em apoio ao planejamento territorial:
o caso da Baía de Guanabara**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental (Opção Profissional).

Orientador: Prof. Rodrigo Rinaldi de Mattos

Co-Orientador: Prof. Maurício da Rocha Fragoso

Rio de Janeiro
Junho de 2016



Flávia Adissi

**A contribuição de derivadores oceânicos e
simulações numéricas de correntes marinhas
e ventos em apoio ao planejamento territorial:
o caso da Baía de Guanabara**

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana e
Ambiental (opção profissional) pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio.
Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Rodrigo Rinaldi de Mattos

Presidente / Orientador

Departamento de Arquitetura e Urbanismo - PUC-Rio

Prof. Maurício da Rocha Fragoso

Co-Orientador

Prooceano

Prof. Ubirajara Aluizio de Oliveira Mattos

UERJ

Profa. Valéria Pereira Bastos

Departamento de Serviço Social - PUC-Rio

Prof. Márcio da Silveira Carvalho

Coordenador Setorial de Pós-Graduação
do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 16 de Junho de 2016

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem a autorização da universidade, da autora e do orientador.

Flávia Adissi

Graduou-se em Engenharia de Produção Mecânica pela PUC-Rio em 1994 e se especializou em Engenharia de Segurança do Trabalho pela mesma instituição em 1997. Fez Aperfeiçoamento em Gestão e Perícia Ambiental pela UFRJ. Ao longo de sua carreira, tem atuado em empresas nacionais e multinacionais, nos segmentos de Óleo & Gás, Pesquisa, Telecomunicações e Tecnologia, como líder na implantação das normas ISO 9001, ISO 14001 e OHSAS 18001, como gestora na área de SMS (Saúde Ocupacional, Meio Ambiente e Segurança do Trabalho) e foi responsável, nos últimos anos, pelos processos de licenciamento ambiental da área de óleo e gás e também por fazer a gestão de pesquisas de inovação com temas ligados ao Meio Ambiente.

Ficha Catalográfica

Adissi, Flávia

A contribuição de derivadores oceânicos e simulações numéricas de correntes marinhas e ventos em apoio ao planejamento territorial: o caso da Baía de Guanabara / Flávia Adissi ; orientador: Rodrigo Rinaldi de Mattos ; co-orientador: Maurício da Rocha Fragoso . – 2016.

165 f. : il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, 2016.
Inclui bibliografia

1. Engenharia civil – Teses. 2. Engenharia urbana e ambiental – Teses. 3. Baía de Guanabara. 4. Lixo flutuante. 5. Derivadores. 6. Mapeamento. 7. Poluição. I. Mattos, Rodrigo Rinaldi de. II. Fragoso, Maurício da Rocha. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental. IV. Título.

CDD: 624

Agradecimentos

Aos meus pais, Zafira e José Alberto, e ao meu irmão, Albert, pelo amor, carinho e paciência que dedicam a mim, apoiando minhas decisões e fazendo com que os meus caminhos sejam trilhados com harmonia e confiança.

Aos meus sobrinhos Guilherme e Felipe, que têm me ensinado o amor incondicional, franco e alegre das crianças.

Ao meu orientador Rodrigo Rinaldi e ao co-orientador Maurício Fragoso, pelos ensinamentos transmitidos com paciência, conhecimentos compartilhados e grande parceria.

Ao corpo docente do programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, da PUC-Rio, e da Technische Universität Braunschweig, que compartilharam seu tempo e conhecimento para que eu conquistasse o título de mestre e me instigaram a desenvolver meu senso crítico nas discussões e debates que tivemos ao longo das aulas.

Aos amigos da Prooceano, Júlio Pellegrini, Leonardo Marques e Francisco dos Santos, pelo tempo dedicado em nossas enriquecedoras conversas sobre oceanografia e os projetos que constam nesta dissertação. Vocês e o Maurício foram incansáveis em transmitir o conhecimento necessário em oceanografia para que esta dissertação se concretizasse.

Aos queridos Gabriel Carvalho, Marcelo Cabral e Vinicius Palermo, também da Prooceano, que contribuíram com seus conhecimentos, paciência e tempo. Sem a dedicação e presteza de vocês, este trabalho não poderia ser apresentado com a acurácia que merece.

Ao professor Rafael Nunes, que se tornou um querido e grande amigo. Seu apoio, motivação, amizade e conversas me ajudaram a trilhar com mais leveza o caminho do mestrado e seus conhecimentos em ArcGIS foram fundamentais para a elaboração dos mapas que constam nesta dissertação.

A Deus, por apostar e confiar sempre em mim, ofertando-me valiosas oportunidades de ser uma pessoa melhor a cada dia. A Ti, minha eterna gratidão.

Resumo

Adissi, Flávia; Mattos, Rodrigo Rinaldi de (orientador); Fragoso, Maurício da Rocha (co-orientador). **A contribuição de derivadores oceânicos e simulações numéricas de correntes marinhas e ventos em apoio ao planejamento territorial: o caso da Baía de Guanabara.** Rio de Janeiro, 2016. 165 p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Este trabalho aborda a questão da movimentação e acúmulo do lixo flutuante na Baía de Guanabara e contextualiza a problemática da poluição da Baía e seu entorno a partir de diversos temas inter-relacionados, como: o uso dos derivadores e a sua analogia com o lixo flutuante; a existência de projetos que têm ajudado no rastreamento do lixo flutuante na Baía a partir do mapeamento de correntes superficiais e ventos; o saneamento da bacia hidrográfica da Baía, a qualidade da água de seus afluentes e a análise da população que reside no seu entorno; o entendimento de uma visão mais humanista e ecológica no redesenho das cidades e também programas internacionais de revitalização de corpos d'água degradados. Dentro deste contexto, são feitas reflexões e análises integradas a partir de uma modelagem da probabilidade de transporte de resíduos da Baía e da paisagem encontrada em seu entorno, através da utilização de produtos cartográficos. Tais análises consideram os dados levantados nos quatro mapas que são apresentados, de forma a prover uma visão mais ampla e integrada do espelho d'água e também do entorno da Baía. O objetivo deste trabalho foi entender como o espaço territorial e a ocupação urbana do entorno da Baía podem impactar a poluição do espelho d'água da Baía e por ela serem impactados de forma a contribuir com programas de despoluição. Foi feito então um recorte em quatro regiões e realizada uma análise integrada para cada, de forma a prover um melhor entendimento a partir da exemplificação. A análise integrada proporciona uma visão mais abrangente da questão da poluição, auxiliando os gestores dos programas de despoluição a encontrarem relevantes informações para priorizar as ações a serem tomadas.

Palavras-chave

Baía de Guanabara; lixo flutuante; derivadores; mapeamento; poluição; ocupação urbana; modelagem numérica

Extended Abstract

Adissi, Flávia; Mattos, Rodrigo Rinaldi de (advisor); Fragoso, Maurício da Rocha (co-advisor). **The contribution of ocean drifters and numerical simulations of ocean currents and winds in support of the territorial planning: the case of Guanabara Bay.** Rio de Janeiro, 2016. 165 p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This work approaches the issue of the movement and accumulation of floating litter in the Guanabara Bay, in Rio de Janeiro, Brazil. It contextualizes the problem of the pollution in the Bay and surroundings, and it does so from several different interrelated issues, such as the use of ocean drifters and their analogy with the floating litter; the existence of projects that have been helping in the tracking of the floating litter in the Bay from the mapping of the surface currents and the winds; the sanitation efforts in the hydrographic basin of the Bay; the quality of the water in the rivers that debouch into the Bay and a better understanding of the population that live in the area; the necessity of a more humanistic and ecological view in the planning of those cities; and also international programs to revitalize degraded water bodies.

One of the objectives of this dissertation is to understand how the territorial space and the urban occupation of the Bay's surroundings can impact the pollution in the Bay and be impacted by that pollution. So the entire region was divided in four areas and an integrated analysis was made for each area so that a better understanding could be provided by exemplification. Such integrated analysis provides a more comprehensive view of the pollution problem and helps the depollution program officers to find relevant information and better prioritize actions.

The Guanabara Bay plays a strategic role not only around the towns and cities that are part of its hydrographic basins, but in the whole state of Rio de Janeiro and also the entire country. It is one of the most important marine ecosystems from the social, economic and environmental points of view. It is located in the Rio de Janeiro city metropolitan area, with the Brazilian coast's largest population concentration (about 10 million people, or 80% of the state's population). A national security area, the Bay shelters two naval bases, one navy shipyard, the Rio de Janeiro Port (the second largest in the country, with more than 2 thousand ship

moorings annually), two airports (Antonio Carlos Jobim, and Santos Dumont), and other shipyards and marinas. The Guanabara Bay is also way for innumerable cargo and passenger ferryboats, fishing boats, and other boats for leisure and tourism. The water in the Bay is also used for water sports and aquaculture (fish farming). (KJERFVE, 1997; BERGAMO, 2006 apud CARVALHO, 2011).

Beyond all that, other reasons were taken into consideration for the choice of this water body by the partners in the Guanabara Bay Project, such as:

- The importance of the Bay for the Santos and Campos Basins' oil and gas companies that use it as a navigation route;
- The importance of the Bay for the oil and gas companies that use the support bases and shipyards in its banks;
- The possibility of use of the iSPHERE drifters as one of the equipment items for the data collection in the Bay, which has already been done during an offshore drilling campaign;
- The use of the Guanabara Bay as a sailing competition venue in the 2016 Summer Olympic Games; and
- The novelty of mapping the surface currents to better understand the region's hydrodynamics and broaden the environmental knowledge in a place of fundamental importance.

The possibility of use of drifters in sheltered waters, in an estuary, collecting data in a systematic way and ultimately contributing to the mapping of the floating litter has also meant a great innovation and motivation to the choice of the Guanabara Bay by the project officers.

Thus, the choice of the Guanabara Bay as a study object is relevant for its strategic, operational, and logistic importance and for being one of the most important bays in the country and a focus of attention of the national and international media for being a venue in the 2016 Summer Olympic Games and presenting critical pollution problems. We can, therefore, state that this study is relevant by its context, its study object, its temporality, and its comprehensiveness, for being in the interest of governmental organs, research institutes, universities, private entities, and the society as a whole.

The study of ocean drifters and their advent has provided meaningful contribution for a better understanding of the oceans' circulation, estimates of ocean

currents and winds, and other relevant oceanographic parameters. Today, several international programs continue to develop new drifters with optimized roles in high seas or along the coastline, which corroborates their usefulness in events of search and rescue, research and development after disasters such as the 2010 oil leakage in the Gulf of Mexico, and in national initiatives for a better understanding of the oceanographic conditions along the Brazilian coastline.

Just like it is done in several parts around the world, the use of drifters and other ocean data collecting equipment should be stimulated among the Brazilian academic institutions, private sector, and governmental organs, so as to gather a deeper hydrodynamic knowledge not only of Guanabara Bay but of other bays in the state of Rio de Janeiro and in the entire country of Brazil. The gathering of data for the mapping of currents and winds in sheltered areas through the use of such items of equipment is viable as long as the correct model for the place in question is chosen. The results may generate an important range of information that will certainly help in the decision-making during cases of oil leakage, in defining the pattern of the location and transportation of the floating litter, in the territorial planning of the bay's banks, and also in the preservation of the marine ecosystem in more environmentally sensitive areas.

An evidence of the above mentioned was the recognition of the Guanabara Bay Project as a successful example of a public-private initiative at the Rio+20 Conference, and the fact that a relevant portion of its range was considered to be a Research and Development (R&D) project according to the criteria of Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), the governmental agency for oil, natural gas and biofuel. Such project demonstrated the teaching and researching institutions' strong demand for knowledge of oceanographic data in bays and how that can be passed on to the society with a resulting increase in the preservation of the environment and a better territorial planning of their banks. The Guanabara Bay Project has showed that projects in sheltered places are necessary and perfectly doable if well planned.

Apart from subsidizing the hydrodynamic knowledge, the Guanabara Bay Project has also made viable, in a certain way, the structured implementation of the Ecoboat Service Management Plan. The modeling, simulations and forecasts of the Management Plan have provided a more intelligent and proactive management, which has made possible a more assertive decision-making, as in the planning of

the itineraries that each ecoboat will follow in order to carry out the collection of the estimated litter.

This dissertation has also visited the architecture and landscaping fields in order to, among other objectives, understand the importance of a more humanistic and ecological view within the planning and redesigning of the cities proposed by the organic theory. Such understanding brings to light the native human feeling for holy places and, further, for the proximity with water bodies. The *vitality* dimension proposed in this theory seeks to understand how population agglomerates have conditions to provide for their vital functions, their biological demands, and their surviving, having the quality of their water as a central factor.

The correlation between population density around the Guanabara Bay and the pollution poured in its waters by its hydrographic basin has led us into some reasoning on how the urban occupation in the territory can impact the pollution into the bay and be impacted by the water quality on its banks. Would the current urbanization standards imply necessarily the degradation of the involved tributary rivers? Should we continue looking at that association as a natural result of urban occupation?

A relevant point that guides that reasoning is the insufficiency or lack of sanitation in the regions around the Bay and the impact on the population's health and on the environment. Ultimately, the tributary rivers that receive the entire polluting load should go through drainage and sewage systems and be treated. Despite the fact that such sanitation is not the current reality, its inexistence should not be seen as the natural result of urban occupation. The tributary rivers and the Bay must stop suffering the degradation to which they have been submitted due to the lack of infrastructure demanded by the population. Initiatives must be carried onwards to transform the current situation, so that the urbanization pattern stops being a negative point and becomes, who knows, something positive, with the population having a more active behavior towards the preservation of local natural resources.

Within this context, the use of cartographic products resulted in interesting integrated analysis and reasoning. Such analyses considered the data collected in four maps presented along the study so as to provide a broader and more integrated view of the bay's water body and roundabouts. The water body was analyzed based on a particle transportation computer modeling, which indicated where in the Bay there is more and less accumulation of floating litter. For the study of the landscape of the

bay's surrounding, the following maps were created: Use and Coverage, Population Density, and Impact Potentiality, the latter being a synthesis of the other two.

The integrated analysis of those maps provides a broader and more systematic view of the pollution issue — a “mosaic view” —, since it crosses the data and information of the presented maps. The maps can be analyzed by layers, either separated or together and with different focuses and objectives. The depollution programs' managers can find relevant information in the mappings, in the analyses of each map, and particularly in the integrated analyses, and so they can prioritize actions by taking into consideration the limitations cited in the modeling of the floating litter accumulation and the marginal zone of two kilometers determined to our study.

This study has also led us into a better understanding of how the current plan, called Ecoboat Service Management Plan, can be benefited through the integrated analysis and the series of compiled data, for they add very relevant information about population density, land use and occupation, and potentiality of impact of the hydrodynamic knowledge already familiarized by the Management Plan. It is of fundamental importance to be able to cross data not only of the water body, but to add that knowledge to the data of the banks, having a more integrated view of the Guanabara Bay with the population and the surrounding landscape. From that complementary knowledge, the decision-making of the Management Plan officers can be better directed and more assertive, including actions related not only to the environmental and oceanographic issues, but also to the different landscapes on the Bay's banks, the use and occupation of the land in the marginal zone and its vulnerabilities, the population living there, and, finally, the population's access to the Bay, which add a more humanistic view, as the organic theory has shown.

We have verified that the depollution programs implemented in other countries base their actions in an integrated view with interdependent elements impacting the whole, and vice-versa. We understand the need of partnerships among different sectors of the local society, as in the case of the Chesapeake Bay, USA, which integrated city, state, and federal governments, researchers from different universities, NGOs, private sector, and the population.

In order to implement depollution and sanitation solutions in the Bay, a mosaic of variables need to be considered and studied in an interlinked way, so that

the final analysis is found within a real context. Of course, the sole integrated analyses carried out in this study do not configure sufficient material for the decision-making, but they can provide a relevant contribution or complementation of data for the issues pertinent to the theme.

The issue of depolluting the Guanabara Bay requires a much larger set of initiatives in the short, medium, and long run, including environmental education, sanitation, effective investments in all areas, depollution actions, pollution prevention, incentives to the development of new studies, and society involvement not only to demand good results, but also to participate in a proactive way so that the next generations may have a worthy access to the waters of the Guanabara Bay.

Keywords

Guanabara Bay; floating litter; ocean drifters; mapping; pollution; urban occupation; numerical modelling

Sumário

1. Introdução	22
2. Derivadores	
2.1. Breve histórico do advento dos derivadores	30
2.2. Uso atual dos derivadores	40
2.2.1. Busca e resgate	40
2.2.2. Vazamentos de óleo	42
2.2.3. Iniciativas de instituições brasileiras	45
3. Acesso da população aos corpos d'água: degradação e revitalização	
3.1. Breve histórico de algumas tendências da arquitetura do século XX	49
3.2. Normas, modelos e políticas	51
3.3. Resgatando o sagrado da água	53
3.4. Alguns casos de revitalização de áreas degradadas	56
4. Projeto Baía de Guanabara: contribuições e desdobramentos	
4.1. Concepção	63
4.2. Estrutura do projeto	66
4.2.1. Aquisição de dados <i>in situ</i>	67
4.2.2. Modelagem hidrodinâmica e atmosférica	71
4.2.3. Disponibilização das informações geradas	75
4.3. Resultados	76
4.3.1. Derivadores	77
4.3.2. Previsão de correntes	79
4.3.3. Ventos	85
4.3.4. CTD	86
4.4. Limitações X Objetivos cumpridos	86
4.5. Plano de Gestão do Serviço de Supervisão dos Ecobarcos: desdobramento do Projeto Baía de Guanabara	89
5. Diagnóstico do saneamento e do lixo flutuante na Baía de Guanabara	
5.1. A Baía de Guanabara e a degradação ambiental	98
5.2. População	99
5.3. Saneamento	101
5.3.1. A eutrofização e a qualidade da água	102

5.3.2. A qualidade da água dos afluentes da Baía	104
5.4. Autodepuração da Baía de Guanabara	111
5.5. Prejuízos com a falta de saneamento	112
5.6. Resíduos sólidos/lixo flutuante	115
5.6.1. Padrão de concentração do lixo flutuante	118
5.6.2. Lixo flutuante capturado pelas ecobarreiras	121
5.6.3. Lixo flutuante nas margens da Baía	123
5.7. O Programa de Despoluição da Baía de Guanabara – PDBG	127
5.8. Síntese do Diagnóstico	128
6. Análise integrada do acúmulo de lixo flutuante na Baía de Guanabara e de seu entorno a partir de produtos cartográficos	
6.1. Análise integrada a partir de mapas	131
6.2. Modelagem da probabilidade de transporte de resíduos	132
6.2.1. Análise do mapa	135
6.2.2. Validação e limitações da modelagem	138
6.2.3. Dados atmosféricos e modelagem hidrodinâmica	140
6.3. Mapa de uso e cobertura do solo do entorno da Baía de Guanabara	140
6.3.1. Análise do mapa	144
6.4. Mapa da densidade populacional do entorno da Baía de Guanabara	145
6.4.1. Análise do mapa	146
6.5. Mapa de potencialidade de impacto do entorno da Baía de Guanabara	148
6.5.1. Análise do mapa	150
6.6. Regiões de interesse	151
7. Considerações finais	158
Referências bibliográficas	162

Lista de figuras e gráficos

Figura 1 - Bola de vidro japonesa	32
Figura 2 - Pato de borracha encontrado após ficar à deriva por mais de 20 anos	33
Figura 3 - Mapa com as rotas percorridas pelos patos borracha	34
Figura 4 - John Swallow preparando o primeiro modelo de derivador para ser lançado ao mar	36
Figura 5 - Esquema de um mini derivador posicionado no mar	38
Figura 6 - Mini derivador sendo lançado ao mar	38
Figura 7 - Distribuição global dos derivadores SVP pertencentes ao GDP	39
Figura 8 - Trajetórias dos derivadores na região do acidente com o voo AF 447	42
Figura 9 - Mapa do Golfo do México com local do vazamento de óleo da plataforma Deepwater Horizon, em 2010	43
Figura 10 - Dois modelos de derivadores – para região de mar aberto (à esquerda) e costeira (à direita) – utilizados para o experimento da GLAD	44
Figura 11 - Derivador iSPHERE em detalhe	47
Figura 12 - Derivador iSPHERE sendo lançado ao mar	47
Figura 13 - Maquete do córrego Cheonggyecheon, em Seul (Coreia do Sul), re-naturalizado, com as pontes fazendo as conexões das margens	60
Figura 14 - Diferentes trechos do córrego Cheonggyecheon, demonstrando o acesso das pessoas à água	61
Figura 15 - Mapa da Baía de Guanabara	64
Figura 16 - Esquema com os três componentes principais do Projeto Baía de Guanabara	66
Figura 17 - Mapa da Baía de Guanabara com pontos de referência para o lançamento dos derivadores	68
Figura 18 - Derivadores lançados nos pontos pré-estabelecidos	69
Figura 19 - Derivador recolhido da Baía de Guanabara	69
Figura 20 - Mapa da Baía de Guanabara com áreas de coleta de dados pelo CTD	71

Figura 21 - Mapa digital batimétrico da Baía de Guanabara com 100 metros de resolução	72
Figura 22 - Esquema com as três grades numéricas utilizadas pelo modelo atmosférico WRF	73
Figura 23 - Exemplos de previsões atmosféricas do campo de vento gerados pelo modelo WRF	74
Figura 24 - Divulgação do Projeto Baía de Guanabara no site O Globo em 11/05/2010	75
Figura 25 - Divulgação do Projeto Baía de Guanabara no site EcoDesenvolvimento, em 26/05/2010	75
Figura 26 - Debate sobre o Projeto Baía de Guanabara na Cúpula dos Povos, na Rio+20, com Axel Grael, Júlio Pellegrini e Dora Negreiros	76
Figura 27 - Mapas de quantidade de dados gerados e de derivadores ao longo da Baía de Guanabara, entre junho de 2010 e junho de 2012	77
Figura 28 - Mapas de quantidade de dados gerados e quantidade de derivadores ao longo da Baía de Guanabara, entre agosto e dezembro de 2012	77
Figura 29 - Mapa com vetores de velocidade dos derivadores lançados durante o Projeto Baía de Guanabara	78
Figura 30 - Exemplo de previsão com os vetores de corrente apontando para dentro da Baía de Guanabara em que a elevação da superfície do mar é positiva: maré enchente	80
Figura 31 - Exemplo de previsão com os vetores de corrente apontando para fora da Baía de Guanabara em que a elevação da superfície do mar é negativa: maré vazante	81
Figura 32 - Mapa da Baía de Guanabara com destaque para Enseada de Icaraí e Jurujuba, à direita, e para o canal central	82
Figura 33 - Mapa da Baía de Guanabara com a previsão da corrente, durante o fluxo de maré enchente do dia 30/11/2013, à 1h	83
Figura 34 - Mapa da Baía de Guanabara com a previsão da corrente, durante o momento de mudança de direção (de enchente para vazante) das correntes de maré do dia 30/11/2013, às 2h	83

Figura 35 - Mapa da Baía de Guanabara com a previsão da corrente, durante o fluxo de maré vazante do dia 30/11/2013, às 5h	84
Figura 36 - Mapa da Baía de Guanabara com a previsão da corrente, durante o momento de mudança de direção (de vazante para enchente) das correntes de maré do dia 30/11/2013, às 9h	84
Figura 37 - Mapa da Baía de Guanabara com a localização dos ecobarcos, trajetórias e áreas de atuação no dia 15/10/2015	90
Figura 38 - Mapeamento de correntes da Baía de Guanabara para as 7h do dia 01/09/2015	91
Figura 39 - Mapeamento de ventos da Baía de Guanabara para as 7h do dia 01/09/2015	91
Figura 40 - Modelagem da probabilidade do acúmulo do lixo flutuante na Baía de Guanabara às 7h do dia 01/09/2015	92
Figura 41 - Modelagem da probabilidade do acúmulo do lixo flutuante na Baía de Guanabara às 10h do dia 01/09/2015	93
Figura 42 - Modelagem da probabilidade do acúmulo do lixo flutuante na Baía de Guanabara às 13h do dia 01/09/2015	93
Figura 43 - Modelagem da probabilidade do acúmulo do lixo flutuante na Baía de Guanabara às 16h do dia 01/09/2015	94
Figura 44 - Lixo retirado da Baía de Guanabara pelos ecobarcos	95
Figura 45 - Distribuição da população na bacia hidrográfica da Baía de Guanabara	100
Figura 46 - Estações de monitoramento da bacia hidrográfica da Baía de Guanabara com indicação de resultados – Região Hidrográfica V - 2014	106
Figura 47 - Afluentes da Baía de Guanabara que apresentam maior vazão d'água	117
Figura 48 - Exemplo de acúmulo de resíduos flutuantes, formando “estrias de lixo”	118
Figura 49 - Concentração de lixo na área do aterro do late Clube Brasileiro, na Enseada de Jurujuba, em Niterói	119
Figura 50 - Concentração de lixo próximo à orla de Gragoatá, em Niterói	119
Figura 51 - Mancha de lixo	120

Figura 52 - Lixo disperso	120
Figura 53 - Resultado integrado de um ano da modelagem de transporte de resíduos	133
Figura 54 - Fontes de lixo consideradas na modelagem de transporte de lixo flutuante na Baía de Guanabara	134
Figura 55 - Resultado integrado de um ano da modelagem de transporte de resíduos com indicação das regiões com maior probabilidade de acúmulo	137
Figura 56 - Mapa do uso e cobertura do entorno da Baía de Guanabara	143
Figura 57 - Mapa de densidade populacional do entorno da Baía de Guanabara	147
Figura 58 - Representações vetorial e matricial de um mapa temático	148
Figura 59 - Mapa de potencialidade de impacto do entorno da Baía de Guanabara	149
Figura 60 - Localização das regiões de interesse na Baía de Guanabara	152
Gráfico 1 - Destinação dos resíduos sólidos urbanos no Estado do Rio de Janeiro - 2010/2014	116
Gráfico 2 - Quantidade de resíduos coletados em praias de Niterói e São Gonçalo, por estação do ano - 1999/2008	124
Gráfico 3 - Área, absoluta e percentual, das quatro classes compiladas da legenda da modelagem de transporte de resíduos	136

Lista de tabelas e quadros

Tabela 1 - Percentual de pobreza e taxa de alfabetização, segundo os municípios da bacia hidrográfica da Baía de Guanabara - 2000/2010	100
Tabela 2 - Índices de Desenvolvimento Humano Municipal - IDHM, segundo os municípios da bacia hidrográfica da Baía de Guanabara - 2000	101
Tabela 3 - Mediana dos principais parâmetros de qualidade da água, segundo rios do entorno da Baía de Guanabara – 1998-2003	103
Tabela 4 - Índice de Qualidade da Água – IQA-NSF nas estações de amostragem localizadas em determinados rios da costa oeste da bacia hidrográfica da Baía de Guanabara - 2014	107
Tabela 5 - Índice de Qualidade da Água - IQA-NSF nas estações de amostragem localizadas em determinados rios da costa leste da bacia hidrográfica da Baía de Guanabara - 2014	109
Tabela 6 - Índice de Qualidade da Água - IQA-NSF nas estações de amostragem localizadas em determinados rios da costa norte da bacia hidrográfica da Baía de Guanabara - 2014	110
Tabela 7 - Posição dos municípios da bacia hidrográfica da Baía de Guanabara no ranking do saneamento das 100 maiores cidades brasileiras - 2012	114
Tabela 8 - Médias e desvios-padrão percentuais dos resíduos coletados nas ecobarreiras do rio Meriti, do rio Irajá e do Canal Arroio Fundo (Jacarepaguá) - jul.2008/mar.2009	122
Tabela 9 - Quantidade de itens (resíduos coletados) em praias de Niterói e São Gonçalo, por praia e estação do ano, segundo a composição - 1999/2008	124
Tabela 10 - Proporção dos resíduos coletados em praias de Niterói e São Gonçalo - 1999/2008	125
Tabela 11 - Percentual de lixo catalogado nas praias de São Gonçalo	

e Niterói - 1999/2008	126
Tabela 12 - Área, absoluta e percentual, das classes da legenda da modelagem de transporte de resíduos	136
Tabela 13 - Peso das classes identificadas na legenda da Figura 56	142
Tabela 14 - Área, absoluta e percentual, das classes identificadas na legenda da Figura 56	144
Tabela 15 - Peso das classes identificadas na legenda da Figura 57	146
Quadro 1 - Estimativas de resíduos coletados na Baía de Guanabara	121
Quadro 2 - Resumo das classes da Região A, segundo os mapas temáticos	153
Quadro 3 - Resumo das classes da Região B, segundo os mapas temáticos	154
Quadro 4 - Resumo das classes da Região C, segundo os mapas temáticos	155
Quadro 5 - Resumo das classes da Região D, segundo os mapas temáticos	157

Lista de abreviaturas

ACAS - Água Central do Atlântico Sul

ACCP - Atlantic Climate Change Program

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

APA - Área de Proteção Ambiental

ASLA - Associação Americana de Arquitetos-Paisagistas

BID - Banco Interamericano de Desenvolvimento

CARTHE - Consortium for Advanced Research on Transport of Hydrocarbon
in the Environment

Chl-a - Clorofila-a

CODE - Coastal Ocean Dynamics Experiment

CPI - Comissão Parlamentar de Inquérito

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

COPPE - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de
Engenharia

COROAS - Circulação Oceânica na Região Oeste do Atlântico Sul

CTD - Conductivity, temperature and depth. Instrumento para medição de
condutividade, temperatura e salinidade

DBCP - Data Buoy Cooperation Panel

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DHN - Diretoria e Navegação da Marinha do Brasil

EPA - Environmental Protection Agency

ETE - Estação de Tratamento de Esgoto

FIST - Filtered in Space and Time

GCOS - Global Climate Observing System

GDP - Global Drifter Program

GEE - Gás de Efeito Estufa

GFDL - Geophysical Fluid Dynamics Laboratory

GLAD - Grand Lagrangian Deployment

GoMRI - Gulf of Mexico Research Initiative

GOOS - Global Ocean Observing System

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDHM - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal

IFREMER - Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer/
Instituto Francês de Pesquisa para Exploração do Mar
INEA - Instituto Estadual do Ambiente
JICA - Japan International Cooperation Agency
LAMCE - Laboratório de Métodos Computacionais em Engenharia
LAMMA - Laboratório de Modelagem dos Processos Marinhos e
Atmosféricos
MAR - Museu de Arte do Rio de Janeiro
MONDO - Monitoramento por Derivadores Oceânicos
NCAR - National Center for Atmospheric Research
NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration
NO3 - Nitrogênio Nitrato
OD - Oxigênio Dissolvido
PDBG - Programa de Despoluição da Baía de Guanabara
pH - Potencial Hidrogeniônico
PNBOIA - Programa Nacional de Boias
PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos
POM - Princeton Ocean Model
PT - Fósforo Total
P&D - Pesquisa e Desenvolvimento
REDUC - Refinaria de Duque de Caxias
SDT - Sólidos Dissolvidos Totais
SEA - Secretaria de Estado do Ambiente
SIG - Sistema de Informação Geográfica
SNIS - Sistema Nacional de Informações do Saneamento
SVP - Surface Velocity Program
T - Turbidez
TOGA - Tropical Ocean Global Atmosphere
UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro
USCG - US Coast Guard Home/Guarda Costeira Americana
WCRP - World Climate Research Program
WOCE - World Ocean Circulation Experiment/Experimento de Circulação
Oceânica Global
WRF - Weather Research and Forecasting

Introdução

A problemática da poluição da Baía de Guanabara (Rio de Janeiro, Brasil) e seu entorno deve ser estudada dentro de um contexto histórico. Ao incluirmos conceitos de temas correlatos, desejamos enriquecer o debate, de forma a contribuir para o entendimento deste complexo panorama, que por décadas tem sido objeto de estudo por instituições de pesquisa, órgãos governamentais, universidades e iniciativa privada.

A fundamentação conceitual presente neste estudo – e aqui incluímos temas ligados às áreas de oceanografia, urbanismo e meio ambiente – embasa as análises e reflexões finais desta dissertação. Os conceitos trazidos e discutidos incluem questões como: o lixo flutuante carregado pelos afluentes da Baía de Guanabara somado ao já existente; a qualidade da água de seus afluentes; o saneamento da bacia hidrográfica da Baía e a população que ali reside; o advento dos derivadores e a analogia com o lixo flutuante; projetos que ajudam no rastreamento do lixo flutuante a partir do mapeamento de correntes e ventos; o planejamento de projetos e redesenho das cidades a partir de uma visão mais humanista e ecológica no campo do urbanismo e paisagismo; programas internacionais de revitalização de corpos d'água degradados; dentre outros.

A importância da Baía de Guanabara, objeto de estudo desta dissertação, é revelada ao longo dos capítulos, assim como os desafios para superar o estágio atual de degradação em que ela se encontra. E, não por acaso, são citados programas internacionais de revitalização de corpos d'água, com o intuito de mostrar a viabilidade da revitalização a depender do planejamento do projeto e dos parceiros escolhidos. Minha motivação para a escolha desse objeto de estudo foi a possibilidade de partilhar o conhecimento adquirido durante o planejamento, implantação e execução do Projeto Baía de Guanabara, em que atuei como gestora, representando a empresa patrocinadora BG Brasil. Este projeto, descrito em detalhes no Capítulo 4, trouxe, dentre uma gama de benefícios, a possibilidade de se prever a localização do lixo flutuante a partir do mapeamento de correntes superficiais e ventos. Portanto, nosso intuito é poder contribuir no sentido de

fomentar as discussões acerca de temas relevantes para toda a sociedade, como a poluição, o lixo flutuante e a Baía de Guanabara.

A Baía de Guanabara desempenha um papel estratégico não só para os municípios que fazem parte de sua bacia hidrográfica, mas para todo o Estado do Rio de Janeiro e também para o País. É um dos ambientes marinhos costeiros mais importantes do ponto de vista social, econômico e ambiental, estando inserida na região metropolitana da cidade do Rio de Janeiro, onde há a maior concentração populacional costeira do Brasil, com aproximadamente 10 milhões de habitantes, o que representa 80% da população do estado. Considerada área de segurança nacional, a Baía abriga, além de duas bases navais e um estaleiro da Marinha, o segundo maior porto do país (o Porto do Rio de Janeiro), onde atracam anualmente mais de 2.000 navios comerciais, dois aeroportos (Santos Dumont e Antônio Carlos Jobim), estaleiros, marinas, sendo também uma importante via marítima para um grande número de barcas, balsas, barcos de pesca, de lazer e turismo. Suas águas são também utilizadas para esportes náuticos e aquicultura. (KJERFVE, 1997; BERGAMO, 2006 apud CARVALHO, 2011).

Além disso, outras razões para a escolha deste corpo d'água pelos parceiros do Projeto Baía de Guanabara também foram levadas em conta:

- A importância da Baía para as empresas de óleo e gás que a utilizam como rota para navegação de embarcações nas operações nas Bacias de Campos e Santos;
- A importância para as empresas de óleo e gás que utilizam as bases de apoio e estaleiros existentes em seu entorno;
- A possibilidade de utilização dos derivadores iSPHERE como um dos equipamentos para a coleta de dados na Baía, o que foi feito anteriormente em uma campanha de perfuração *off-shore*;
- A utilização da Baía de Guanabara como local de competição de vela na Olimpíada de 2016; e
- O ineditismo de se mapear as correntes superficiais, melhor conhecer a hidrodinâmica da região e ampliar o conhecimento ambiental em um local de fundamental importância.

A possibilidade do uso de derivadores em áreas abrigadas, em um estuário, coletando dados de forma sistemática e contribuindo, em última instância, para o mapeamento do lixo flutuante também significou uma grande inovação e motivação para a escolha da Baía de Guanabara por esse Projeto.

Desta forma, a escolha da Baía de Guanabara como objeto de estudo, se mostra relevante, pela sua importância estratégica, operacional e logística, por representar uma das baías mais importantes do país, ser foco de atenção da mídia nacional e internacional, em virtude dos Jogos Olímpicos de 2016, e por apresentar problemas críticos de poluição em suas águas. Portanto, podemos afirmar que o estudo é relevante pelo seu contexto, pelo seu objeto de estudo, pela sua temporalidade e pela sua abrangência, pois é de interesse dos órgãos governamentais, instituições de pesquisa, universidades, iniciativa privada e da sociedade como um todo.

A fundamentação conceitual desta dissertação também visitou o campo da arquitetura e do paisagismo para, dentre outros objetivos, entender a importância de uma visão mais humanista e ecológica no planejamento dos projetos e redesenho das cidades que a teoria orgânica propõe, trazendo à tona o sentimento nato da procura do homem por locais sagrados e, por extensão, pela proximidade por corpos d'água. A dimensão *vitalidade*, proposta nesta teoria, busca entender a forma pela qual o aglomerado populacional tem condições de prover as funções vitais, o bom funcionamento e os requisitos biológicos de sua população e como proteger a sobrevivência da espécie, sendo a água e sua qualidade fatores vitais. São três as características necessárias, segundo Lynch (1981), para que um ambiente seja considerado vital: *sustentação*, *segurança* e *consonância*, e a água está presente nas duas primeiras. O presente estudo detalha cada uma dessas características.

A partir da fundamentação conceitual foi possível fazer uma série de reflexões, diagnósticos e análises que deram o embasamento para discutir os objetivos geral e específicos desta dissertação, contribuir para o entendimento da problemática da poluição da Baía de Guanabara, servir de subsídio para futuras pesquisas e estudos e estimular debates. No Capítulo 6, são feitas reflexões e análises integradas a partir de uma modelagem da probabilidade de transporte de resíduos da Baía de Guanabara e da paisagem encontrada em seu entorno, através da utilização de produtos cartográficos. Ao final desse capítulo, quatro regiões de interesse são destacadas e uma análise integrada entre os mapas é realizada para

cada região. Porém, não é intuito deste estudo elaborar planos de ação, fomentar políticas públicas ou priorizar programas de despoluição da Baía de Guanabara.

A gama de informações compiladas neste estudo abre inúmeras possibilidades de discutir diversas propostas de estudo a depender do foco da pesquisa a se realizar. Aqui, direcionamos nossa atenção para o seguinte objetivo geral e seus objetivos específicos:

- **Objetivo Geral:** Entender como o espaço territorial e a ocupação urbana do entorno da Baía podem impactar a poluição do espelho d'água da Baía e por ela serem impactados, e assim podermos contribuir com os programas de despoluição.

- **Objetivo Específico 1:** Realizar uma análise integrada de mapas do espelho d'água e do entorno da Baía para melhor entender os impactos da poluição.

- **Objetivo Específico 2:** Investigar como a análise integrada pode auxiliar na tomada de decisões em programas de despoluição.

- **Objetivo Específico 3:** Descobrir se a análise integrada pode auxiliar no Plano de Gestão do Serviço de Supervisão dos Ecobarcos e de que forma.

Os Capítulos 5 e 6 trazem reflexões, exemplos e uma análise integrada de forma a alcançar um melhor entendimento dos Objetivos Geral e Específicos. As Considerações finais também encerram a análise dos mesmos.

Essa dissertação está estruturada em 5 capítulos, precedidos por uma Introdução e finalizados pelas Considerações finais.

O Capítulo 2 (Derivadores) disserta sobre alguns dos fundamentos básicos da Oceanografia, de forma a inserir os conceitos de “partícula que deriva” e “derivador” no contexto desse estudo. Os dois principais objetivos deste capítulo são: a) entender o conceito de derivador como equipamento que coleta importantes dados oceanográficos, o que contribui para, dentre outras coisas, o mapeamento de correntes e ventos de determinada região; e b) introduzir conceitos da partícula que deriva pelo efeito de correntes, ventos e marés, para que sejam discutidos nos capítulos seguintes o transporte e acúmulo do lixo flutuante no espelho da Baía.

O Capítulo 3 (Acesso da população aos corpos d'água: degradação e revitalização) é permeado pelos campos da arquitetura e do paisagismo, ao trazer um breve histórico da visão mais humanista e ecológica no planejamento dos projetos e redesenho das cidades, além de apresentar a teoria orgânica, que privilegia discussões acerca do convívio pessoas-natureza. Nesse capítulo também sinalizamos alternativas de ocupação do entorno dos corpos d'água de forma a não

propiciar a degradação do cenário natural, mas sim a sua preservação. Por fim, são trazidos casos de revitalização, mostrando os benefícios revertidos para a população e para o meio ambiente. Os três casos apresentados guardam similaridades com a Baía de Guanabara.

O Capítulo 4 (Projeto Baía de Guanabara: contribuições e desdobramentos) apresenta o Projeto Baía de Guanabara, relatando os benefícios do uso do derivador iSPHERE no mapeamento das correntes superficiais e ventos, e também a contribuição destes mapeamentos para ações de prevenção, combate às emergências – como um possível vazamento de óleo –, combate à poluição e preservação do ambiente. Como veremos no capítulo 2, o lixo flutuante deriva como uma partícula e, assim, estudos e mapeamentos de correntes e ventos podem beneficiar a localização do lixo flutuante. Como desdobramento do Projeto Baía de Guanabara, é citado o Plano de Gestão do Serviço de Supervisão dos Ecobarcos, que prevê com antecedência de um dia a localização do lixo flutuante nas regiões da Baía, para então acionar e direcionar os ecobarcos de forma mais eficiente e otimizada.

No Capítulo 5 (Diagnóstico do saneamento e do lixo flutuante na Baía de Guanabara) é feito um breve histórico do saneamento da bacia hidrográfica da Baía, correlacionando a população do entorno com os prejuízos causados pela falta de uma infraestrutura adequada. São relatadas também as condições dos afluentes que desembocam na Baía que acabam por agir como carreadores de resíduos sólidos, a degradação da qualidade das águas da Baía e os efeitos da eutrofização. É feito um breve histórico do PDBG, assim como a articulação das políticas públicas com a PNRS. Este capítulo também mostra os padrões de concentração do lixo flutuante encontrado nas águas e margens da Baía e sua caracterização, ou seja, quais tipos de materiais são encontrados nas margens e ecobarreiras.

O Capítulo 6 (Análise integrada do acúmulo de lixo flutuante na Baía de Guanabara e da paisagem de seu entorno a partir de produtos cartográficos) busca, a partir de uma modelagem da probabilidade de transporte de resíduos da Baía de Guanabara e do entendimento da paisagem encontrada em seu entorno, identificar e analisar algumas regiões de interesse, através da utilização de produtos cartográficos. Neste capítulo, também são elaboradas análises qualitativas e quantitativas, correlacionando os dados apresentados nos capítulos anteriores com os mapas gerados de: modelagem de transporte de resíduos, uso e ocupação do solo,

densidade demográfica do entorno da Baía de Guanabara e potencialidade de impacto (produto síntese gerado a partir dos dois mapas anteriores). Ao final do capítulo, quatro regiões de interesse são destacadas e uma análise integrada entre os mapas é realizada para cada região.

Os fundamentos básicos de Oceanografia relatados no Capítulo 2 (Derivadores) advêm de autores clássicos como Thomas Rossby, H. U. Sverdrup, Leonid I. Piterburg, Tamay M. Ozgokmen, Annalisa Griffa, Anne Molcard, Arthur J. Mariano, Rick Lumpkin e Mayra Pazos, renomados pesquisadores e professores do meio acadêmico e científico, em cujas publicações e artigos científicos encontramos conceitos sobre os métodos euleriano e lagrangeano, movimentos dos fluidos, análise dos objetos encontrados à deriva dos oceanos, os predecessores dos derivadores, os benefícios para a oceanografia por eles trazidos e também suas limitações, dentre outros. Os dois últimos autores citados são inclusive pesquisadores da Divisão da Oceanografia Física do NOAA e gestores do Global Drifter Program da mesma instituição, onde se dedicam a pesquisas relacionadas a derivadores. O pesquisador brasileiro Arcilan T. Assireu, doutor em Oceanografia Física, também é citado, devido ao seu grande conhecimento sobre a circulação oceânica e derivadores rastreados por satélite, inclusive em programas nacionais.

Os dados dos projetos que utilizam derivadores, citados no Capítulo 2, como o CARTHE, o PNBOIA, o Projeto Mondo e o Global Drifter Center do NOAA, foram obtidos por meio de *sites* de referência, de modo que aqui constassem apenas as informações atualizadas.

O Capítulo 3, Acesso da população aos corpos d'água, contou com publicações e autores clássicos do campo do urbanismo, como Christopher Alexander e Kevin Lynch. Arquiteto, matemático e urbanista, Alexander é considerado um dos maiores críticos da arquitetura moderna, tendo contribuído para a utilização de padrões geométricos e matemáticos no urbanismo e arquitetura. Em seu livro *Uma linguagem de padrões*, traz à discussão o anseio vital, profundo e instintivo que as pessoas têm por grandes corpos d'água, ressalta a importância de áreas com significado simbólico, ou "sítios sagrados", e se refere à água como sendo preciosa. Considera também padrões para evitar a degradação dos corpos d'água pela proximidade do homem. Já Kevin Lynch, renomado urbanista e escritor, trouxe consideráveis contribuições ao planejamento urbano. Em sua obra *A boa forma da cidade*, aponta teorias

normativas e políticas que interagem com aspectos da psicologia ambiental e questiona o que seria e quais características teriam um bom aglomerado populacional. Os casos de revitalização de áreas degradadas mencionados nesta dissertação foram extraídos de publicações da paisagista e urbanista Cecília P. Herzog e da *homepage* do Chesapeake Bay Program.

A bibliografia utilizada para discutir o Projeto Baía de Guanabara foi obtida através de relatórios técnicos elaborados pelos parceiros do Projeto, e os conhecimentos e experiência obtidos através de inúmeros debates, discussões, alinhamentos e reuniões com os parceiros durante a gestão do projeto, também foram considerados e inseridos ao longo do texto. Monografias, dissertações e teses escritas com os dados e resultados oriundos do Projeto Baía de Guanabara também fazem parte da bibliografia, tendo contribuído para enriquecer a fundamentação teórica desta dissertação. Alguns autores citados são: Vinícius P. Palermo, Gabriel de Carvalho e Lívia Mariano. Quanto ao recém-implantado Plano Gestor do Serviço de Supervisão dos Ecobarcos, a melhor forma de obter informações e dados atualizados foi através de conversas e entrevista com Maurício R. Fragoso, da empresa Prooceano, parceira do Projeto Baía de Guanabara e gestora do referido plano gestor.

O Capítulo 5 contou com duas importantes fontes bibliográficas: o *Programa Guanabara Viva*, relatório de alta relevância compilado por Axel Grael e publicado em 2015, e o relatório *Benefícios econômicos da expansão do saneamento para a sociedade dos municípios da Baía de Guanabara*, publicado pelo Instituto Trata Brasil, em 2014. Ambas as publicações trazem dados, análises e valiosas estatísticas sobre as condições hídricas e de saneamento da Baía, assim como sobre a população de seu entorno. O Instituto Trata Brasil é formado por empresas preocupadas com o saneamento básico e a proteção dos recursos hídricos do país, e o Instituto Náutico (fundado pelos irmãos Grael), promove a educação ambiental e a oportunidade de socialização para jovens, por meio de oficinas e esportes náuticos na Baía de Guanabara. Esses dois institutos são atores de grande importância na questão da despoluição da Baía.

A bibliografia foi complementada também com publicações de relevantes autores, como Elizabeth C. R. Lima, que em sua tese de doutorado explana sobre a qualidade da água da Baía e a questão do saneamento, Bárbara Franz, que relata sobre a questão do lixo flutuante nas regiões costeiras da cidade do Rio de Janeiro,

e Márcia Rosa e Ubirajara A. O. Mattos que em artigo publicado, trazem relevantes dados sobre os pescadores e catadores de caranguejo da Baía de Guanabara. Através do site do INEA foi possível ter acesso ao *Boletim Consolidado de Qualidade das Águas da Região Hidrográfica V - Baía de Guanabara* e, por fim, foram colhidas informações da matéria *Palco de competições olímpicas em 2016, Baía de Guanabara sofre com acúmulo de lixo*, de Emanuel Alencar, jornalista que dedica boa parte de sua carreira ao meio ambiente e se intitula um “eco-repórter”. Relevantes informações sobre o PDBG foram colhidas de seu livro recém lançado: *Baía de Guanabara: descaso e resistência*.

Por fim, o presente estudo cita por diversas vezes o termo “lixo flutuante”, de forma a facilitar o entendimento do texto, mesmo sabendo que, em alguns casos, o termo “resíduos sólidos” seja o mais adequado. É sabido também que muitos objetos descartados no espelho d’água da Baía ou em seus afluentes poderiam ser reutilizados e até mesmo reciclados. Mas infelizmente são designados como lixo, pela forma inadequada de descarte e a falta de tratamento recebido no pós-descarte. Esperamos que, num futuro próximo, não haja mais lixo ou resíduos sendo descartados na Baía e que lá sejam vistos apenas folhas, galhos de árvores e a própria natureza se reciclando, e que o termo “lixo flutuante” seja apenas um termo ultrapassado, desconhecido pelas próximas gerações.

Apesar da relevância e impacto à saúde, segurança e ao meio ambiente que o lixo submerso e assoreado representa para a Baía de Guanabara, esta dissertação direciona as análises e reflexões para o lixo flutuante.

2 Derivadores

2.1 Breve histórico do advento dos derivadores

O presente capítulo disserta sobre alguns fundamentos básicos da Oceanografia, de modo a introduzir o conceito de “partícula que deriva” pelo efeito de correntes, ventos e marés, para que sejam discutidos, nos capítulos seguintes, o transporte e acúmulo do lixo flutuante no espelho da Baía de Guanabara. Neste estudo faz-se a analogia entre o lixo flutuante que deriva e uma partícula. Assim, estudos e mapeamentos de correntes e ventos podem beneficiar também o mapeamento do lixo flutuante.

Um sistema dinâmico deve ser caracterizado por duas partes: estática e cinética. A parte estática informa sobre a condição ou estado do sistema em um determinado instante do tempo e a parte cinética o complementa com dados sobre seu movimento, ou seja, como o sistema evolui com o tempo. Por isso a importância da complementaridade dos dados.

Se considerarmos o oceano como um sistema, podemos definir seu estado estático por meio da distribuição de massa, enquanto que sua parte cinética se reflete na distribuição das correntes. A oceanografia moderna tem se desenvolvido bastante quanto ao seu estado estático, mas os avanços em relação à descrição da parte cinética têm se dado de forma mais lenta e recente. Os conhecimentos relativos à circulação dos oceanos e, portanto, à estimativa das correntes oceânicas ainda são incompletos devido a não existência, até pouco tempo atrás, de equipamentos e ferramentas para se observar e pesquisar o oceano em seu estado cinético (ROSSBY, 2007).

Direcionando o presente estudo para o estado cinético, vemos que o movimento dos fluidos pode ser caracterizado através de dois métodos. Segundo Rossby (2007), o método euleriano define a velocidade de uma determinada partícula em função de sua localização fixa e tempo específico. Já o método lagrangeano especifica a localização da partícula do fluido como função da variável *tempo*, ou seja, ele descreve o movimento da partícula no *espaço* através do *tempo*. Pelo método euleriano, isso é possível devido aos inúmeros pontos fixos de observação, por meio dos quais se obtém a velocidade da partícula (ou corrente) em

diversos períodos de tempo. Pelo método lagrangeano faz-se o lançamento de “partículas” que podem ser rastreadas quanto à sua localização variável através do tempo. E é através deste último método que tem sido possível mapear a estrutura bidimensional dos oceanos em detalhes.

Fazendo uma analogia entre os dois métodos, podemos considerar que no método euleriano nos localizamos em um ponto fixo do oceano observando a passagem de partículas para então calcular suas velocidades naquele ponto e tempo. Já no método lagrangeano acompanhamos a partícula em seu movimento pelas correntes do oceano, através do tempo.

Ainda segundo Rossby (2007), a tecnologia para se estudar o movimento dos fluidos com ajuda das técnicas lagrangeanas se expandiu enormemente nos últimos 50 anos e nos permitiu dar um significativo salto no conhecimento dos oceanos, mares, baías, estuários e diversos corpos d’água. E por que seria tão importante o estudo destes corpos d’água?

As correntes oceânicas contribuem para o transporte de calor dos trópicos para os polos, influenciando no balanço da temperatura na superfície do planeta, como assinala Assireu:

As correntes oceânicas seguem padrões complexos e são afetados pelo vento, a salinidade da água e a distribuição de calor, pela topografia de fundo e pela rotação da Terra. Estas correntes oceânicas e o padrão destas circulações são de grande interesse da comunidade científica. O padrão de circulação oceânica influencia o clima e consequentemente as condições de vida de plantas e animais, inclusive os terrestres, além de interferirem nas rotas de navios (ASSIREU, 2003, p. 43).

Um fator que contribuiu fortemente para o conhecimento dos oceanos foi o estudo de objetos de deriva e, mais tarde, o advento dos derivadores, cujos modelos e diferentes usos serão explorados neste capítulo. O conceito do *derivador* é o de se comportar como uma partícula no corpo d’água derivando, seguindo o movimento das correntes e do vento (caso esteja na superfície), já que não tem propulsão própria. Sua trajetória é estudada pela oceanografia com ajuda do segundo método, o lagrangeano. Esse conceito será mencionado outras vezes nos capítulos posteriores, seja para dissertar sobre seu uso, como equipamento, no Programa Baía de Guanabara, seja para reforçar seu comportamento, como partícula, análogo ao lixo flutuante.

O conhecimento sobre a circulação das correntes superficiais dos oceanos advém, desde muitos séculos, da trajetória da deriva de objetos flutuantes, como

troncos, destroços de navios e artefatos de pescadores. Sverdrup, Johnson e Fleming (1942) já apontavam que tais observações, porém, davam uma visão muito geral e incompleta sobre a circulação oceânica, já que não havia condições de se identificar o início da jornada do objeto à deriva (onde e quando) e nem saber a trajetória percorrida. A influência dos ventos também levava muitas vezes a erros nas pesquisas e observações.

A seguir são descritos alguns exemplos que tiveram grande repercussão, por contribuir com conhecimentos sobre objetos à deriva nos mares:

- As bolas de vidro japonesas, usadas por pescadores em muitas partes do mundo para manter suas redes de pesca, ainda podem ser encontradas na costa oeste dos Estados Unidos, deduzindo-se que as correntes, no Oceano Pacífico Norte, fluem de leste a oeste. Segundo a página <http://en.wikipedia.org/wiki/Glass_float>, do site Wikipédia, grandes grupos de redes de pesca, às vezes chegando a 80 quilômetros de comprimento, eram mantidos à deriva no oceano e amarrados juntos, próximos à superfície pelos flutuadores ou boias de pesca de vidro, esferas de vidro ocas ou cilindros contendo ar para lhes dar flutuabilidade, como pode ser visto na Figura 1. Estas boias de vidro não estão mais sendo usadas por pescadores, mas muitas delas ainda estão à deriva nos oceanos do mundo, principalmente no Pacífico.



Figura 1 - Bola de vidro japonesa.
Foto: Jonathan Zander ¹.

- Como relata Nelson (2011), um incidente de grande repercussão mundial, ocorrido em 1992, também contribuiu enormemente para a investigação

¹ Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Large_Glass_Fishing_Float_with_Net_1.JPG>.

científica das grandes correntes oceânicas. Um contêiner com 28 mil patos de borracha (Figura 2) caiu do navio que o transportava da China aos Estados Unidos no Oceano Pacífico, liberando toda sua carga no mar. Na época, ninguém previu que tais brinquedos pudessem ficar à deriva por mais de 20 anos, sinalizando a respeito das correntes, mas também apontando os efeitos da poluição e do lixo flutuante nos oceanos. Clerkin (2007) ressalta que, por terem sido fabricados com material durável e à prova d'água, tais brinquedos resistiram anos às várias intempéries, à mercê das ondas, ventos e correntes, funcionando como verdadeiros derivadores.

Desde que foram indevidamente lançados ao mar, os patos já percorreram metade do planeta, circulando primeiramente pelo norte do Pacífico, depois em direção à costa do Alasca e em seguida ao longo da costa oeste do Canadá e dos EUA. O mapa da Figura 3 detalha a extensão da distância percorrida por eles.



Figura 2 - Pato de borracha encontrado após ficar à deriva por mais de 20 anos.
Foto: poolie/Flickr².

² Disponível em: <[http://www.mnn.com/earth-matters/wilderness-resources/stories/ what-can-28000-rubber-duckies-lost-at-sea-teach-us-about](http://www.mnn.com/earth-matters/wilderness-resources/stories/what-can-28000-rubber-duckies-lost-at-sea-teach-us-about)>.

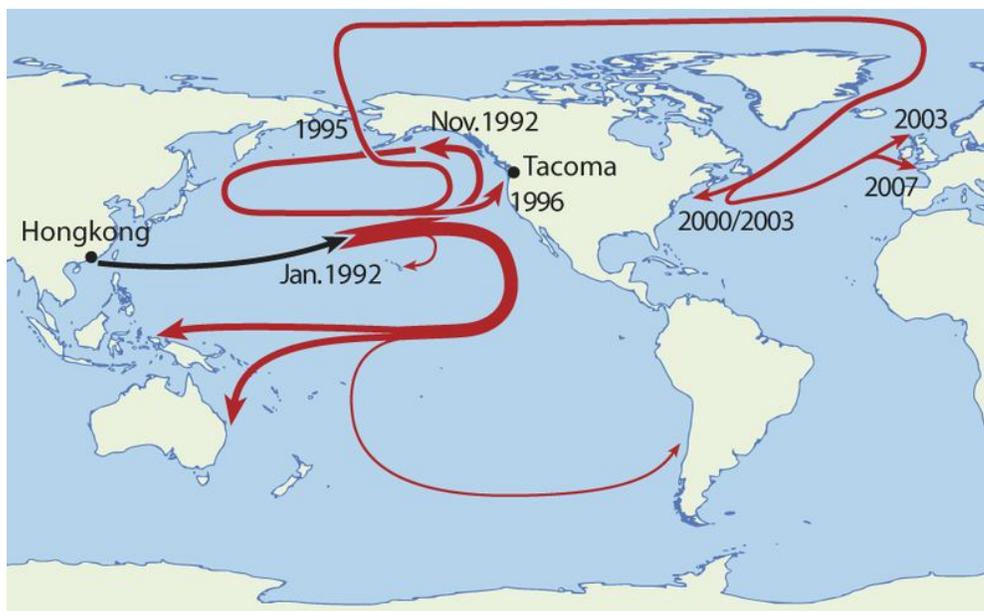


Figura 3 - Mapa com as rotas percorridas pelos patos borracha.
 Fonte: Friendly Floatees (Wikipedia)³.

Segundo Nelson (2011), parte deles foi encontrada nas costas do Havaí, Alasca, América do Sul, Austrália e Noroeste do Pacífico, enquanto outros foram encontrados congelados no Ártico e outros tantos, depois de descongelarem, continuaram derivando até a costa leste dos Estados Unidos e Canadá. Outra parte também foi encontrada na Escócia e em algumas províncias do Canadá, no Oceano Atlântico, região em que o navio Titanic afundou.

Uma frota de dois mil patos ainda circulou pelas correntes do Giro do Pacífico Norte – um vórtice de correntes no Mar de Bering, que se estende entre o Japão, sudeste do Alasca, Kodiak e as Ilhas Aleutas. Este giro já era conhecido pelos pesquisadores e oceanógrafos, porém através da deriva dos patos foi possível identificar o comportamento das correntes locais, além de se concluir que são necessários aproximadamente três anos para se completar a órbita completa do giro. Hoje, o Giro do Pacífico Norte abriga a “Grande Mancha de Lixo do Oceano Pacífico”, uma ilha maciça de detritos, principalmente plástico flutuante, “que o giro mexe como um pote gigante de sopa de lixo flutuante” (NELSON, 2011). Atualmente é sabido que existem

³ Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Friendly_Floatees.png>.

onze grandes vórtices nos oceanos globais, sendo todos eles potenciais receptadores do lixo lançado nos mares.

- Outro exemplo foi a recuperação de equipamentos e documentos, a partir de um bloco de gelo à deriva ao largo sudoeste da Groenlândia em 1884. Três anos antes, o *Jeanette Arctic Expedition* havia colidido com blocos de gelo e naufragado nas Ilhas da Nova Sibéria. A recuperação desses objetos ajudou a correlacionar as correntes entre a Sibéria e Groelândia, e, uma vez que as relíquias foram resgatadas em um pedaço de gelo flutuante, a velocidade média do vento em toda essa região pôde ser medida (SVERDRUP; JOHNSON; FLEMING, 1942).

Foi a partir de 1800 que pesquisadores, a fim de obter dados mais confiáveis e superar incertezas, começaram a utilizar garrafas de deriva, ou garrafas-boias, para ajudar a mapear as correntes superficiais. Esses artefatos recebiam uma quantidade de areia de forma que ficassem quase todos submersos, deixando uma pequena área sob a influência do vento. Eram bem vedados e continham cartões numerados, que marcavam a localização e a época de seu lançamento. Era solicitado a quem o encontrasse que informasse o local e a data em que foi encontrado. Por vezes, em vez de areia, peças de ferro eram anexadas às garrafas para reduzir o efeito de arrasto do vento e otimizar a leitura das correntes superficiais (SVERDRUP; JOHNSON; FLEMING, 1942). Desde então, tais garrafas têm sido utilizadas para mapear correntes superficiais em regiões como o Mar do Norte (FULTON, 1897; TAIT, 1930 apud LUMPKIN; PAZOS, 2007) e o noroeste do Oceano Pacífico (UDA, 1935 apud LUMPKIN; PAZOS, 2007). A interpretação dos resultados das pesquisas com garrafas-boias, porém, apresentava dificuldades, porque havia também a influência da temperatura e da salinidade nas camadas superficiais dos oceanos (LUMPKIN; PAZOS, 2007).

Foi a partir dos anos 1950 que começaram a ser desenvolvidos os projetos de derivadores (de superfície e profundidade), fazendo com que os pesquisadores não dependessem tão somente de objetos à deriva lançados acidentalmente ao mar para se pesquisar fundamentos essenciais da oceanografia.

Em 1955, o oceanógrafo britânico John Swallow idealizou o primeiro derivador construído para monitorar o movimento das águas em profundidade, como mostra a Figura 4. O derivador consistia de 2 cilindros de alumínio amarrados

a uma bateria e a um temporizador que iria excitar um transdutor. Após o lançamento do equipamento ao mar, o navio recebia os sinais emitidos e também podia detectar sua posição e profundidade. O peso do derivador era cuidadosamente planejado para que ficasse derivando em determinada profundidade (ROSSBY, 2007). Este equipamento foi o predecessor do atual modelo RAFOS – derivador de profundidade que transmite a posição através da onda acústica.

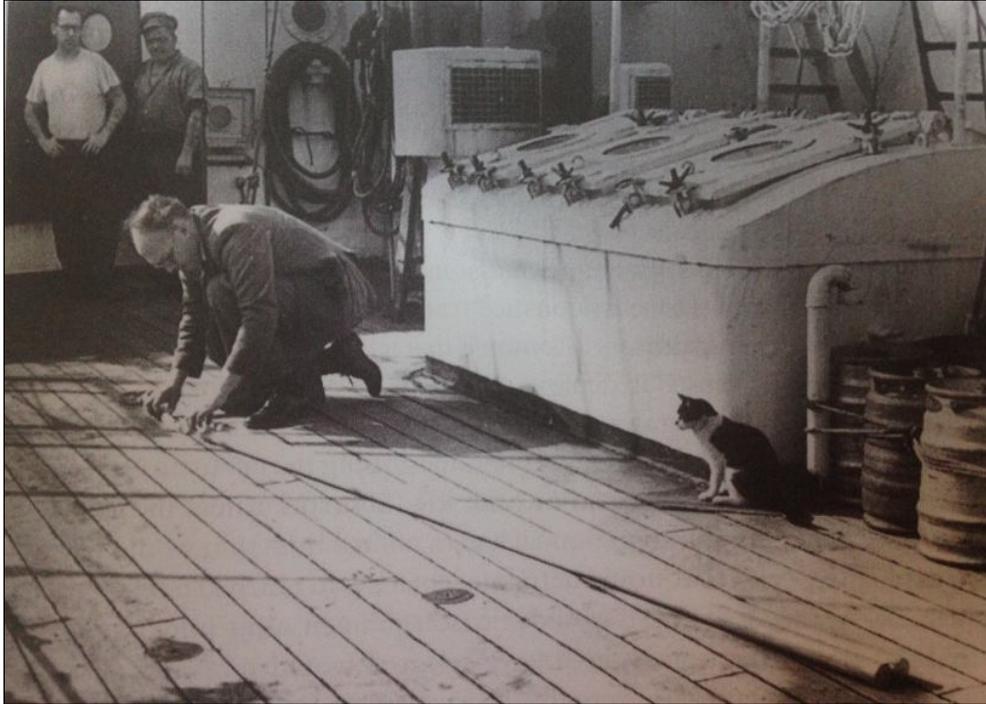


Figura 4 - John Swallow preparando o primeiro modelo de derivador para ser lançado ao mar.
Fonte: GRIFFA et al., 2007, p. 3.

Desde então, um grande número de boias e derivadores, seja de superfície ou de profundidade, de diferentes tamanhos, modelos e materiais vêm sendo idealizados, construídos e lançados ao mar em experimentos científicos para incrementar não só conhecimentos gerais oceanográficos, mas também para coletar dados específicos, como propriedades de massa d'água, circulação, acústica e transporte de calor, além de identificar e estudar vórtices ciclônicos e anticiclônicos. São equipados com GPS, para que sejam rastreados, e com sensores específicos para coletar os dados a serem estudados. São munidos também de bateria, para que os dados sejam transmitidos via satélite. Nos últimos 20 anos a comunidade científica tem se mobilizado não só para lançar e monitorar os diferentes tipos de

derivadores, mas também para desenvolver novas técnicas para maximizar o uso dos dados coletados através deles (MOLCARD et al., 2007).

Um grande passo no aprimoramento dos derivadores superficiais, segundo Lumpkin e Pazos (2007), foi a inclusão de uma “vela” ou “âncora” a objetos flutuantes com a finalidade de se reduzir o arrasto do derivador pelo vento. Artefatos com essa composição foram vistos na costa oeste dos Estados Unidos em meados dos anos 1700 (FRANKLIN, 1785; DAVIS, 1991 apud LUMPKIN; PAZOS, 2007) e também na maioria das 354 estações hidrográficas (THOMSON, 1877; NIILER, 2001 apud LUMPKIN; PAZOS, 2007) durante a famosa expedição *Challenger Oceanographic Survey* (1872-76). Com o advento do rádio, pequenas antenas afixadas nos derivadores permitiram que sua posição e percurso pudessem ser monitorados e transmitidos para estações em terra (DAVIS, 1991 apud LUMPKIN; PAZOS, 2007) e navios. Derivadores desse tipo ainda são fabricados atualmente e 164 deles foram utilizados pelo Coastal Ocean Dynamics Experiment (CODE), para mapear correntes e suas variabilidades, para calcular as escalas integrais lagrangeanas e estudar a dispersão na costa da Califórnia (DAVIS, 1985 apud LUMPKIN; PAZOS, 2007). Como podemos notar, também foram desenvolvidos derivadores específicos para o uso nas costas oceânicas.

Ainda segundo Lumpkin e Pazos (2007), em 1982 o World Climate Research Program (WCRP) reconheceu que o desenvolvimento e implementação de uma rede global de monitoramento de derivadores superficiais teria um valor inestimável para a oceanografia e para as pesquisas relacionadas ao clima, mas teriam de lidar com incertezas como a variação de propriedades oceanográficas coletadas de diferentes modelos de derivadores, o alto custo e o peso excessivo de alguns tipos de derivadores. Daí nasceu a ideia de padronizar o design do derivador superficial, que deveria ter baixo custo, ser leve, de fácil manuseio para lançamento ao mar, com uma vela semirrígida e resistente a fluxos de fortes correntes. O desafio para desenvolver tal derivador “padrão” foi realizado por meio do Surface Velocity Program (SVP), do Tropical Ocean Global Atmosphere (TOGA) e do World Ocean Circulation Experiment (WOCE). O projeto vencedor foi proposto em 1992 (SYBRANDY; NIILER, 1992 apud LUMPKIN; PAZOS, 2007) e consistia em uma boia esférica superficial, um cabo de ligação e uma vela semirrígida submersa que mantinha sua estrutura mesmo em correntes fortes.

A Figura 5 mostra o mini derivador SVP utilizado atualmente, advindo do modelo original composto pelos mesmos componentes, porém mais robusto, maior, mais pesado e, portanto, mais caro. A Figura 5 também mostra a posição do derivador no mar, com sua vela que acompanha a corrente média na camada superficial até 20 m de profundidade, e a transmissão dos dados via satélite. As vantagens da versão mini é que são menos caros, mais leves e, portanto, mais fáceis de lançar ao mar, como mostra a Figura 6. Depois de lançados, eles costumam derivar por aproximadamente 400 dias antes de parar de transmitir os dados. Ocasionalmente, são capturados por pescadores ou perdem sua vela.

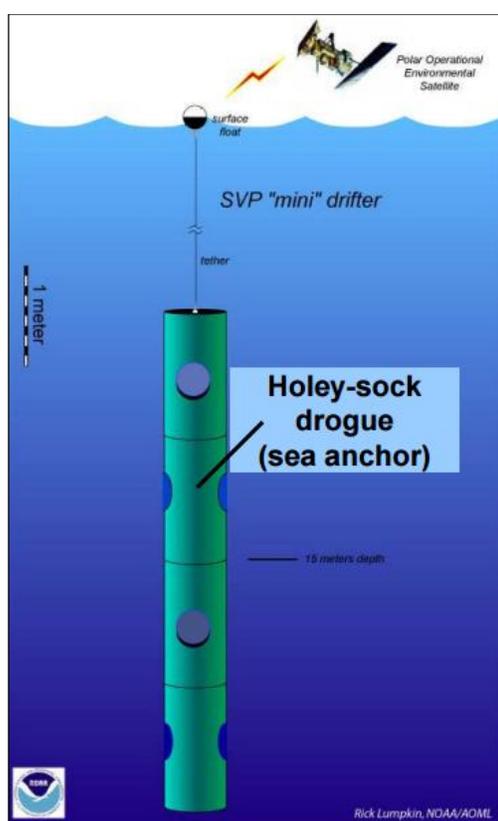


Figura 5 (à esquerda) - Esquema de um mini derivador posicionado no mar; Figura 6 - Mini derivador sendo lançado ao mar.
Fonte: The Global Drifter Program (site) ⁴.

Em 1988, lançamentos em larga escala do primeiro modelo moderno de derivador SVP foram realizados, a fim de se mapear a circulação superficial do Oceano Pacífico tropical (WORLD CLIMATE RESEARCH PROGRAM, 1988 apud LUMPKIN; PAZOS, 2007). Este esforço foi ampliado para escala global como parte do WOCE e do Atlantic Climate Change Program (ACCP), quando

⁴ Disponível em: <http://www.aoml.noaa.gov/phod/dac/gdp_information.php>.

mais derivadores SVP foram lançados para também coletar informações dos oceanos Pacífico e Atlântico Norte, em 1992, dos Oceanos do Sul e Índico, em 1994 (NIILER, 2001 apud LUMPKIN; PAZOS, 2007), e do Oceano Atlântico Sul tropical, em 2004 (LUMPKIN; GARZOLI, 2005 apud LUMPKIN; PAZOS, 2007).

Atualmente, esse esforço conjunto de lançamento em larga escala de derivadores SVP e coleta de dados é conhecido como Global Drifter Program (GDP), um componente do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), do Global Ocean Observing System (GOOS) e do Global Climate Observing System (GCOS), e de um projeto científico do Data Buoy Cooperation Panel (DBCP), da World Meteorological Organization e International Oceanographic Commission. O objetivo científico do GDP, quando foi iniciado em 2005, era manter uma malha de 1.250 derivadores SVP espalhada pelos oceanos, rastreados por satélite, para fornecer, em tempo quase real, velocidade da corrente superficial, temperatura da superfície do mar, pressão e ventos ao nível do mar e salinidade. Estes dados são usados, primordialmente, para previsão meteorológica, pesquisa e monitoramento de clima e calibração/verificação *in situ* de observações de satélite. Atualmente, o GDP conta com uma malha de 1.424 derivadores tipo SVP ao redor do mundo (Figura 7), que transmitem os dados via satélite pelos sistemas Argos e Iridium (GLOBAL DRIFTER CENTER, 2015).

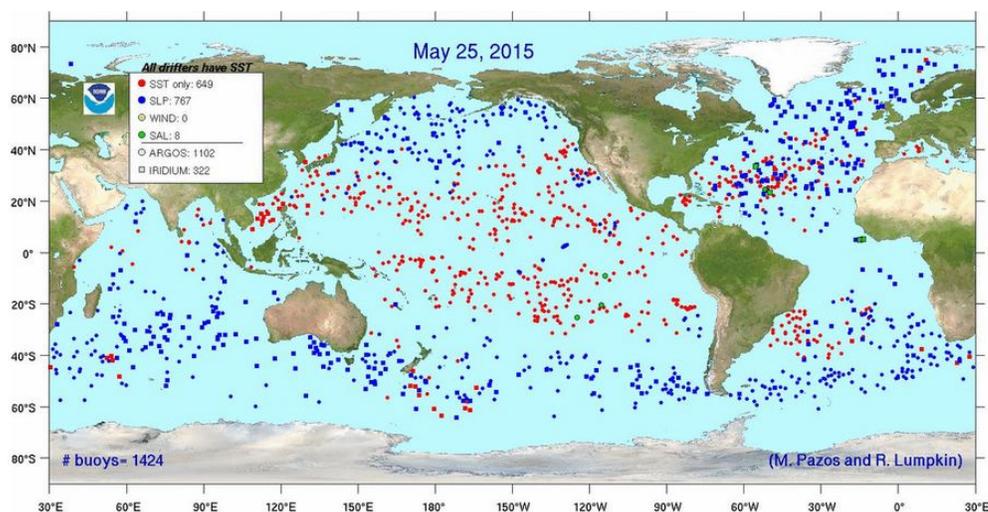


Figura 7 - Distribuição global dos derivadores SVP pertencentes ao GDP.

Fonte: The Global Drifter Program (site)⁵.

⁵ Disponível em: <<http://www.aoml.noaa.gov/phod/graphics/dacdata/globpop.gif>>.

Piterbarg et al. (2007) ressaltam, porém, que a predição da trajetória de partículas, segundo um grande número de autores, é uma questão de alta complexidade, pois o movimento Lagrangeano invariavelmente apresenta um comportamento caótico, mesmo em seus cálculos mais simples. Nos oceanos, os efeitos da combinação da complexa dependência do tempo (SAMELSON, 1992; MEYERS, 1994; DUAN; WIGGINS, 1996 apud PITERBARG et al., 2007) e a estrutura tridimensional (YANG; LIU, 1996 apud PITERBARG et al., 2007) acabam por induzir o transporte ou movimento caótico. O caos geralmente implica em forte dependência das condições iniciais, sobre as quais geralmente não se tem conhecimento preciso, daí a extrema dificuldade de se prever o movimento ou a trajetória da partícula no mar. Toda essa dificuldade tem levado os pesquisadores a desenvolver cada vez mais tecnologias e metodologias para impulsionar o conhecimento da previsão da trajetória de partículas no oceano, pois cumprem um papel de fundamental importância para questões relacionadas à busca de objetos perdidos no mar, resgate de pessoas, rastreamento de minas flutuantes, monitoramento de sistemas de observação oceânico e estudo de questões ambientais como a dispersão de poluentes e larvas de peixes (MARIANO et al., 2002 apud PITERBARG et al., 2007).

Como já relatado anteriormente, um grande número de derivadores, seja de superfície ou de profundidade, de diferentes tamanhos e materiais, vêm sendo idealizados, construídos e lançados ao mar. Portanto, os modelos encontrados variam de acordo com o uso a ser feito e as condições de mar, se em regiões costeiras ou mar aberto. A seguir, mostramos alguns exemplos de como o uso de derivadores e dados coletados podem contribuir em diversos tipos de eventos.

2.2

Uso atual dos derivadores

2.2.1

Busca e resgate

Uma importante contribuição na área de busca e resgate foi o caso do acidente do voo Air France 447, que fazia a travessia Rio de Janeiro–Paris, em 2009. Após o

desaparecimento da aeronave e a descoberta de alguns vestígios dias depois, o Centro de Dados de Derivadores (Drifter Data Assembly Center), na Flórida, foi contatado pelo Centro de Hidrografia da Marinha do Brasil e por pesquisadores franceses do IFREMER (Instituto Francês de Pesquisa para Exploração do Mar) para obter dados dos derivadores tipo SVP presentes na região e monitorados pelo centro. Na época, vários barcos de pesca foram identificados na região e, com ajuda deles, mais derivadores foram lançados, de forma a complementar os dados e obter medições de corrente de alta resolução, auxiliando assim as equipes de busca a localizar mais rapidamente os destroços e os corpos.

A trajetória dos derivadores foi monitorada para estimar como as correntes deslocavam não só os destroços flutuantes na região do acidente, mas também equipamentos mais pesados, como os gravadores de "caixa preta", que afundam também sob influência das correntes. As correntes de superfície delineadas pelas trajetórias dos derivadores, assim como a ação dos ventos, alimentaram modelos computacionais que baseados nos dados recebidos preveem possíveis trajetórias futuras dos derivadores (GLOBAL DRIFTER CENTER, 2015).

As linhas presentes na Figura 8 mostram as trajetórias dos derivadores entre 11 de maio de 2009 e 11 de junho de 2009. O local dos derivadores no momento do desaparecimento da aeronave (31 de maio) está marcado com estrelas, e a descoberta dos primeiros destroços (2 de junho) está representado com círculos. O local aproximado onde os destroços foram encontrados está indicado pelo quadrado azul. Deduz-se, em uma breve análise, que as correntes perfaziam um percurso NE-SW.

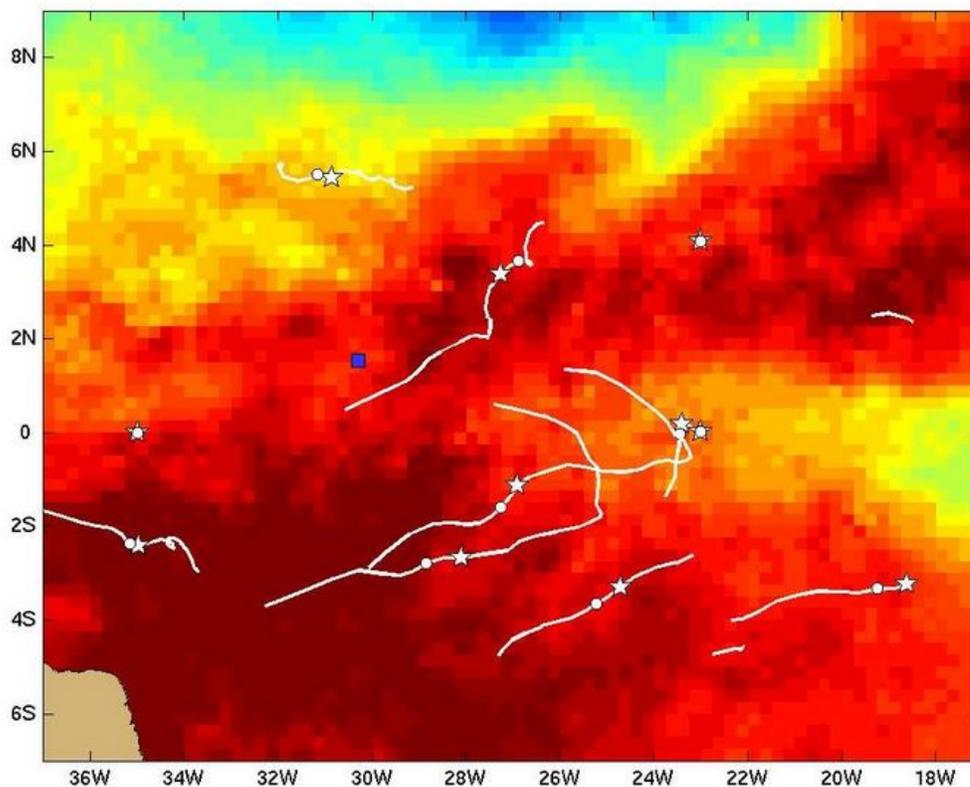


Figura 8 - Trajetórias dos derivadores na região do acidente com o voo AF 447.
 Fonte: The Global Drifter Program (site)⁶.

Outro exemplo é o uso que a Guarda Costeira Americana (USCG) faz dos dados dos derivadores. Anualmente, a USCG realiza cerca de 5 mil missões de busca e resgate e, embora ela e sua antecessora, a Serviços de Salva-Vidas (Lifesaving Services), tenham realizado tais missões por mais de 200 anos, foi nos últimos 30 anos que o Planejamento Computacional de Busca Assistida (Computer Assisted Search Planning) tem sido usado pela USCG. E os principais componentes que são levados em conta para monitorar o objeto em deriva no sistema são as correntes do oceano e o movimento causado pelos ventos (PITERBARG et al., 2007).

2.2.2

Vazamentos de óleo

Outros modelos de derivadores foram desenvolvidos para se estudar a tendência de dispersão de vazamento de óleo no Golfo do México, demonstrando sua utilização

⁶ Disponível em: <http://www.aoml.noaa.gov/phod/graphics/dacdata/Air_France_drifters.html>.

não só em oceanos e regiões costeiras, mas também em golfos, baías e estuários. Um exemplo disso é a realização de diversos experimentos, com uso de derivadores, pelo Consortium for Advanced Research on Transport of Hydrocarbon in the Environment (CARTHE) sediado em Miami (EUA), instituição criada após o maior desastre ambiental da história da indústria do petróleo.

Em abril de 2010, milhões de litros de óleo foram derramados nas águas do Golfo do México (Figura 9), oriundos da explosão da plataforma de perfuração Deepwater Horizon, trazendo graves consequências para as comunidades costeiras de Louisiana, Alabama, Florida, Mississippi e Texas, suas comunidades pesqueiras e ecossistemas marinhos (CARTHE, 2012).



Figura 9 - Mapa do Golfo do México com local do vazamento de óleo da plataforma Deepwater Horizon, em 2010.

Fonte: LabBio Escola (site)⁷.

O CARTHE é uma instituição patrocinada pelo Gulf of Mexico Research Initiative (GoMRI), que congrega mais de 50 países e tem como objetivo estudar o vazamento do óleo e seu impacto nos ecossistemas naquela região. Seus principais temas de estudo são a distribuição física, dispersão e diluição de petróleo, seus constituintes e contaminantes associados à ação de processos oceanográficos físicos, interações ar-mar e tempestades tropicais resultantes do vazamento de óleo da plataforma Deepwater Horizon. Os dados coletados dos derivadores idealizados

⁷ Disponível em: <<http://labbioiee.blogspot.com.br/2010/04/desastre-no-golfo-do-mexico-pode.html>>.

e em uso em seus experimentos alimentam modelos computacionais que ajudam a prever a trajetória em potenciais casos de derramamento de óleo.

O experimento Grand Lagrangian Deployment (GLAD) desenvolveu dois modelos de derivadores de superfície (Figura 10) e lançou 317 unidades durante 10 dias na região onde ocorreu a explosão da plataforma, coletando dados das correntes superficiais, ventos e ondas. Os derivadores, munidos de GPS, enviavam dados de localização a cada 5 minutos, provendo um total de 5,5 milhões de dados de localização durante 6 meses, que foram inseridos em um modelo computacional para o processamento em tempo real. Isso possibilitou determinar mais precisamente onde os próximos derivadores deveriam ser lançados, de acordo com as características oceanográficas encontradas. Esse experimento representou um marco fundamental no entendimento das correntes do complexo e pouco conhecido padrão de transporte de óleo e sua dispersão pelas correntes oceânicas superficiais em uma região de águas abrigadas (CARTHE, 2012).



Figura 10 - Dois modelos de derivadores – para região de mar aberto (à esquerda) e costeira (à direita) – utilizados para o experimento da GLAD.

Fonte: CARTHE (site)⁸.

⁸ Disponível em: <<http://carthe.org/carthe-overview>>.

2.2.3

Iniciativas de instituições brasileiras

As bacias sudeste-sul do Brasil são consideradas umas das regiões oceânicas mais importantes do ponto de vista ambiental e econômico, visto que aqui se encontram os maiores portos e atividades pesqueiras, além das promissoras reservas de óleo e gás, convencionalmente chamadas “Pré-Sal”. De forma a prover uma base de dados oceanográficos dessa região de costa, aproximadamente 50 derivadores rastreados por satélite foram lançados, a partir da década de 1990, pelo Projeto Circulação Oceânica na Região Oeste do Atlântico Sul (COROAS) e pelo Programa Nacional de Boias (PNBOIA), permitindo uma melhor compreensão da variabilidade da circulação de superfície da Corrente do Brasil e águas adjacentes, onde os derivadores foram lançados (ASSIREU, 2003; CERRONE, 2010).

O PNBOIA vem continuamente promovendo lançamentos dos derivadores em um esforço conjunto entre a comunidade científica brasileira e a Marinha do Brasil. Visa benefícios nas áreas da Meteorologia e Oceanografia, dos transportes marítimos, segurança da navegação e salvaguarda da vida humana no mar, agricultura, zona costeira, pesca, validação de dados de satélites, atividades da indústria do petróleo, instalações offshore, portos e estruturas costeiras. Segundo o Centro de Hidrografia da Marinha (2015), algumas de suas contribuições são:

- Descrever e prever as condições de meteorologia marinha e da superfície do oceano, de forma que qualquer operação no mar possa ser eficiente e segura;
- Detectar e avaliar a importância dos efeitos das mudanças climáticas nas condições oceânicas;
- Fornecer dados para preservar e restabelecer ecossistemas costeiros e marinhos e para programas de gerenciamento costeiro; e
- Melhorar a previsão e a pronta resposta a catástrofes naturais, decorrentes de fenômenos meteorológicos marinhos extremos.

É importante ressaltar como o uso dos derivadores e o tratamento de dados coletados podem contribuir de forma tão diversa e fundamental para instituições de pesquisa, academia, indústria e governo.

Outra iniciativa pioneira idealizada para gerar dados oceanográficos de qualidade e alavancar um melhor conhecimento sobre a circulação do Atlântico Sul,

envolvendo empresas da indústria de óleo e gás e a empresa de oceanografia Prooceano, foram os projetos da série MONDO (Monitoramento por Derivadores Oceânicos). Entre os anos de 2007 e 2010, foram lançados 81 derivadores de superfície dos tipos SVP e iSPHERE das plataformas e navios-sonda presentes na região da Baía de Santos (CERRONE, 2010). Estes projetos possibilitaram acompanhar em tempo real a trajetória e demais informações oceanográficas enviadas pelos derivadores, por meio de um *site* na internet onde também era possível fazer o *download* dos dados brutos para o compartilhamento do conhecimento entre as instituições de pesquisa, universidades e sociedade. Portanto, assim como o CARTHE, projetos brasileiros também têm sido executados com derivadores para subsidiar informações oceanográficas e meteorológicas com mais acurácia, de forma a entender melhor o padrão de comportamento de manchas de óleo no mar, em regiões costeiras e em baías e estuários, oriundos de eventos de derramamento de óleo.

Em 2009, o Projeto MondoCorcovado, um dos projetos da série MONDO, lançou 40 derivadores iSPHERE na Baía de Santos durante a campanha de perfuração de uma empresa operadora de óleo e gás, a fim de coletar informações meteoceanográficas para seu Programa de Monitoramento Ambiental. Pela sua característica de seguir a deriva de ventos e correntes, muitos desses derivadores atingiram a costa das regiões Sul e Sudeste do Brasil, foram recolhidos por moradores e pescadores e, ao final, devolvidos ainda em bom estado de funcionamento.

O iSPHERE é um derivador de superfície esférico de baixo custo, cujo desenho foi criado especificamente para que seu comportamento na superfície do mar seja o mais próximo possível ao de manchas de óleo, sendo influenciado pelas correntes superficiais e também pelos ventos, forças que têm impacto direto no comportamento da deriva de manchas de óleo, como pode ser visto nas Figuras 11 e 12. Pode ser lançado, sem esforço, de navios, aeronaves ou plataformas, e foi idealizado para atender prioritariamente às necessidades da indústria de óleo e gás e da comunidade científica oceanográfica. É dotado de um sistema de telemetria por satélite (sistema Argos ou Iridium), um dispositivo GPS, um sensor de temperatura e uma bateria que pode ser substituída pelo próprio usuário. (PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2013).



Figura 11 (à esquerda) - Derivador iSPHERE em detalhe; Figura 12 - Derivador iSPHERE sendo lançado ao mar.

Fonte: PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2013, p. 17.

A possibilidade de reutilização desses derivadores proporcionou então a idealização de outro projeto, não mais em regiões oceânicas ou costeiras, mas em águas abrigadas. Foi assim que nasceu o Projeto Baía de Guanabara, que visava conhecer melhor a hidrodinâmica da Baía, auxiliando em possíveis eventos de derramamento de óleo, além de mapear as correntes de superfície e ventos em uma das baías mais importantes do país. O uso de derivadores em regiões abrigadas, como baías, não tem sido prática frequente no Brasil, e este projeto se mostrou inovador devido ao tempo de coleta sistemática realizado por derivadores em um local tão carente de dados oceanográficos como a Baía de Guanabara. Os mapeamentos deram origem a importante volume de dados, que alimentaram modelos computacionais, provendo informações também para previsões oceanográficas e meteorológicas (PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2013). Com o conhecimento gerado pelo Projeto Baía de Guanabara, permitiu-se também conhecer o padrão de deslocamento do lixo flutuante, possibilitando o planejamento da estratégia de retirada do lixo que polui a Baía de Guanabara, como aponta Axel Grael em seu *blog*⁹. Este projeto e o uso do derivador iSPHERE serão abordados com mais detalhes no próximo capítulo.

Assim como é feito em diversas partes do mundo, o uso de derivadores e outros equipamentos de coleta de dados oceanográficos deveria ser estimulado entre as instituições acadêmicas brasileiras, iniciativa privada e órgãos governamentais, de forma a ampliarmos o conhecimento hidrodinâmico não só da Baía de Guanabara,

⁹ Disponível em: <<http://axelgrael.blogspot.com.br>>.

mas também de outras baías no Estado do Rio de Janeiro e no País. A obtenção de dados para mapeamento de correntes e ventos em áreas abrigadas através da utilização destes equipamentos é viável, desde que seja escolhido o modelo adequado para o local de uso. Os resultados obtidos, como será enfatizado nos capítulos a seguir, poderão proporcionar uma importante geração de dados, que certamente auxiliarão na tomada de decisões relativas a eventuais casos de derramamento de óleo, no conhecimento do padrão de transporte e localização do lixo flutuante, planejamento territorial das margens da baía e também na preservação do ambiente marinho da baía em suas regiões de maior sensibilidade ambiental.

3

Acesso da população aos corpos d'água: degradação e revitalização

3.1

Breve histórico de algumas tendências da arquitetura do século XX

Este capítulo disserta sobre as novas tendências que o campo do urbanismo e paisagismo experimentou desde o início do século passado, quando uma visão mais humanista e ecológica começou a ser considerada no planejamento dos projetos e redesenho das cidades.

A Associação Americana de Arquitetos-Paisagistas (ASLA) foi pioneira em uma iniciativa chamada *Sustainable Sites* (Locais Sustentáveis), cujo um dos projetos foi a elaboração de um manual para orientar as intervenções urbanas com o objetivo de resgatar os serviços ecossistêmicos nas cidades. Foi um sistema inovador de avaliação de diversos temas ligados à sustentabilidade das paisagens e que pontuava os empreendimentos quanto a: escolha do local; diagnóstico, planejamento e projeto; águas; solo e vegetação; escolha de materiais; saúde e bem-estar humanos; operações e manejo; e monitoramento e inovação (HERZOG, 2013).

A partir do final da década de 1960, foi a vez da psicologia ambiental, que começou a se consolidar e a influenciar os estudos em urbanismo, ao inserir a visão do usuário no planejamento do projeto. Essa mudança de paradigma trouxe grandes discussões, como era de se esperar, mas também mostrou como é fundamental considerar a relação do ser humano com o ambiente como um processo interativo e não tão determinista. O tema da humanização e sua relação com fenômenos arquitetônicos revelou-se um desafio, incentivando novos estudos de profissionais da arquitetura e do urbanismo. Kowaltowski et al. (2013) revelam, no prefácio de *Uma linguagem de padrões*, de Christopher Alexander, preocupações do autor quanto ao impacto socioambiental da construção civil e do desenho das cidades, tendo o mesmo considerado, em suas premissas de projeto, questões sobre sustentabilidade, mobilidade urbana e permeabilidade do solo, canalizando a necessidade humana inata por ambientes vivos e saudáveis.

A partir da década de 1980, novas tecnologias, como o Sistema de Informação Geográfica (SIG), permitiram estudar e analisar as paisagens a partir de outros ângulos, em diferentes escalas e com maior precisão, abrindo novos campos para a

arquitetura, como o da ecologia das paisagens. Esse novo campo de conhecimento, segundo Herzog, tem influenciado e revolucionado o planejamento e projeto urbano e rural, demonstrando as dinâmicas existentes “entre os fragmentos (elementos naturais e antrópicos) que compõem as paisagens e os processos e fluxos abióticos, bióticos e das pessoas que mantêm o seu funcionamento” (HERZOG, 2013, p. 108). Assim, a abordagem necessária quanto ao planejamento e projeto de cidades deve ser realizada de forma sistêmica em diversas escalas: regional, urbana, da bacia ou sub-bacia hidrográfica, do bairro e local. Vemos então a paisagem urbana como um sistema heterogêneo, e, como tal, mudanças em sua forma podem não alterar sua função ou podem alterá-la drasticamente. A paisagem é vista de uma forma integrada, com suas funções interligadas, suscetível a mudanças constantes.

Tanto os ecossistemas naturais quanto os humanos podem mudar de maneira inesperada, principalmente quando estão sujeitos a alterações em seus processos e fluxos. Grandes perturbações poderão causar uma troca de patamar e de padrão de funcionamento, alterando as funções do sistema. Conseqüentemente, as paisagens apresentarão sérias restrições à vida (HERZOG, 2013, p. 108).

A eutrofização que se observa na Baía de Guanabara é um exemplo de mudança de patamar que alterou a funcionalidade do sistema. A Baía influencia e é influenciada pelos fluxos e processos que ocorrem em suas águas, margens, entorno e em sua bacia hidrográfica. Precisamos ter uma visão integrada da paisagem para analisar as alterações e impactos que estamos imprimindo a este importante corpo d’água, objeto de nosso estudo. Esta é a razão pela qual inserimos a análise dos rios afluentes e da qualidade de suas águas que deságuam na Baía, o estudo da população que ali reside, o saneamento em seu entorno e a distribuição provável do lixo flutuante que deriva em suas águas.

Segundo Herzog (2013), a ecologia da paisagem tem uma visão sistêmica do mosaico da paisagem, por onde escoam os fluxos e processos naturais determinando o funcionamento do ecossistema urbano. Esse mosaico engloba os elementos (fragmentos urbanos, vegetados e florestados) e conexões e rupturas (rios e ruas). Visualizando a bacia hidrográfica da Baía de Guanabara como um grande mosaico, podemos ver que ela é composta por elementos como: maciços florestados, áreas verdes e áreas urbanizadas. Suas conexões e rupturas são as vias que conduzem o tráfego de veículos e os rios que desembocam na Baía.

3.2 Normas, modelos e políticas

Novas teorias vieram a permear estudos e publicações, incluindo a visão e os anseios do usuário, e também possibilitaram discussões acerca do convívio das pessoas com a natureza, trazendo à tona o sentimento nato da procura do homem por locais sagrados e, então, pelos corpos d'água.

Em *A boa forma da cidade*, Lynch (1981) faz uma ampla análise da teoria normativa, cujos princípios têm despertado atenção nos últimos anos e que dissertam sobre as interligações entre os valores humanos e a forma dos aglomerados populacionais. Além disso, discorrem sobre como podemos reconhecer uma boa cidade quando nos deparamos com uma. Essa teoria fala também do “modelo orgânico”, que vê a cidade como um organismo. Este modelo é o mais recente dentro da teoria normativa, ainda que já tenha dois séculos de existência. As ideias de ecologia e inclusão da cultura humana no novo campo da sociobiologia permeiam a política por ele seguida e a afeição pela natureza e o desejo de proximidade por lugares naturais e vivos são respeitados, sendo vistos como sentimentos legítimos almejados pelo mundo urbanizado. Os aglomerados urbanos construídos de acordo com esse modelo permitem essa proximidade e maior contato com a natureza. A grande contribuição do modelo orgânico é a visão holística, “o hábito de considerar um aglomerado populacional como um conjunto com muitas funções, cujos elementos diversos estão em interação constante e se apoiam mutuamente, e em que o processo e a forma são indivisíveis” (LYNCH, 1981, p. 98). Esse modelo tem tido, nesses dois séculos, menos influência na construção de aglomerados urbanos se comparado a outros modelos, porém é o mais utilizado pelos profissionais de planejamento e o que atrai a curiosidade dos leigos no assunto.

Lynch considera que um bom aglomerado populacional é aquele “que melhora a continuidade de uma cultura e a sobrevivência do seu povo, o que aumenta o sentido de ligação no espaço e no tempo e permite ou encoraja o crescimento individual” (LYNCH, 1981, p. 116). Para isso, nomeia 5 dimensões de execução que devem ser consideradas em um programa de planejamento ou redesenho de uma “boa forma de cidade”: *vitalidade, sentido, adequação, acesso e controle*. No presente estudo, concentramos nossa análise na vitalidade.

Analisando a dimensão vitalidade à luz da teoria orgânica, vemos que ela busca entender a forma pela qual o aglomerado populacional tem condições de prover as funções vitais, o apoio à saúde, o bom funcionamento e requisitos biológicos de sua população e como protege a sobrevivência da espécie. É nesta dimensão, por exemplo, que começam a ser analisados os impactos do ruído e das luzes da cidade na saúde da população, quesitos até então relevados a segundo plano, considerados uma perturbação menor ou simples comodidade. Atualmente, seus efeitos sobre a saúde já são conhecidos, “na medida em que podem reforçar ou perturbar os ritmos do corpo humano: afetar o nosso sono ou dessincronizar as flutuações normais das funções internas” (LYNCH, 1981, p. 124). Segundo Lynch (1981), três características precisam existir para que o ambiente seja considerado vital: *sustentação*, *segurança* e *consonância*.

Para que uma cidade ofereça sustentação, deve ser previsto um abastecimento adequado de alimentos, energia, água e ar, assim como tratamento apropriado dos resíduos gerados. Por outro lado, a sustentação é afetada, dentre outros fatores, pelos sistemas de tratamento dos resíduos, pela densidade de ocupação relativamente aos recursos, pela localização dos aglomerados populacionais e também “pela forma como o espaço, o solo e a vegetação são conservados e adaptados de modo a produzirem os abastecimentos necessários” (LYNCH, 1981, p. 119). Alguns dos dispositivos espaciais utilizados para atingir estes objetivos ideais são: a conservação do solo, o aproveitamento das florestas, os sistemas de esgotos, poços e o controle dos cursos d’água.

Segundo Lynch (1981), um ambiente fisicamente seguro é aquele em que os riscos como: poluição do ar e da água, contaminação dos alimentos, ocorrência de cheias e de incêndios, ocorrência de acidentes pessoais e ambientais, doenças e vetores estejam identificados e controlados, assim como se considere também o tratamento para as pessoas expostas a estes riscos.

A terceira e última característica, consonância, faz a inter-relação entre o ambiente espacial e a estrutura biológica do ser humano e assim, questões como os ritmos e ciclos naturais de dormir e acordar e os estímulos sensoriais como a visão e a audição são trazidos à luz. Os conceitos de ergonomia também são tratados com grande relevância.

Correlacionando as três características citadas acima, observamos que há um longo caminho a percorrer para que possamos considerar a Baía de Guanabara e seu

entorno, um ambiente vital. A falta de tratamento e coleta apropriados dos resíduos; deficiência ou falta de saneamento, de redes de esgoto e drenagem; ausência de planejamento governamental da ocupação do solo; precariedade de uma política habitacional nas margens da Baía, ocorrência de acidentes ambientais e falta de controle de presença de doenças e vetores, são alguns exemplos que justificam a não qualificação do nosso objeto de estudo à dimensão vitalidade.

Porém, não podemos considerar apenas os novos estudos, tecnologias, normas e modelos como agentes influenciadores das novas tendências da arquitetura e urbanismo do último século. Políticas espaciais a nível nacional e local propostas por agências públicas também têm exercido forte influência no desenho e redesenho das cidades. Lynch enumera várias delas em sua obra. Fazendo uma relação com nosso objeto de estudo, selecionamos aqui três políticas nacionais.

A rede de infraestruturas principais (estradas, aeroportos, portos, redes elétricas, canais, aquedutos) é alargada e melhor estruturada para melhorar os transportes e a eficiência produtiva, aumentar a interação e o acesso, abrir novas áreas de utilização, aumentar a igualdade, por motivos de rentabilidade econômica [...]

As emissões de lixo, a erosão dos solos e o uso de fontes de água e de energia pode ser regulada, de maneira a permitir a conservação de recursos para uma utilização no futuro ou para melhorar a saúde e o conforto através de uma redução da poluição [...]

Preservam-se grandes áreas “naturais” por causa da respectiva importância simbólica, para conservar recursos, para melhorar aspectos recreativos e outras comodidades, e para evitar a quebra do equilíbrio ecológico (LYNCH, 1981, p. 56).

Em complemento ao terceiro ponto, percebemos que as pessoas buscam acesso a locais naturais como abrigos, espaços abertos, centros e locais simbólicos, áreas até mesmo abandonadas ou desativadas e a ambientes naturais harmoniosos. A busca por acesso a paisagens específicas, devido às suas qualidades sensoriais, ao seu significado simbólico ou às oportunidades que oferecem às atividades recreativas tem aumentado significativamente nos últimos tempos, demonstrando maior conscientização da população quanto à possibilidade do convívio mútuo do urbano com o natural.

3.3

Resgatando o sagrado da água

Em *Uma linguagem de padrões*, Alexander et al. (2013) também dissertam sobre esta questão, ressaltando a importância de áreas com significado simbólico ou “sítios sagrados”. Elas podem ser locais de beleza natural ou marcos históricos que

restaram do passado. Em cada região, cidade ou bairro, pode haver lugares especiais de alto valor simbólico, que promovem a conexão das pessoas com o solo e com o passado e funcionam como “realidades comunitárias objetivas”. Dentre os locais de beleza natural, destacam-se praias, lagos e margens de rios, que precisam ser preservados, mantidos, terem seu uso adequado e sua importância reconhecida. A água é preciosa: as pessoas possuem um anseio vital, profundo e instintivo por grandes corpos d’água.

A Baía de Guanabara e seu entorno, por exemplo, abrigam uma série de locais simbólicos, além de representarem um importante local de beleza natural, não só para a população que ali reside ou trabalha, mas para toda a população da cidade do Rio de Janeiro. Longas histórias podem ser contadas pelas gerações que puderam banhar-se em suas águas ou apreciar a beleza das aves, golfinhos e demais espécies de fauna e flora que ali viviam. São histórias carregadas de nostalgia e saudosismo de um tempo em que o acesso às águas da Baía era mais saudável e prazeroso.

A conexão entre as pessoas e a água é abordada em diferentes áreas do conhecimento. Seja na biologia, quando L. J. Henderson correlaciona o sal presente no nosso sangue ao sal da água do mar; como na psicanálise, que considera os grandes corpos d’água como o inconsciente do sonhador, pelo menos na linha junguiana. Além disso, dizem Alexander et al. (2013), vários estudos demonstram que a água tem efeito terapêutico positivo:

Nós viemos da água; nossos corpos são em grande parte água, a água desempenha um papel fundamental em nossa psique. Precisamos ter contato constante com a água, ela sempre deve estar ao nosso redor; e temos que reverenciar a água em todas as suas formas [...] (ALEXANDER et al., 2013, p. 324).

Além dos sentimentos de calma e tranquilidade e as possibilidades de lazer e recreação que a água oferece, Herzog (2013) ressalta outros benefícios, como:

- Desenvolvimento econômico que grande parte das cidades teve devido à facilidade de transporte e comunicação;
- Influência nas paisagens naturais e culturais ao longo da história; e
- Contribuição na regulação dos microclimas, atenuando as ilhas de calor formadas devido a concentrações de áreas construídas e pavimentadas.

Apesar de todos esses e outros benefícios, a proximidade e o acesso das pessoas também podem degradar e poluir os corpos d’água. Desde o início da urbanização,

fontes naturais de água têm sido escondidas ou cobertas; seus cursos alterados e canalizados e seus leitos, impermeabilizados. A água da chuva, que antes percorria em meandros os rios que desembocavam em lagos, estuários e oceanos, atualmente escoava no subsolo, fechada ou ainda aberta, mas em cursos d'água com uma carga poluidora considerável, impedindo as conexões e acessos saudáveis e fáceis.

A forma de ocupação das margens de um corpo d'água pode ser decisiva para sua degradação ou preservação. A construção de estradas, avenidas e indústrias pode degradar a orla assim como o acesso restrito a uma praia pode ajudá-la em sua preservação, embora isso não seja uma regra. A questão, segundo Alexander et al. (2013), é que na maior parte das vezes as pessoas constroem suas moradias perto dos corpos d'água. Por isso, é fundamental que o solo imediatamente ao longo do corpo d'água seja preservado para o uso comunitário. Para isso, as vias, ruas e estradas, que podem degradar e até mesmo destruir a orla devem ser construídas afastadas da orla, sendo a proximidade permitida apenas se ortogonais a ela. A largura da faixa de solo de uso público, ao longo de corpos d'água, também deve variar de acordo com o tipo do corpo d'água, a densidade populacional e as condições ecológicas, sugerindo-se desde a construção de um passeio de pedra de 1 metro de largura para regiões urbanizadas de alta densidade ocupacional, a um parque de uso público ou uma faixa com dunas em regiões de aglomerado urbano de menor densidade. De qualquer forma, o importante é manter um cinturão de uso público imediatamente contíguo à água e permitir que aglomerados urbanos densos cheguem até a água em intervalos ocasionais.

Será que os municípios que estão inseridos na bacia hidrográfica da Baía de Guanabara têm uma política habitacional que promova o acesso à moradia digna para a população do entorno, tendo como prática impeditiva a construção de habitações precárias? Será que esta política habitacional também considera a preservação e a não degradação do espelho d'água e das margens da Baía?

O ideal seria imaginar uma cidade onde se pudesse ter acesso à água nas mais variadas formas, seja para nadar, brincar, molhar os pés, caminhar, sentar em suas margens para contemplar e passear por cima de seus espelhos d'água através de pontes e passarelas. A água da chuva também poderia ser coletada das coberturas das edificações, através de canais abertos, até pequenos lagos ou espelhos d'água. O sistema de reservatórios e abastecimento de água poderia ser planejado de forma a ser considerado lugar público, de visitação, ou mesmo um sítio sagrado. Criar

diferentes cenários com a água e inseri-la no contexto urbano pode criar um sentimento de pertencimento que poderia ajudar na preservação desses cenários (ALEXANDER et al., 2013).

Importante ressaltar o empirismo da obra *Uma linguagem de padrões*, em que Alexander et al. organizam padrões de recorrência para sistematizar a obra assemelhando-se a um hipertexto. Na obra, os autores se distanciam dos métodos clássicos de metodologia dos projetos para dar início a uma série de pesquisas com base em observações de ambientes cotidianos, levando-se em conta a relação ser humano-ambiente, imprimindo à obra um “profundo conteúdo humanizador derivado da observação de atributos espaciais de lugares apreciados por seus usuários” (ALEXANDER et al., 2013, p. VI.). O impacto socioambiental e os aspectos ligados à sustentabilidade, como mobilidade urbana e permeabilidade do solo, também são algumas das inúmeras questões discutidas na obra, ressaltando seu teor inovador e empírico, e não por acaso fazendo dela uma referência no campo da arquitetura.

3.4

Alguns casos de revitalização de áreas degradadas

Iniciativas vêm sendo tomadas ao redor do mundo, para reverter áreas urbanas degradadas próximas a corpos d’água. Revitalizar tais áreas traz de volta o sentimento de pertencimento da população que ali habita, atrai novos moradores e visitantes, cria novos sítios sagrados e devolve ao cidadão seu direito ao acesso à água. Um senso comum dentre estas iniciativas é a participação ativa dos moradores do entorno, imprimindo à sociedade uma postura mais ativa e participativa. Abaixo são destacados 3 casos de revitalização como exemplos de que é possível reverter a degradação urbana e ambiental.

Uma referência mundial é o ecobairro Hammarby, em Estocolmo, na Suécia, localizado em uma região de zona industrial e portuária até então degradada. Segundo Herzog (2013), além de devolver qualidade de vida aos moradores junto à natureza, esta revitalização “buscou desenvolver novas soluções tecnológicas para fechar os ciclos metabólicos de geração de energia, filtragem das águas e tratamento do lixo e esgoto, com a redução da pegada ecológica e conseqüentemente menor geração de GEE (Gás de Efeito Estufa)” (HERZOG, 2013, p. 212). O conceito que permeou essa

revitalização teve objetivos não só de lazer ou de recreação, reaproximando as pessoas à água, mas também teve objetivos funcionais, como:

- Redução de 50% no consumo de água;
- Tratamento de esgoto antes de seu lançamento no lago;
- Transformação dos resíduos sólidos em fertilizantes biológicos para agricultura e em biocombustível (geração de energia);
- Lixo orgânico, papel e jornal transportados por sucção a vácuo, dos pontos de coleta para a usina de tratamento local;
- Resíduos tóxicos e não tóxicos devidamente coletados e corretamente destinados;
- Geração de energia solar; e
- Tratamento das águas das chuvas e do escoamento superficial localmente, através de alagados construídos, antes de irem para o lago.

Outro importante caso de revitalização foi o Programa da Baía de Chesapeake em Maryland (EUA), criado a partir de 1983.

No final da década de 1970, o governo americano financiou cinco anos de estudos para analisar a rápida perda da vida selvagem e vida aquática observada na baía. O estudo, publicado no início de 1980, identificou excesso de poluição por nutrientes como a principal fonte de degradação e culminou com a criação do Programa de Chesapeake Bay, em 1983. Também estabeleceu projetos de restauração da baía de forma a promover a redução da poluição e a restauração dos ecossistemas. A Baía de Chesapeake foi o primeiro estuário no território americano a ter sua restauração e proteção ambiental apoiadas pelo Congresso. A partir de 1987, o Acordo de Chesapeake Bay começou a definir metas progressivas para alcançar seus objetivos de forma mais assertiva, prática sem precedentes até então, que se tornou uma marca do programa. (CHESAPEAKE BAY PROGRAM, 2015). Exemplos de algumas metas estabelecidas foram:

- Monitorar, a partir de 1992, os nutrientes na fonte, à montante dos rios que desembocam na baía;
- Reduzir a concentração de nitrogênio e fósforo em 40% até o ano de 2000;

- Reavaliar a Estratégia de Redução de Toxicidade de forma a compreender melhor os efeitos de contaminantes químicos na vida aquática da baía.

No ano 2000, os parceiros do programa assinaram o acordo Chesapeake 2000, que definia uma visão e estratégia mais abrangentes para direcionar os esforços de restauração até 2010. Neste acordo, foram estabelecidas 102 metas para reduzir a poluição, restaurar *habitats*, proteger os recursos vivos, promover práticas de uso da terra e engajar a sociedade na restauração da baía. Este acordo foi pioneiro em vários aspectos, dentre os quais, enfatizar a gestão da atividade pesqueira respeitando os ecossistemas existentes e incluir, dentre seus parceiros, representantes dos estados das nascentes dos rios da Baía.

Ainda segundo a *homepage* do Chesapeake Bay Program, o programa obteve resultados positivos e negativos. Dentre os pontos de sucesso, pode-se ressaltar significativos ganhos nas questões relacionadas à restauração, como: conservação da terra, restauração de floresta e reabertura de passagem de peixes. No entanto, verificou-se um limitado progresso em relação a muitas outras medidas de saúde e restauração, como a abundância das ostras e a redução da poluição por nutrientes provenientes da agricultura e de áreas urbanas. A partir de 2009, cientes da urgente necessidade de acelerar o ritmo da restauração da baía, o Conselho Executivo do Programa decidiu se concentrar em metas de restauração de curto prazo, além das de longo prazo, estabelecendo e atingindo metas a cada 2 anos, com o pô-las em prática no mais tardar até 2025.

Um fator importante a ser ressaltado, que tem contribuído para o êxito da restauração da Baía de Chesapeake e de seus afluentes por tanto tempo, é a parceria. Sem o engajamento e comprometimento dos mais dos 7 estados americanos, 20 agências da esfera federal, 27 instituições acadêmicas, mais de 30 ONG's, da Environmental Protection Agency (EPA) e demais parceiros não seria possível garantir a permanência deste programa.

Devido à várias similaridades entre a Baía de Chesapeake e a Baía de Guanabara, bem como os desafios para reverter seus quadros de degradação ambiental, foi assinado, em março de 2011, um acordo de “Cooperação Técnica entre os estados do Rio de Janeiro e Maryland para a Recuperação da Baía de Guanabara”. Seu objetivo foi estabelecer um intercâmbio para buscar soluções de gerenciamento integrado dos diferentes usos da baía, da estratégia de engajamento

de instituições públicas, privadas, acadêmicas e de pesquisas e de mobilização das comunidades do entorno. Abaixo estão listadas algumas das características da Baía de Chesapeake¹⁰, complementadas com informações da Baía de Guanabara:

- Estuário comporta 68 bilhões de m³ de água. A Baía de Guanabara comporta 2 bilhões de m³ de água;
- Pouca profundidade, em média 6,4 m;
- Sua área de superfície tem aproximadamente 11,6 mil km² e a Baía de Guanabara tem 346 km², dos quais 59 km² de ilhas;
- A população que mora em seu entorno é superior a 17 milhões de habitantes, sendo que 150 mil pessoas se mudam para lá a cada ano. A Baía de Guanabara abriga aproximadamente 10 milhões de habitantes em seu entorno;
- Sua extensão passa por 6 estados, cidades e condados. A Baía de Guanabara abrange 16 municípios.
- Sua costa tem 18.800 km de extensão, mais que toda a costa oeste dos EUA; e
- Abriga 2 dos 5 maiores portos do Atlântico Norte (Baltimore e Hampton Roads).

Um terceiro caso que merece destaque é a revitalização do córrego Cheonggyecheon em Seul, na Coreia do Sul. Com o fim da Guerra da Coreia, na década de 1950, a população carente que fugiu do Norte e os que voltaram à capital à procura de empregos, iniciou a ocupação das margens do córrego, construindo favelas sobre palafitas, sem que houvesse saneamento ou coleta de lixo. Posteriormente, o córrego foi asfaltado, transformando-se em uma avenida que, por sua vez, foi coberta por um viaduto, agravando o cenário já degradado e poluído. Quarenta anos depois, esse mesmo viaduto encontrava-se com problemas estruturais oriundos da deterioração devido ao tempo, o que comprometia sua integridade. O centro da cidade tornara-se vazio e decadente devido à migração de moradias e negócios para outras regiões e, além disso, havia uma quantidade de gás metano concentrada nas galerias de esgoto dessa região 23 vezes maior que no exterior. Em 2003, uma grande força tarefa foi realizada pela prefeitura de Seul para reverter esse quadro. Herzog (2013) ressalta a magnitude do projeto e compara a

¹⁰ Disponíveis na *homepage* do programa: <<http://www.chesapeakebay.net/about/how/history>>.

extensão do córrego a locais da cena carioca, para se ter uma noção de escala, como pode ser visto na maquete da cidade na Figura 13. É como se o córrego começasse na praça da Cinelândia, passasse por toda a avenida Rio Branco, dobrasse na avenida Presidente Vargas, entrasse pela avenida Francisco Bicalho e finalmente desaguasse na Baía de Guanabara, todo esse trajeto percorrido por um viaduto.



Figura 13 - Maquete do córrego Cheonggyecheon, em Seul (Coreia do Sul), re-naturalizado, com as pontes fazendo as conexões das margens.
Fonte: HERZOG, 2013, p. 250.

A cidade ganhou um córrego urbano naturalizado e restaurado, com espaços ambientalmente amigáveis e em contato direto com as águas e a biodiversidade, através de um corredor verde ao longo de suas margens e com aproveitamento quase que de 100% do material retirado. Segundo Herzog (2013), o conceito do projeto de 5,84 quilômetros incluiu a implantação de sistemas de:

- Saneamento e de esgotamento sanitário;
- Drenagem de águas pluviais; e
- Coleta e reciclagem de lixo.

E ainda:

- Construção de pontes para conectar as duas margens;
- Plantio de espécies nativas, adaptadas em casos de potenciais alagamentos;
- Reorganização e expansão dos transportes públicos;
- Criação de um ecossistema urbano sustentável;
- Aumento da biodiversidade de 98 para 626 espécies, incluindo fauna aquática e terrestre, aves, insetos e vegetação; e
- Melhoria climática, devido à implantação de um sistema natural de direcionamento de brisas pelas águas e a vegetação introduzida.

A parte do córrego aberta ao público se inicia com uma canaleta com água que deságua em um espelho d'água que cai em cascata. Durante seu percurso, há espaço para exposições, murais que contam a história da cidade, fontes, águas que cascateiam pelos muros, passagem de pedras para se cruzar o rio, recantos sob as pontes, bancos e trilhas (Figura 14).

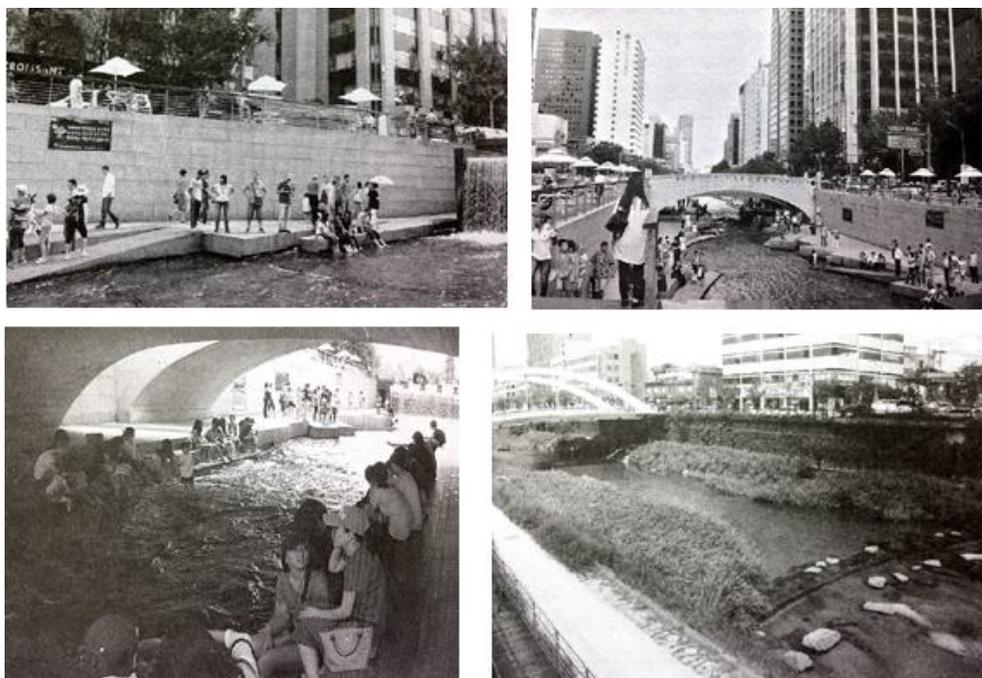


Figura 14 - Diferentes trechos do córrego Cheonggyecheon, demonstrando o acesso das pessoas à água.

Fonte: HERZOG, 2013, pp. 252, 253 e 255.

Embora os casos conhecidos de revitalização de corpos d'água tenha acontecido em outros países, precisamos ter em mente a real possibilidade de iniciativas como essas serem implantadas no Brasil. Analisando o que já foi feito mundo afora e nessa pequena amostra de três casos, vemos que a visão integrada do mosaico é fundamental. A visão dos elementos impactando o todo, e vice-versa, assim como a inclusão da população no direito de uso e acesso à água são cruciais no planejamento de qualquer projeto de revitalização.

O limiar entre a preservação e a degradação de corpos d'água é tênue e desafiador. As sugestões das dimensões de cinturões, vias e passagens, apresentadas por Alexander et al. (2013), caso não possam ser replicadas em sua totalidade dentro do contexto nacional, devem ser vistas pelo menos como um início promissor.

Sabemos que a problemática da poluição da Baía é complexa e sua resolução de médio e longo prazos, mas as lições que aprendemos é que a possibilidade de restauração e revitalização de todo o mosaico da bacia hidrográfica existe: depende de como visualizamos o cenário, sua magnitude, as oportunidades de parcerias e as soluções em potencial.

4. Projeto Baía de Guanabara: contribuições e desdobramentos

4.1 Concepção

Com início em maio de 2010 e duração de 4 anos e 2 meses, o Projeto Baía de Guanabara foi criado com mentalidade multidisciplinar, incluindo parceiros da iniciativa privada, uma universidade pública e o terceiro setor. Participaram deste projeto a empresa do setor de óleo e gás natural BG Brasil, a ONG Instituto Rumo Náutico/Projeto Grael, a empresa de consultoria ambiental Prooceano e dois laboratórios de pesquisa universitária – o Laboratório de Modelagem dos Processos Marinhos e Atmosféricos (LAMMA) e o Laboratório de Métodos Computacionais em Engenharia (LAMCE), ambos da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) (PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2012).

Este capítulo aborda os resultados do projeto desde o seu início até dezembro de 2012, perfazendo um período de 2 anos e meio. Isto se deve ao fato de ter havido maior número de coletas de dados com derivadores e de forma mais sistemática nesse período.

O conhecimento da hidrodinâmica em ambientes marinhos costeiros, tanto para a construção de estruturas urbanas (portos, marinas, refinarias, pontes, etc.) quanto para a melhor compreensão da dispersão de poluentes oriundos de emissários submarinos e demais fontes poluidoras é de fundamental importância, segundo Carvalho (2011). Um dos benefícios a ser destacado desse conhecimento prévio da hidrodinâmica é a geração de informações que servem como subsídio para o planejamento de medidas de gestão e de emergência, e que visam minimizar não só o impacto ambiental de tais atividades sobre o ambiente marinho costeiro (como a Baía de Guanabara), mas também a influência da hidrodinâmica destes ambientes nas estruturas urbanas e na dispersão de poluentes.

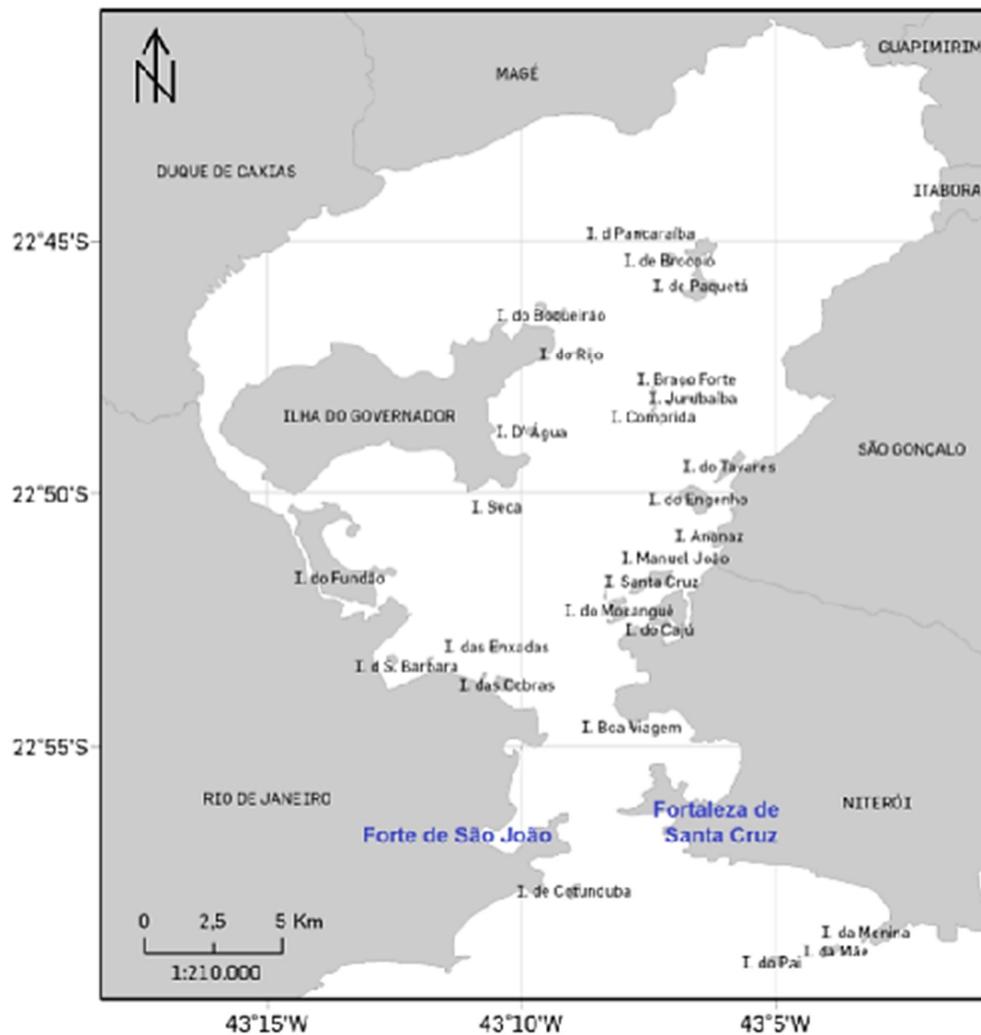


Figura 15 - Mapa da Baía de Guanabara.

Fonte: MARIANO, 2014, p. 5.

Apesar da quantidade de trabalhos já realizados (CUNHA et al., 2006; BERGAMO, 2006; KJERFVE et al., 1997; AMADOR, 1997; FILLIPO, 1997 apud PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2012), a Baía carece de uma base de dados oceânicos coletada de forma sistemática e por longo período. E, para que a comunidade científica possa desenvolver pesquisas e estudos, esta base precisa estar organizada e disponível de forma irrestrita. Além disso, regiões estuarinas, tais como a Baía de Guanabara, são muito adequadas ao uso de derivadores oceânicos, uma vez que podem ser seguidos e recolhidos sistematicamente (PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2012). Desta forma, esse projeto foi idealizado e executado de forma a atender às várias lacunas existentes e surgiu

como uma oportunidade de unir esforços e interesses dos parceiros de forma a contribuir para o desenvolvimento de pesquisa na região.

O Projeto Baía de Guanabara teve como objetivos gerais:

- Estudar e compreender melhor a circulação marinha superficial da Baía de Guanabara;
- Estudar e compreender melhor as características termohalinas (circulação das águas profundas) da Baía de Guanabara;
- Difundir e democratizar os resultados e informações obtidas para a comunidade; e
- Capacitar e formar pessoal para a coleta de dados em meio aquático (PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2012, p. 8).

E como objetivos específicos:

- Realizar medições sistemáticas da corrente marinha superficial na Baía de Guanabara;
- Realizar medições sistemáticas de temperatura, salinidade e densidade ao longo da coluna d'água na Baía de Guanabara;
- Tratar e disponibilizar os dados coletados;
- Implementar e operacionalizar um modelo numérico de previsão de correntes; e
- Contribuir para programas de limpeza e despoluição da Baía de Guanabara (PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2012, p. 8).

Segundo o relatório (PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2012), os resultados obtidos com o projeto foram positivos, gerando uma quantidade considerável de informações sobre correntes marítimas, temperatura da água e salinidade na região, que formaram um painel mais amplo sobre a circulação marinha da Baía de Guanabara. As informações sobre as correntes são fundamentais para ações de prevenção, combate às emergências, como um possível vazamento de óleo, combate à poluição e de preservação do ambiente como um todo.

Os objetivos gerais e específicos listados acima foram alcançados em maior ou menor grau, atendendo às expectativas dos parceiros. Podemos notar que o foco maior dos objetivos do projeto foi estudar, medir e melhor compreender a circulação das correntes e suas características na superfície e na coluna d'água da Baía. Não foram idealizados, inicialmente, estudos direcionados para a localização do lixo flutuante, porém já era sabido que, como esse lixo se comporta como derivadores, o mapeamento de correntes e ventos poderia contribuir para a localização do lixo e, portanto, para programas de despoluição, como consta em um dos objetivos específicos.

Já vimos que os derivadores foram idealizados para seguir correntes marinhas, coletando e transmitindo dados oceanográficos, podendo também trazer valiosa contribuição no rastreamento e localização do lixo flutuante em áreas

abrigadas como é o caso da Baía de Guanabara. Mais uma forma de utilização somando-se a tantas outras já mencionadas na primeira parte desse estudo.

Franz (2011) traz uma consistente definição do termo lixo flutuante, que adotamos no presente estudo:

Material sólido persistente que pode flutuar ou permanecer em suspensão na coluna d'água e que foi disposto ou descartado em ambientes aquáticos (espelho d'água, margens de corpos hídricos, estuários e orla costeira) por ser considerado, pelo seu gerador, indesejável e desprovido de valor econômico (FRANZ, 2001, p. 3).

O lixo marinho, segundo o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, corresponde a um material sólido persistente, manufaturado ou processado, que é descartado, disposto ou abandonado no ambiente marinho e costeiro (UNEP, 2005; UNEP, 2009 apud FRANZ, 2011). Assim, adotaremos estes conceitos de lixo flutuante e lixo marinho no presente estudo.

4.2 Estrutura do projeto

A seguir é detalhada a metodologia utilizada no Projeto Baía de Guanabara e demonstrado como o uso de derivadores pôde contribuir para os resultados. Além da vertente ambiental, o projeto também contou com uma vertente social, através da participação dos alunos do Projeto Grael, como será relatado posteriormente.

Em linhas gerais, a vertente ambiental do Projeto Baía de Guanabara foi estruturada em três componentes principais interdependentes, como mostra o esquema da Figura 16.

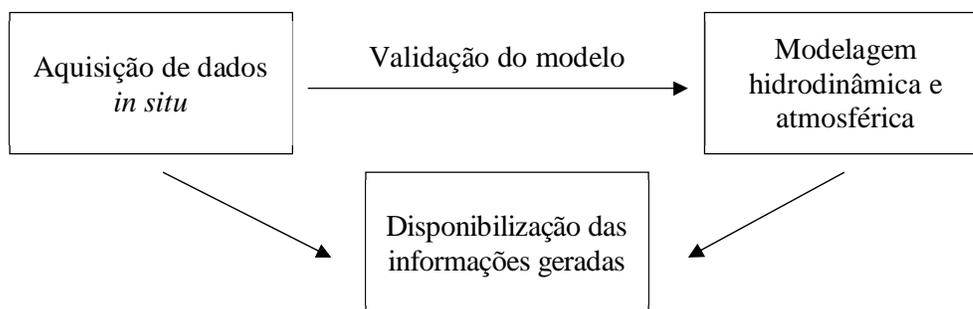


Figura 16 - Esquema com os três componentes principais do Projeto Baía de Guanabara.
Fonte: Adaptado de PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2012, p. 14.

O componente “Aquisição de dados *in situ*” foi realizado através do lançamento e recolhimento periódico dos derivadores iSPHERE para coleta de dados das correntes superficiais e da utilização do CTD, instrumento para medição de condutividade, temperatura e salinidade ao longo da coluna d’água, que permite estudar a estrutura termohalina (águas mais profundas) da Baía de Guanabara. A execução desse componente foi de responsabilidade da equipe do Projeto Grael.

Segundo o relatório do projeto (PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2012), o tratamento e processamento dos dados coletados e enviados via satélite pelos derivadores foi realizado pela Prooceano, utilizando técnicas de qualificação e análise de dados. Depois eram então organizados e armazenados em um banco de dados *on-line* e disponibilizados à sociedade e comunidade científica através da página na internet do projeto (www.projetobaiadeguanabara.com.br).

Os laboratórios LAMMA e LAMCE ficaram responsáveis pela realização da previsão das correntes e ventos da Baía a partir da utilização de modelos hidrodinâmico e atmosférico. Os resultados do modelo com a previsão das correntes também foram disponibilizados na página do projeto na internet.

4.2.1

Aquisição de dados *in situ*

Derivadores iSPHERE

Como já relatado anteriormente, o derivador iSPHERE foi desenvolvido com o intuito de monitorar a deriva de manchas de óleo na superfície do mar, possuindo um sensor de temperatura da água, bateria, GPS integrado e transmissor-receptor via satélite, através do sistema Iridium. Segue breve explicação sobre o rastreamento dos derivadores, conforme o relatório:

[...] eles são capazes de realizar estimativas de posição com uma precisão de 7 m em intervalos amostrais de 30 minutos, sendo assim, ferramentas ideais para regiões de grande variabilidade espaço-temporal, como é o caso da Baía de Guanabara. A partir de derivadas de sucessivas posições no tempo, é possível obter as correntes marinhas além de outros parâmetros importantes em estudos numéricos [...] (PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2012, p. 15).

Foi planejada uma campanha sistemática com lançamentos semanais dos derivadores em pontos pré-estabelecidos: um deles, na entrada da Baía (22°56’00’’S e 43°09’00’’O) e o outro no meio (22°48’30’’S e 43°07’30’’O), como mostrado na Figura 17.

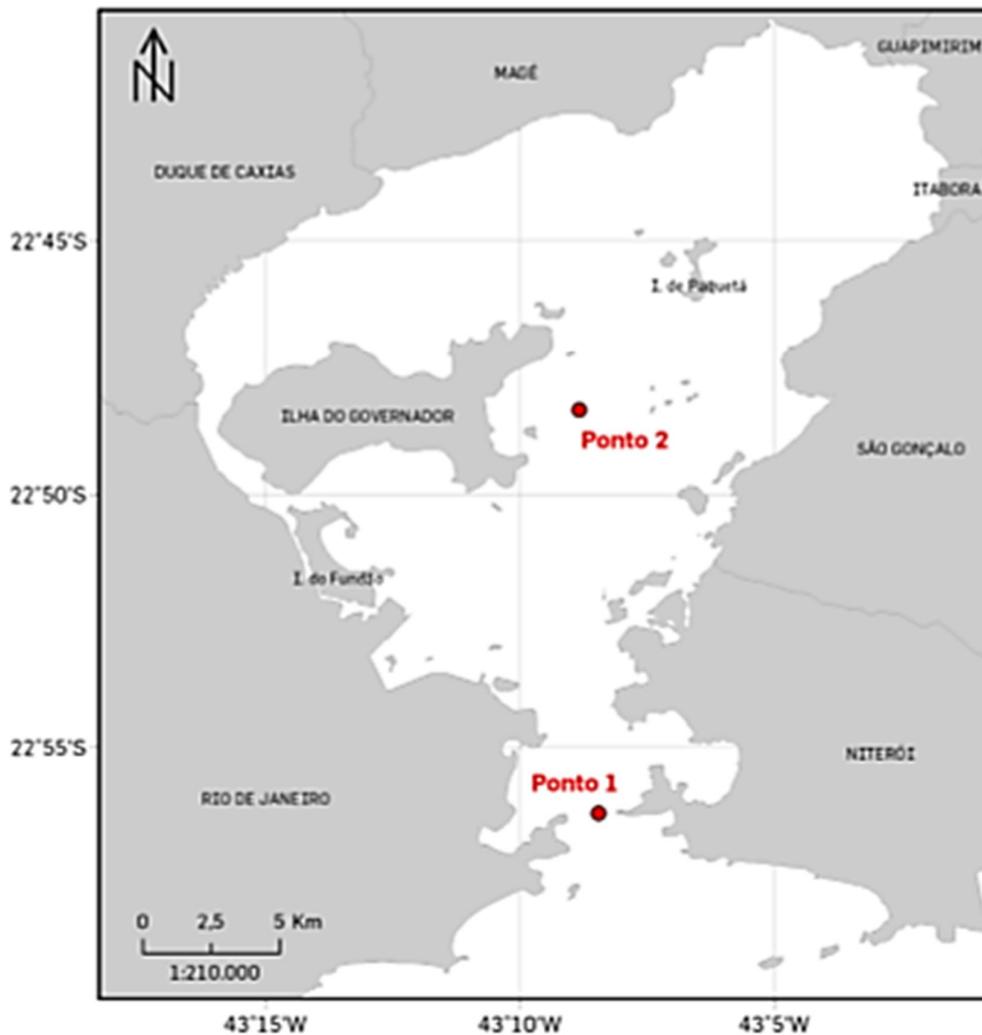


Figura 17 - Mapa da Baía de Guanabara com pontos de referência para o lançamento dos derivadores.

Fonte: MARIANO, 2014, p. 14.

O objetivo da escolha desses pontos levou em consideração a dinâmica da maré na região. Quando a maré era vazante, o lançamento ocorria no primeiro ponto, dentro da Baía, com a finalidade dos derivadores seguirem o fluxo em direção à saída da Baía. Já em momentos de maré enchente, os derivadores eram lançados no segundo ponto com o objetivo de acompanhar a corrente de maré Baía adentro (PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2012, p. 17).

A hidrodinâmica da Baía de Guanabara é fortemente influenciada pela maré, considerada uma forçante dominante que gera as correntes (MIRANDA, 2002 apud CARVALHO, 2011). Não por acaso, levou-se em consideração sua dinâmica para a escolha dos pontos dos lançamentos dos derivadores. Entende-se por maré a

oscilação periódica do nível do mar sob a influência de forças astronômicas, sendo resultado principalmente das forças da atração gravitacional da lua e do sol associadas à aceleração centrípeta, agindo diretamente sobre as grandes massas d'água das bacias oceânicas (FRANCO, 2009 apud CARVALHO, 2011).

No primeiro ano do projeto, a cada semana cinco derivadores eram lançados juntos na água, nos pontos mencionados na Figura 17, e acompanhados durante o período de 12 horas, o que corresponde a um ciclo de maré. Após esse período, os derivadores eram recolhidos. Os lançamentos eram feitos pela equipe do Projeto Grael a bordo da lancha Coral, doada especialmente para o Projeto Baía de Guanabara (Figuras 18 e 19).

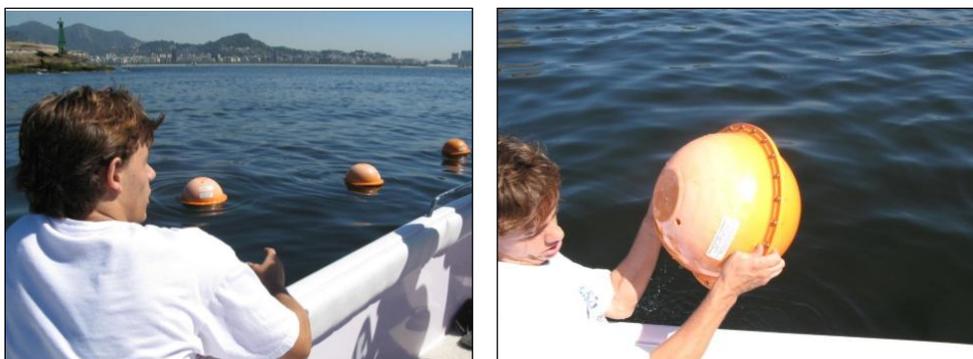


Figura 18 (à esquerda) - Derivadores lançados nos pontos pré-estabelecidos; Figura 19 - Derivador recolhido da Baía de Guanabara.

Fonte: PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2012, p. 18.

Após o primeiro ano, a estratégia de lançamentos dos derivadores foi alterada. Em vez de se lançar os cinco derivadores, decidiu-se por lançar apenas um, no ponto de referência central da Baía indicado na Figura 17. Esta alteração foi devido à observação de que, ao serem lançados, os derivadores não tendiam a se dispersar, mas a derivar em conjunto. Portanto, os dados colhidos, por cinco ou por apenas um derivador, não fariam diferença no resultado do projeto. O tempo de permanência do derivador na água para posterior recolhimento também foi alterado de 12 para 24 horas, tempo necessário para coletar dados da maré vazante e maré cheia (PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2013). No período de 2 anos e meio do projeto foram realizadas 85 campanhas de lançamento de derivadores (PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2012).

A vertente social do projeto está alinhada a um dos objetivos gerais já citados: “capacitar e formar pessoal para a coleta de dados em meio aquático”. As equipes que participaram desse projeto eram formadas por alunos selecionados do Projeto Grael, que foram treinados e capacitados para que pudessem coletar os dados, lançar e recolher os derivadores e fazer as devidas medições durante as rotas com a lancha Coral. Voltaremos a tratar da vertente social, mas nesse estudo daremos maior ênfase à vertente ambiental.

CTD

Ainda segundo o relatório (PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2012), o CTD é um instrumento que mede os parâmetros de condutividade, temperatura e pressão da água. A partir da condutividade pode ser calculada a salinidade e a partir das medidas de salinidade, temperatura e pressão, pode ser calculada a densidade da água do mar. Já a profundidade é calculada a partir da pressão. Estes parâmetros influenciam e definem a movimentação das massas d’água, determinando inclusive a posição na coluna d’água que estes corpos ocuparão (MIRANDA, 1991 apud PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2012).

A análise dos parâmetros medidos pelo CTD permitiu um maior entendimento da movimentação das massas d’água presentes na Baía de Guanabara e seus desdobramentos, como a Água Central do Atlântico Sul (ACAS) e os nutrientes que carrega consigo, influenciando a biota da região. Os dados do CTD complementaram os dados coletados pelos derivadores, ampliando o conhecimento da dinâmica ambiental da Baía de Guanabara.

Na mesma campanha semanal, quando eram lançados e recolhidos os derivadores, a equipe do Projeto Grael também fazia medições com um mini CTD CastAway/YSI, coletando dados ao longo da coluna d’água de nove regiões na Baía a bordo da lancha Coral, como mostra a Figura 20. Foram realizadas duas medições em cada campanha, com intervalo de cerca de 12h entre as medições. Ao todo, foram realizadas 42 campanhas de medição com CTD durante o projeto.

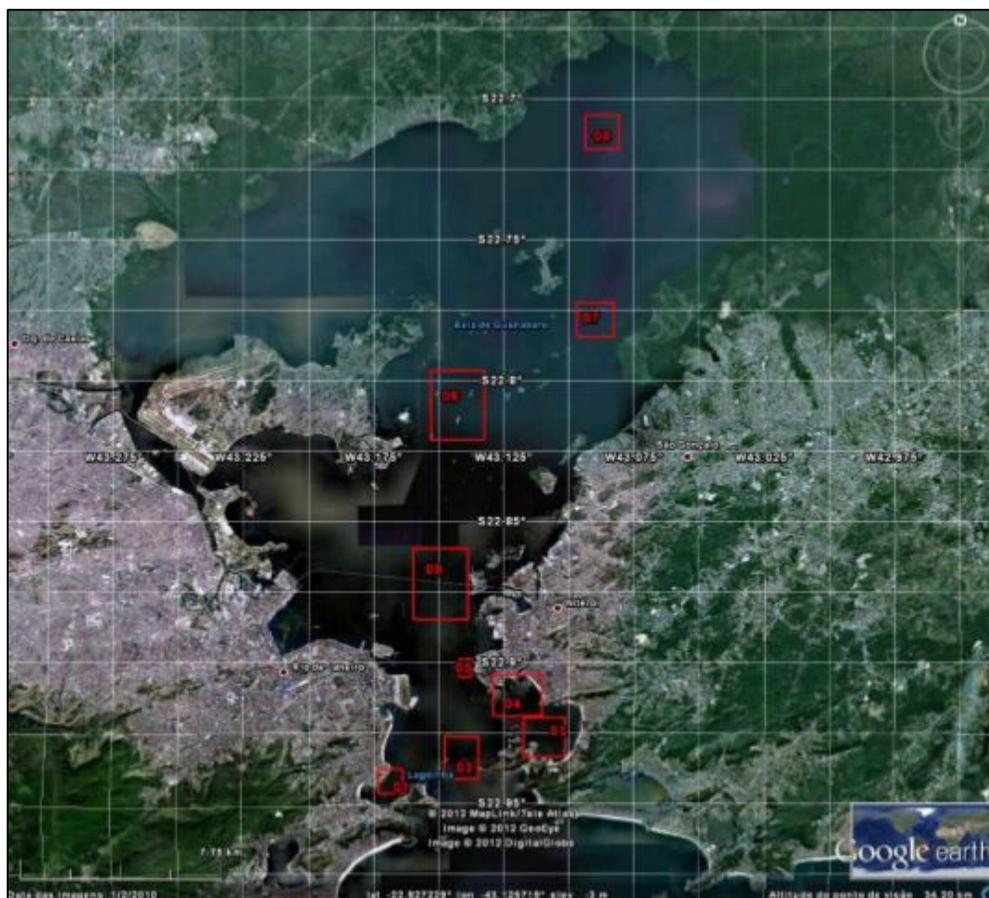


Figura 20 - Mapa da Baía de Guanabara com áreas de coleta de dados pelo CTD.
 Fonte: PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2012, p. 21.

4.2.2

Modelagem hidrodinâmica e atmosférica

Modelo hidrodinâmico

Um modelo numérico hidrodinâmico foi implementado para a região da Baía de Guanabara com o objetivo de desenvolver um modelo de previsão de correntes e elevação da superfície do mar da Baía com antecedência de até 72 horas.

Como descreve o relatório do projeto (PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2012, p. 22), até ter seus resultados prognósticos disponibilizados pela equipe do projeto, o modelo numérico hidrodinâmico foi comparado e avaliado com os dados hidrodinâmicos coletados pelos derivadores. Para implementação do modelo foram necessárias algumas etapas prévias, como a aquisição de dados batimétricos necessários para a construção da malha numérica do modelo.

Inicialmente pensou-se em utilizar diretamente cartas de navegação da Marinha do Brasil como fonte de informações para a confecção do modelo digital batimétrico. No entanto tais cartas não possuem a densidade espacial de informações batimétricas necessárias para que se pudesse construir um modelo numérico hidrodinâmico com alta resolução espacial. Dessa forma, a equipe executora do projeto iniciou uma pesquisa junto à Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil para a aquisição das folhas de bordo (material bruto utilizado para a confecção das cartas de navegação) que possui alta densidade de informações batimétricas (PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2012, p. 22).

De posse das folhas de bordo, teve início a tarefa de digitalização das mesmas para a posterior interpolação no espaço. Ao final dessa etapa, foi gerada uma malha numérica regular para a Baía de Guanabara com resolução espacial de 100 metros, como mostra o mapa digital batimétrico da Figura 21.

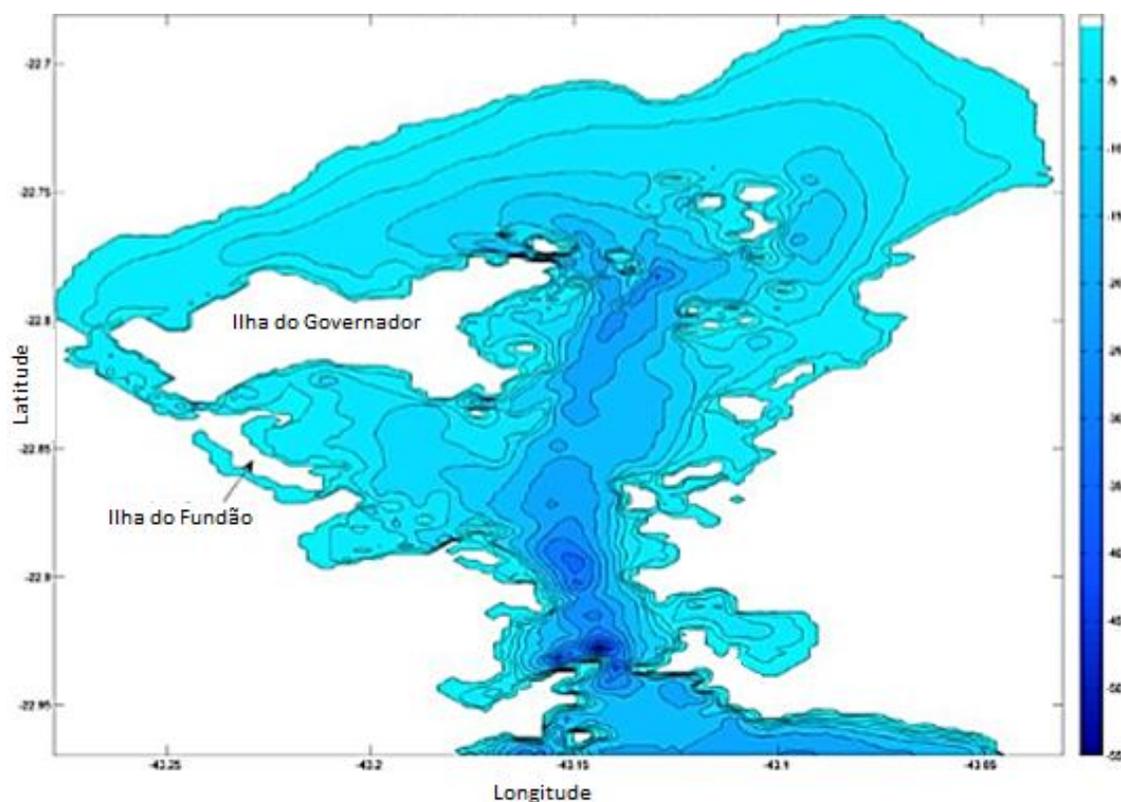


Figura 21 - Mapa digital batimétrico da Baía de Guanabara com 100 metros de resolução.
Fonte: PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2012, p. 24.

Foi escolhido o modelo de domínio público Princeton Ocean Model (POM), desenvolvido no Atmospheric and Oceanic Sciences Program da Universidade de Princeton e no Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) da NOAA, por ser bem conhecido e amplamente utilizado (BOCK,

2010; FRAGOSO, 1999; TAKANAKA, 2006; SILVA, 2005 apud PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2012).

Modelo atmosférico

O modelo atmosférico utilizado foi o Weather Research and Forecasting (WRF), desenvolvido pela National Center for Atmospheric Research (NCAR), que é um modelo de previsão numérica do tempo de mesoescala não hidrostático e desenvolvido para fins de pesquisa e operacionais, permitindo simulações tanto de casos reais quanto idealizados. Conforme o relatório do projeto (PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2012), foram criadas três grades com resoluções espaciais horizontais de 18 km, 6 km e 2 km (Figura 22).

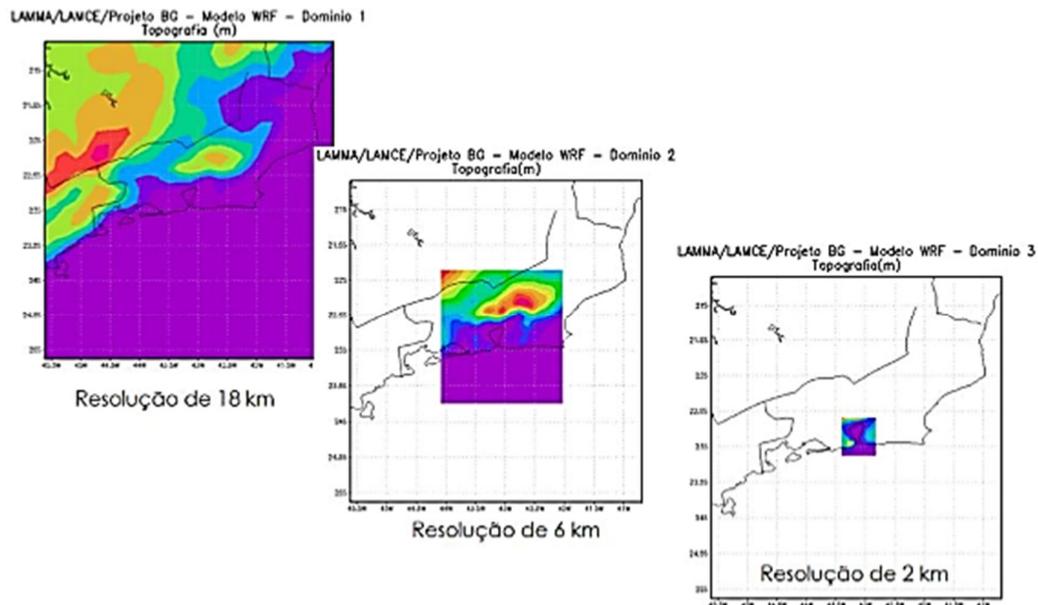


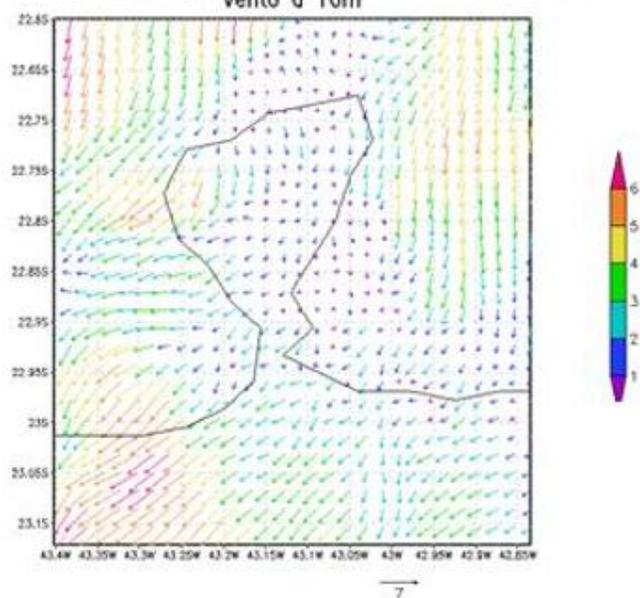
Figura 22 - Esquema com as três grades numéricas utilizadas pelo modelo atmosférico WRF.

Nota: Em cores está o campo topográfico considerado pelo modelo. A grade com resolução espacial de 2 km é a utilizada pelo projeto.

Fonte: PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2012, p. 30.

A Figura 23 mostra dois exemplos de previsão atmosférica do campo de vento a 10 m da superfície da Baía de Guanabara, gerado pelo WRF para a região, que mostra, por meio das setas, a direção, sentido e intensidade dos ventos.

LAMMA/LAMCE/Projeto BG – Modelo WRF – Dominio 3
Vento a 10m



LAMMA/LAMCE/Projeto BG – Modelo WRF – Dominio 3
Vento a 10m

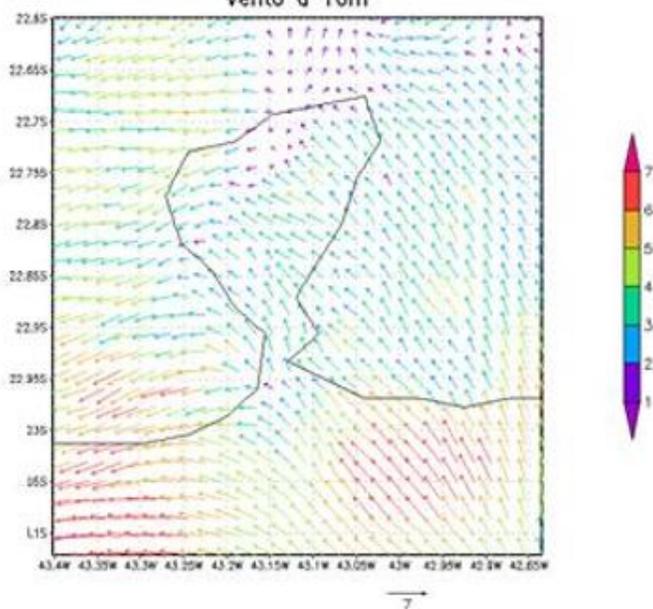


Figura 23 - Exemplos de previsões atmosféricas do campo de vento gerados pelo modelo WRF.
Fonte: PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2012, p. 31.

O estudo do modelo atmosférico foi de fundamental importância nesse projeto, devido à influência que os ventos exercem nas correntes superficiais e no carreamento do lixo superficial.

4.2.3

Disponibilização das informações geradas

Todas as informações geradas pelo projeto foram armazenadas em um banco de dados e disponibilizadas à comunidade através da página do projeto na internet (www.projetobaiadeguanabara.com.br), em conformidade com seus objetivos gerais. Além da apresentação do projeto, informações das instituições parceiras e da metodologia proposta, o *site* contém também:

- Mapas interativos para visualização da trajetória dos derivadores;
- Gráficos interativos de velocidade de correntes e temperatura da superfície do mar;
- Perfis de temperatura e salinidade gerados por região de estudo;
- *Links* para *download* dos dados gerados; e
- Área para exposição dos trabalhos desenvolvidos a partir dos dados do projeto.

A página ainda se encontra disponível, mas com o encerramento do projeto não está mais sendo alimentada com novas informações.

O projeto teve uma boa repercussão na mídia na época de sua execução, tendo sido divulgado em jornais e *sites*. Alguns exemplos são mostrados nas Figuras 24 e 25.



Figura 24 (à esquerda) - Divulgação do Projeto Baía de Guanabara no *site* O Globo, em 11/05/2010;

Figura 25 - Divulgação do Projeto Baía de Guanabara no *site* EcoDesenvolvimento, em 26/05/2010.

Fontes: O Globo (*site*)¹¹; EcoD (*site*)¹².

¹¹ Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/rio/correntes-maritimas-da-baia-de-guanabara-serao-estudadas-3009706>>.

¹² Disponível em: <<http://www.ecodesenvolvimento.org/noticias/projeto-ira-monitorar-as-aguas-da-baia-de?tag=agua>>.

O projeto também foi divulgado e debatido durante a Conferência Rio+20, ocorrida em junho de 2012, no espaço da COPPE no Parque dos Atletas e também na Cúpula dos Povos (Figura 26). No evento, o projeto foi considerado um exemplo de sucesso de uma iniciativa público-privada, ressaltado seu ineditismo e contribuição para a despoluição da Baía. O vídeo produzido para divulgação do Projeto Baía de Guanabara durante a Rio+20 pode ser visto no *link*: <www.youtube.com/watch?v=ZYht1fjhdmA>.



Figura 26 - Debate sobre o Projeto Baía de Guanabara na Cúpula dos Povos, na Rio+20, com Axel Grael, Júlio Pellegrini e Dora Negreiros.

Fonte: PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2012, p. 61.

4.3 Resultados

Aqui são apresentados os principais resultados e conclusões obtidos pela análise dos dados captados pelos derivadores e CTD. A ênfase maior será dada às informações oriundas dos derivadores, assim como àquelas coletadas pelo CTD, que contribuíram para o mapeamento das correntes. Os exemplos de previsão de correntes e de ventos, um dos objetivos do projeto, também são abordados.

4.3.1 Derivadores

Após a realização das campanhas, foram elaborados mapas representando a quantidade de dados gerados e a quantidade de derivadores em cada ponto (Figuras 27 e 28).

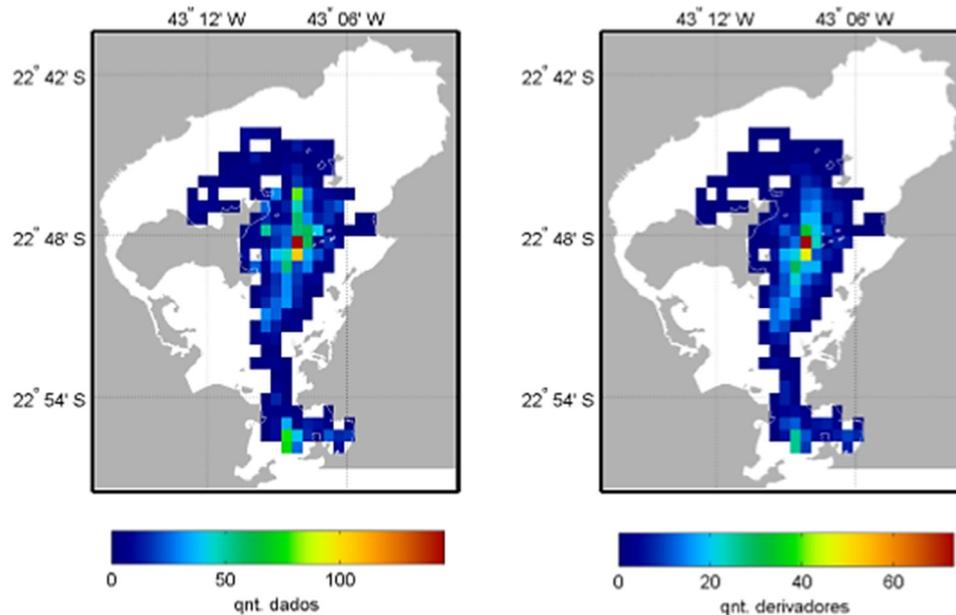


Figura 27 - Mapas de quantidade de dados gerados e de derivadores ao longo da Baía de Guanabara, entre junho de 2010 e junho de 2012.

Fonte: PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2012, p. 34.

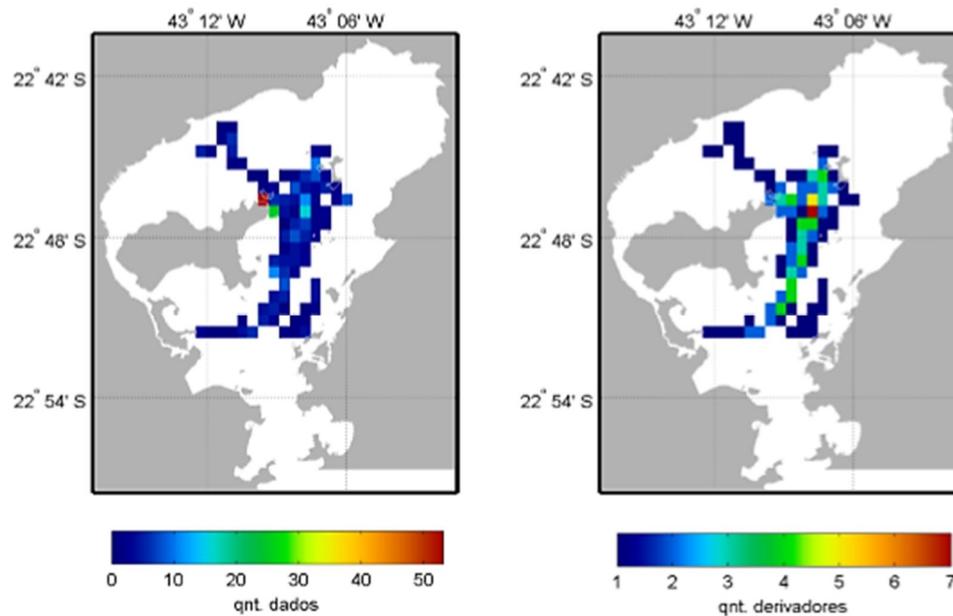


Figura 28 - Mapas de quantidade de dados gerados e quantidade de derivadores ao longo da Baía de Guanabara, entre agosto e dezembro de 2012.

Fonte: PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2013, pp. 36-37

Pode-se observar uma homogeneidade entre a distribuição da quantidade de dados e a distribuição de derivadores, o que indica que não houve geração de grande quantidade de dados associada a poucos derivadores parados em uma mesma posição.

Como já mencionado, apesar dos derivadores terem ficado expostos à dinâmica da Baía de Guanabara durante as campanhas de 12 horas no primeiro ano do projeto, as trajetórias indicam que não houve um espalhamento na trajetória dos mesmos. O deslocamento foi preferencial através do canal central (canal de navegação) da Baía, local de maior profundidade, sendo que alguns derivadores alcançaram o noroeste da Baía. Devido à proximidade do local de lançamento com as Ilhas do Governador e de Paquetá, alguns derivadores acabaram chegando às suas margens, gerando assim uma grande quantidade de dados na primeira, mesmo não sendo observada uma grande quantidade de derivadores no local. Os dados obtidos pelos derivadores registraram com sucesso tanto a maré vazante quanto a maré enchente (PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2013).

O mapa de velocidade superficial média pode ser visto na Figura 29.

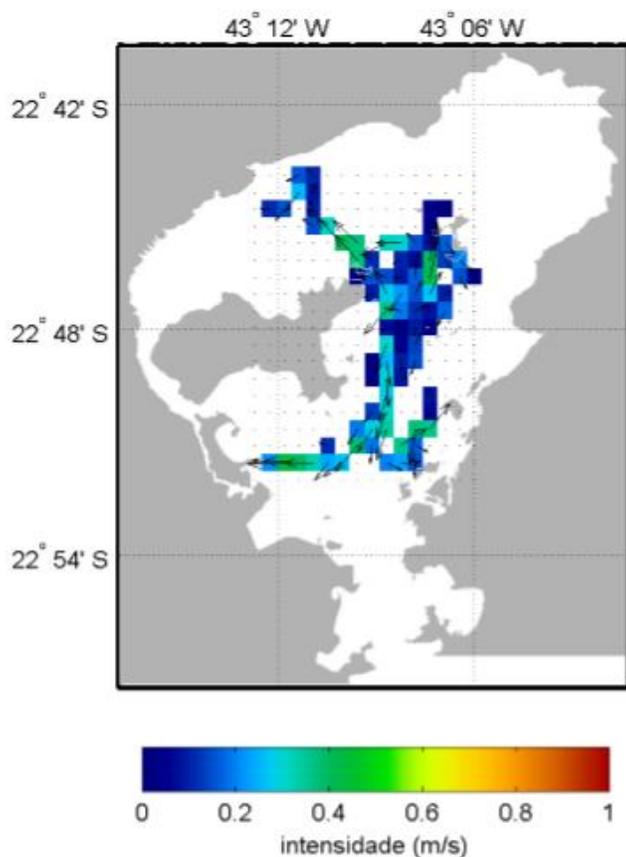


Figura 29 - Mapa com vetores de velocidade dos derivadores lançados durante o Projeto Baía de Guanabara.

Fonte: PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2013, p. 36.

As setas da Figura 29 indicam a direção e intensidade média das correntes na Baía de Guanabara. Um estudo mais aprofundado pode ser feito a partir daí, observando com que velocidade as correntes se deslocam, principalmente no canal principal. Locais cujas setas estão no sentido da margem da Baía e que dentro das quadrículas azuladas são aqueles que recebem correntes mais fracas, ou seja, com menos propensão a receber lixo flutuante. Já as áreas contidas nas quadrículas verdes recebem correntes de intensidade (velocidade) maior, ou seja, com maior energia, contribuindo para o maior carreamento do lixo. Cabe lembrar que a figura mostra a velocidade superficial média, e que, portanto, pode haver comportamentos diferentes.

Não houve perda de derivadores durante o projeto, mas sim casos de extravio com posterior devolução. Adesivos foram afixados nos derivadores, solicitando que os mesmos não fossem retirados da água por serem objetos de pesquisa. Havia neles um número de telefone para contato em caso de dúvidas ou sugestões. Também foram distribuídos *folders* para as demais embarcações e para a comunidade em geral, que se mostravam interessadas em conhecer um pouco mais sobre o projeto ou demonstravam curiosidade ao ver o lançamento e o recolhimento dos derivadores da água.

4.3.2

Previsão de correntes

As previsões hidrodinâmicas (de corrente e da elevação da superfície da água) eram disponibilizadas no *site* do projeto com antecedência de até 72 horas. As Figuras 30 e 31 mostram dois exemplos de previsão para um mesmo dia: uma com a maré enchente e outra com a maré vazante.

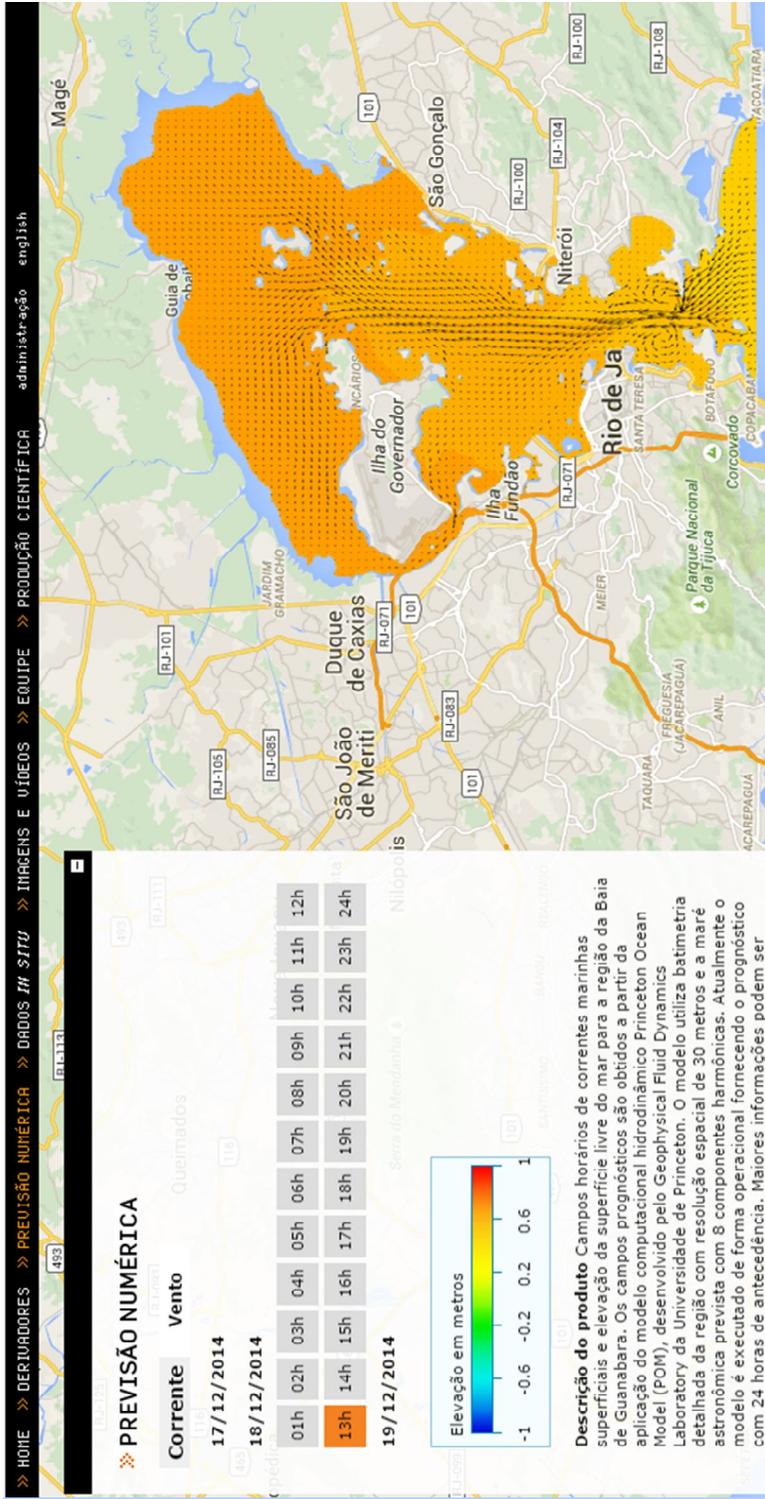


Figura 30 - Exemplo de previsão com os vetores de corrente apontando para dentro da Baía de Guanabara em que a elevação da superfície do mar é positiva: maré enchente. Fonte: Projeto Baía de Guanabara (site)¹³.

¹³ Disponível em: <<http://www.projeto baiadeguanabara.com.br/previsao.php>>.

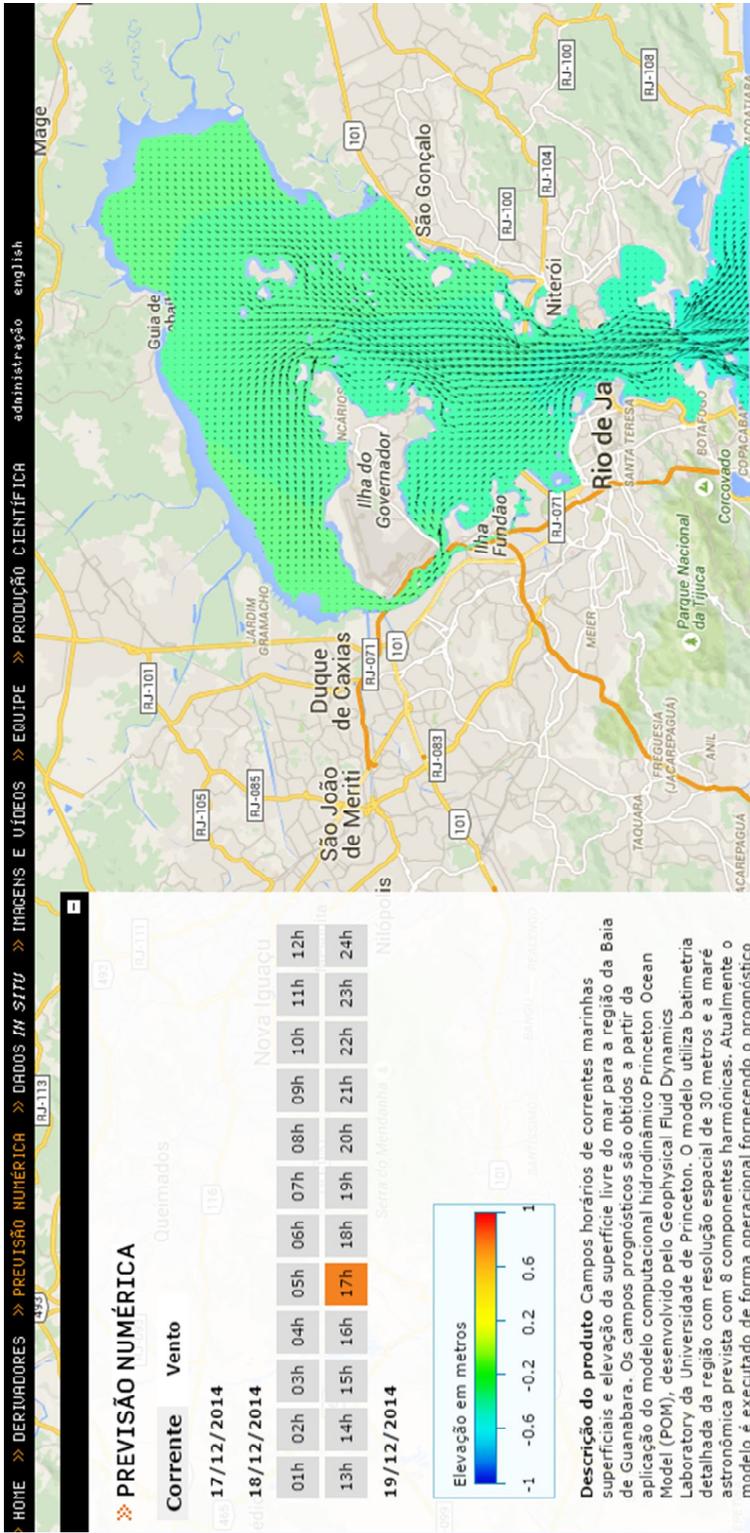


Figura 31 - Exemplo de previsão com os vetores de corrente apontando para fora da Baía de Guanabara em que a elevação da superfície do mar é negativa: maré vazante.
Fonte: Projeto Baía de Guanabara (site)¹⁴.

¹⁴ Disponível em: <<http://www.projeto baiadeguanabara.com.br/previsao.php>>.

Tanto na maré enchente quanto na vazante, os vetores de corrente indicam maiores intensidades na entrada da Baía. No canal central, onde são encontradas as maiores profundidades, é identificado um fluxo mais intenso em relação às áreas mais rasas (nas bordas da Baía). Durante a maré enchente, devido à entrada de águas na Baía, os valores de elevação da superfície do mar tendem a ser positivos, e o contrário ocorre durante a maré vazante (PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2012).

Baseado nos mapeamentos realizados pelo Projeto Baía de Guanabara, Palermo (2014) fez um recorte para a região das enseadas de Icaraí, Jurujuba e o canal principal da Baía de Guanabara, conforme mostra a Figura 32. Nota-se nas Figuras 33 a 36 que, nos momentos de maior intensidade da maré cheia, da maré baixa ou da mudança na direção das correntes, o modelo não apresenta interferência das correntes superficiais do canal central da Baía de Guanabara nas Enseadas de Jurujuba e Icaraí, ou seja, estes locais não sofrem influência do canal central, é como se estivessem isoladas. Essas conclusões influenciaram a Prefeitura de Niterói a elaborar o Programa de Despoluição da Enseada de Jurujuba, demonstrando a importância do projeto também para o planejamento de políticas públicas e tomada de decisões.

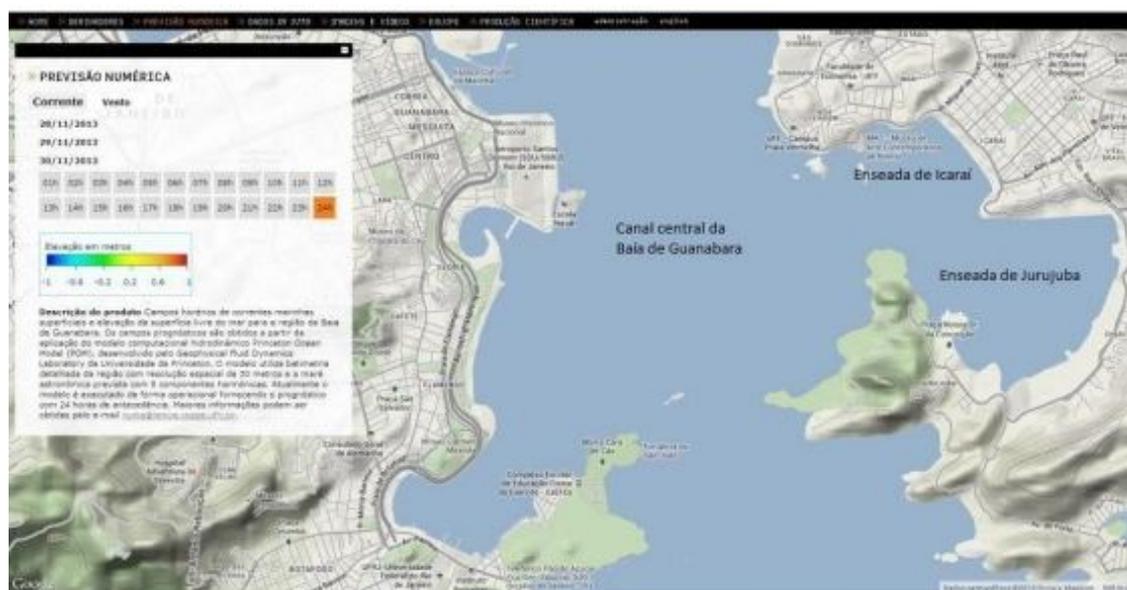


Figura 32 - Mapa da Baía de Guanabara com destaque para Enseada de Icaraí e Jurujuba, à direita, e para o canal central.

Fonte: Projeto Baía de Guanabara (site)¹⁵.

¹⁵ Disponível em: <<http://www.projetobaiadeguanabara.com.br/previsao.php>>.

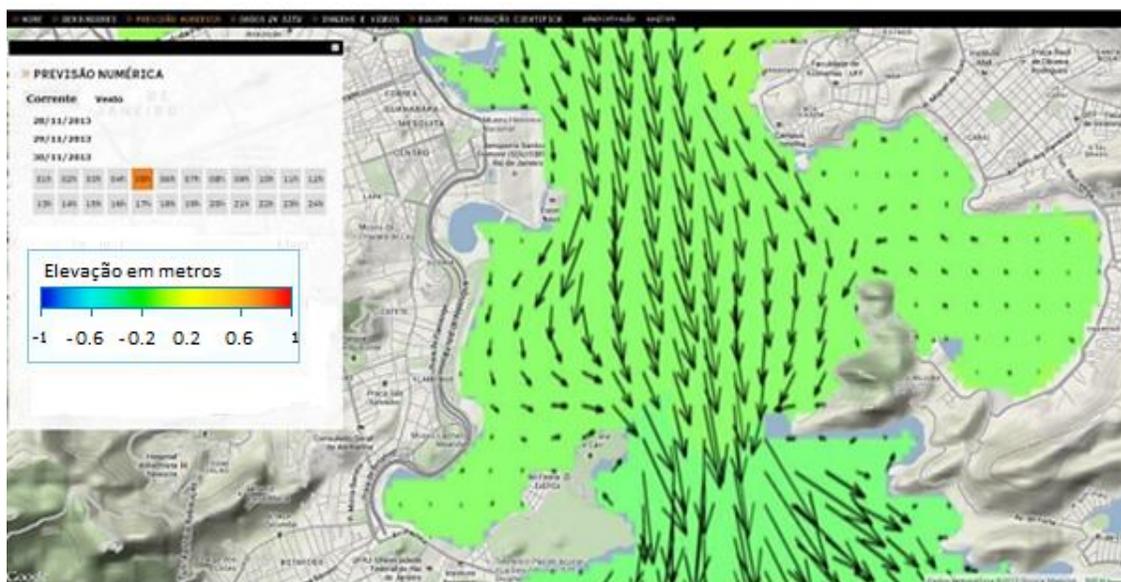


Figura 35 - Mapa da Baía de Guanabara com a previsão da corrente, durante o fluxo de maré vazante do dia 30/11/2013, às 5h.

Fonte: Projeto Baía de Guanabara (site)¹⁸.

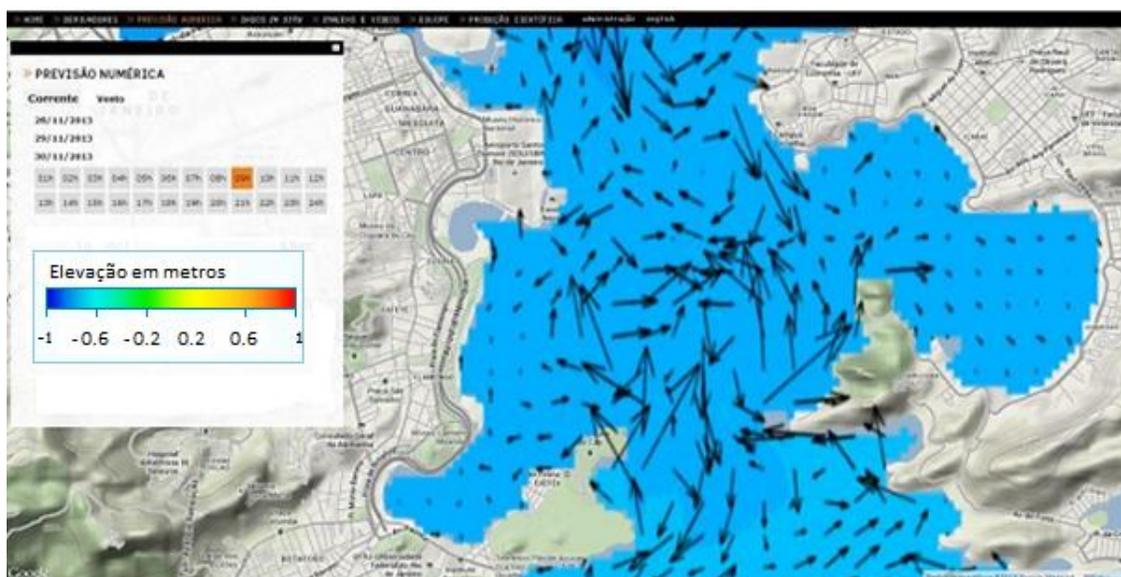


Figura 36 - Mapa da Baía de Guanabara com a previsão da corrente, durante o momento de mudança de direção (de vazante para enchente) das correntes de maré do dia 30/11/2013, às 9h.

Fonte: Projeto Baía de Guanabara (site)¹⁹.

O desenvolvimento da previsão numérica do regime hidrodinâmico vigente na Baía de Guanabara é de extrema importância para a navegação, monitoramento de efluentes e para emergências de derramamentos de óleo ou demais poluentes,

¹⁸ Adaptado de: <<http://www.projetobaiadeguanabara.com.br/previsao.php>>.

¹⁹ Adaptado de: <<http://www.projetobaiadeguanabara.com.br/previsao.php>>.

além de outras atividades lá realizadas, como aponta o relatório do projeto (PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2013). Havendo um derramamento de óleo em algum ponto da Baía, a previsão de correntes aponta a direção, sentido e velocidade em que as manchas se deslocam, para então serem tomadas as decisões de forma mais assertiva. A previsão numérica também pode contribuir para a localização do lixo flutuante, já que sua tendência de deslocamento segue o mesmo padrão dos derivadores. A concessionária Águas de Niterói, responsável pela distribuição de água e coleta e tratamento de esgoto do município, por exemplo, acessava frequentemente o *site* do projeto para localizá-lo.

Segundo Carvalho et al. (2011), o projeto se mostrou uma ótima oportunidade de se desenvolver e aprimorar uma metodologia de avaliação e calibração do modelo com a utilização de dados de derivadores em um ambiente costeiro dominado pela maré, visto que tanto a modelagem numérica quanto o lançamento dos derivadores podem ser planejados em conjunto, havendo flexibilidade para testar novas estratégias de lançamento e comparação.

4.3.3 Ventos

O efeito do vento sobre a hidrodinâmica da Baía de Guanabara neste projeto foi observado de forma mais significativa nas porções norte e nordeste da Baía, onde se encontram as menores profundidades e há aporte sedimentar direto de diversos rios. Segundo a análise de Carvalho (2011), a influência do vento foi observada tanto na alteração do campo de elevação da superfície da água quanto na alteração do campo de velocidade (direção e intensidade das correntes).

Em relação ao campo de elevação da superfície da água, a maior influência do vento foi nos momentos de vazante e enchente (maior energia cinética total), talvez devido à influência conjunta da corrente gerada pela maré e pelo vento.

Já em relação ao campo de corrente, houve domínio da influência do vento nos instantes de preamar e baixa-mar, na porção norte da Baía, o que pode ser explicado pelos baixíssimos valores de corrente (momentos próximos ao estófo) e pela pouca profundidade da região, sobretudo na porção norte-nordeste, como já mencionado.

Como reforça Carvalho (2011), os estudos oriundos do Projeto Baía de Guanabara indicam a importância da influência do vento na hidrodinâmica da Baía,

sendo um componente obrigatório em estudos que visem o gerenciamento ambiental da Baía de Guanabara.

4.3.4 CTD

Complementando os estudos oceanográficos gerados pelo projeto, os dados coletados pelo CTD possibilitaram que fosse feita uma caracterização mais detalhada da entrada da massa d'água Água Central do Atlântico Sul (ACAS) na Baía de Guanabara durante a primavera e o verão e uma influência no período de inverno. Estudos mostram que a ACAS que aflora na costa do Rio de Janeiro tem potencial para entrar na Baía de Guanabara. Porém, sua intrusão ainda é pouco conhecida. Além de evidenciarem a entrada clara da ACAS e sua influência para a Água de Mistura da Baía, os dados do Projeto Baía de Guanabara permitiram observar sua extensão ao longo da Baía, que pode chegar a 14 quilômetros de distância da entrada, e profundidade, de pelo menos 10,5 metros (PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2013).

O estudo da ACAS é importante porque sua alta concentração de nutrientes favorece o crescimento de microalgas. Esse cenário leva a um aumento da produtividade primária, com implicações também sobre os demais organismos do ecossistema por ela influenciado, o que pode levar a alterações de toda a teia trófica (LASS; MOHRHOLZ, 2008; MOSER; GIANESELLA-GALVÃO, 1997; PEREIRA; EBECKEN, 2009 apud PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2013). Isto inclui um aumento da quantidade de peixes e pode favorecer não só a pesca artesanal, atividade atualmente quase extinta, como também o aumento do número de organismos de topo da cadeia, como os botos.

4.4 Limitações X Objetivos cumpridos

É também fundamental fazer a análise crítica do projeto, identificando os pontos que não deram o retorno previsto ou que precisariam de ajustes caso o projeto seja replicado em outros ambientes marinhos. A seguir, apresentamos esses pontos com sua respectiva análise:

- O tipo de derivador utilizado neste projeto, iSPHERE, foi ideal para o uso na Baía de Guanabara, por ser mais influenciado pelas correntes superficiais e ventos, e pela facilidade de ser usado em locais de pouca profundidade. Já o uso do derivador tipo SVP, ideal para coletar informações ao longo da coluna d'água, seria inviável, por exemplo, em alguns pontos da Baía. Conclui-se, portanto, que o modelo dos derivadores deve ser escolhido de acordo do corpo d'água a ser analisado.
- Um banco de dados robusto é obtido através de uma considerável massa crítica de informações e, portanto, de dados coletados. Por isso, o tempo do projeto e, conseqüentemente, de coleta de dados é de grande importância para a qualidade dos resultados obtidos. Como dissemos no início deste capítulo, o Projeto Baía de Guanabara teve uma duração de 4 anos e 2 meses, dentre os quais 2 anos e 6 meses foram reservados à coleta de dados sistemática, motivo pelo qual limitamos os resultados do presente estudo a este período. Se a coleta de dados tivesse sido realizada de forma sistemática durante toda a duração do projeto ou mesmo em um período mais extenso, ele contaria com um banco de dados ainda maior e mais robusto.
- A modelagem e previsões desenvolvidas no projeto não levaram em conta eventos climatológicos raros e extremos, como a incidência de ressacas de grande magnitude na Baía de Guanabara.
- O projeto foi idealizado com uma duração de 2 anos e 6 meses. Após esse período, pelos resultados positivos alcançados, a empresa patrocinadora BG Brasil e os parceiros decidiram por sua prorrogação. Porém, no tempo subsequente ocorreram mudanças nas prioridades de investimento em projetos de pesquisa da empresa, impactando na coleta sistemática de dados.
- A vertente social do projeto não alcançou o número de alunos desejado ou esperado. Menos de 10 alunos do Projeto Grael participaram da execução do projeto, realizando a coleta de dados na Baía. De forma a obter um maior envolvimento de alunos, foi criado o *workshop* de fotografia, que contou com um instrutor profissional de fotografia marinha. A empresa patrocinadora doou computadores, programas de edição de imagens e câmeras fotográficas para o Projeto Grael, proporcionando a seus alunos a

oportunidade de aprender técnicas básicas de fotografia. Ao final do *workshop*, a empresa realizou uma exposição em suas instalações com as fotografias tiradas pelos alunos do Projeto Grael, cujo tema foi a Baía de Guanabara.

Apesar de suas limitações, o Projeto Baía de Guanabara gerou valiosas informações sobre a circulação das águas superficiais na Baía e suas características termohalinas. Elas foram fundamentais para a tomada de ações de prevenção e combate às emergências, como vazamentos de óleo ou naufrágios, e também ao combate à poluição e auxílio nos trabalhos de coleta de lixo flutuante.

De acordo com o que já foi exposto, podemos atestar o cumprimento dos objetivos do Projeto Baía de Guanabara.

Apesar do término do projeto, os dados oceanográficos postados no *site* oficial e na página no Facebook (<https://www.facebook.com/projetobg?fref=ts>) são acessados até hoje tanto por instituições de pesquisa e comunidade acadêmica quanto por estudantes e pesquisadores brasileiros e estrangeiros. Outros interessados que acessam as páginas são atletas em busca do mapeamento de correntes da Baía, tendo em vista as provas de vela que ocorrerão nas Olimpíadas 2016. Instituições como a Capitania dos Portos do Departamento de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil e a concessionária Águas de Niterói também são alguns dos usuários que se beneficiaram dos dados divulgados.

A vasta produção científica gerada a partir dos dados coletados pelo projeto demonstra ainda a carência de informações sobre um local de extrema importância. No *site* do projeto é possível acessar parte desse material. Futuros estudos e pesquisas podem e devem ser implantados a partir dos dados, como os de modelagem com o objetivo de verificar áreas preferenciais de acúmulo de partículas e tempo de residência na Baía, além da comparação dos resultados obtidos pelo CTD com análises de: biodisponibilidade de nutrientes, distribuição de fitoplâncton e possíveis mudanças sazonais nas dietas de botos da Baía de Guanabara em função da influência da ACAS. Perfis de velocidade do som na água, parâmetro que influencia diretamente a ecolocalização de botos na Baía, também podem ser feitos com ajuda dos dados gerados (PROJETO BAÍA DE GUANABARA, 2013).

Um ponto do projeto que vale ressaltar é que, além de ter sido considerado exemplo de sucesso de uma iniciativa público-privada pela Conferência Rio+20, foi também considerado um projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) segundo os critérios da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), pois contribuiu com dados, equipamentos, inovação tecnológica e resultados para instituições acadêmicas e governamentais, indústrias e sociedade em geral.

4.5

Plano de Gestão do Serviço de Supervisão dos Ecobarcos: desdobramento do Projeto Baía de Guanabara

Um notável desdobramento do Projeto Baía de Guanabara, além do já exposto anteriormente, é o atual Plano de Gestão do Serviço de Supervisão dos Ecobarcos, que a empresa Prooceano está gerenciando junto à Secretaria Estadual do Ambiente (SEA). Seu objetivo é monitorar os 10 ecobarcos que atualmente recolhem o lixo flutuante na Baía de Guanabara, uma das ações do Programa Guanabara Limpa. Por meio de previsões de correntes e ventos, é possível direcionar os ecobarcos, em tempo real, para as localidades que apresentam acúmulo de lixo flutuante. Mais um exemplo do quanto é importante ter o conhecimento oceanográfico prévio da região, de forma a melhorar a eficiência na utilização dos recursos em um plano de gestão.

Segundo Fragoso²⁰, a concepção e a metodologia utilizadas no Projeto Baía de Guanabara foram replicadas no Plano de Gestão, e os conhecimentos gerados e lições aprendidas durante o projeto foram fundamentais para que um novo fosse implementado de forma rápida e eficiente. O Plano de Gestão não utiliza derivadores, mas a opção de uso não é descartada futuramente.

A estrutura do *site* do Plano de Gestão do Serviço de Supervisão dos Ecobarcos é similar ao do Projeto Baía de Guanabara, tendo um mapa interativo de toda a Baía, onde se pode observar a localização em tempo real de cada ecobarco, suas trajetórias e áreas de atuação. As bases operacionais, onde os ecobarcos ficam ancorados e descarregam o lixo coletado, são representadas pelas âncoras e estão localizadas na Ilha do Governador, Marina da Glória, Ilha do Mocanguê, Gragoatá, Arsenal da Marinha (Ilha das Cobras) e Jurujuba, como pode ser visto na Figura 37.

²⁰ FRAGOSO, M. R. (diretor geral - Prooceano). Comunicação pessoal, 2015.

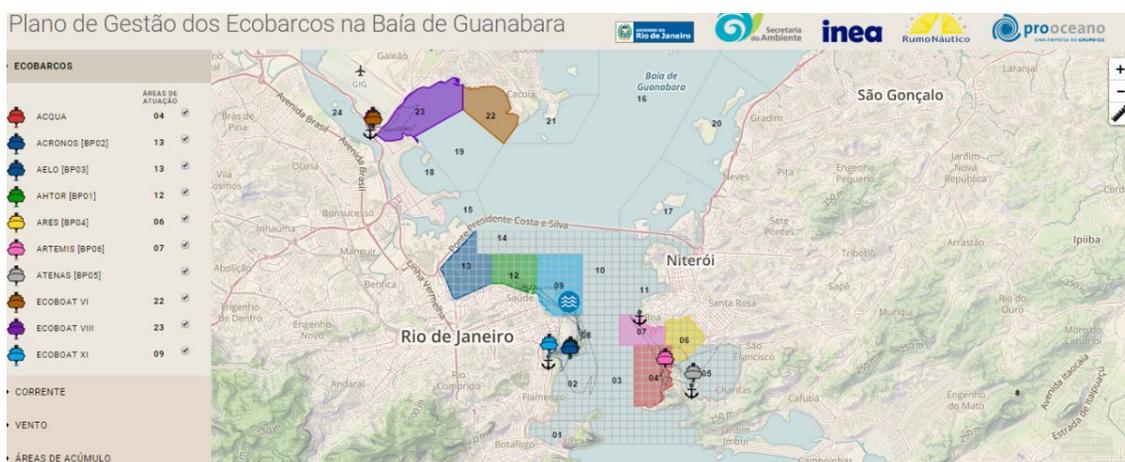


Figura 37 – Mapa da Baía de Guanabara com a localização dos ecobarcos, trajetórias e áreas de atuação no dia 15/10/2015.

Fonte: Prooceano (site)²¹.

As quadrículas e regiões coloridas visíveis nas figuras acima foram criadas para o melhor gerenciamento do segundo evento-teste de vela para os Jogos Rio 2016, ocorrido entre os dias 15 a 22 de agosto de 2015. As quadrículas facilitam o endereçamento para onde os ecobarcos precisam ir guiados pela equipe da Prooceano, sendo as quadrículas nomeadas primeiramente com uma letra e em seguida um número (ex: H12). Os círculos, visíveis na Figura 40, representam as raia de competição: uma logo abaixo da Ponte Rio-Niterói, outra perto da Escola Naval e a terceira próximo à Marina da Glória.

O objetivo do Plano de Gestão do Serviço de Supervisão dos Ecobarcos durante o evento-teste, que teve o envolvimento da Secretaria do Ambiente, da Secretaria da Casa Civil, do Prooceano, do INEA e do Comitê Organizador Rio 2016, foi evitar que o lixo flutuante se aproximasse ou adentrasse as raia de competição. Assim, várias medidas foram tomadas baseadas nas previsões geradas pelo plano.

No site do Plano de Gestão também é possível visualizar o mapeamento de correntes e ventos a cada hora, com previsões de 24h para as correntes (Figura 38) e 48h para os ventos (Figura 39), realizados por meio da modelagem numérica hidrodinâmica chamada Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental, mais conhecida como SisBAHIA®, desenvolvida pela COPPE/UFRJ.

²¹ Disponível em: <<http://www.prooceano.com.br/ecobarcos>>.

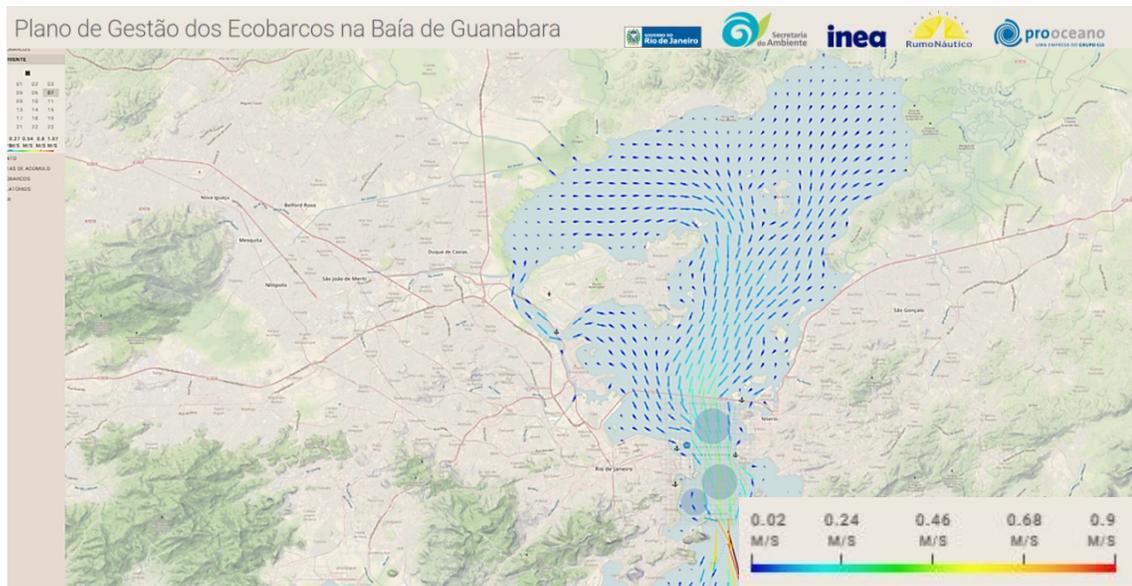


Figura 38 - Mapeamento de correntes da Baía de Guanabara para as 7h do dia 01/09/2015.
Fonte: Proceano (site)²².

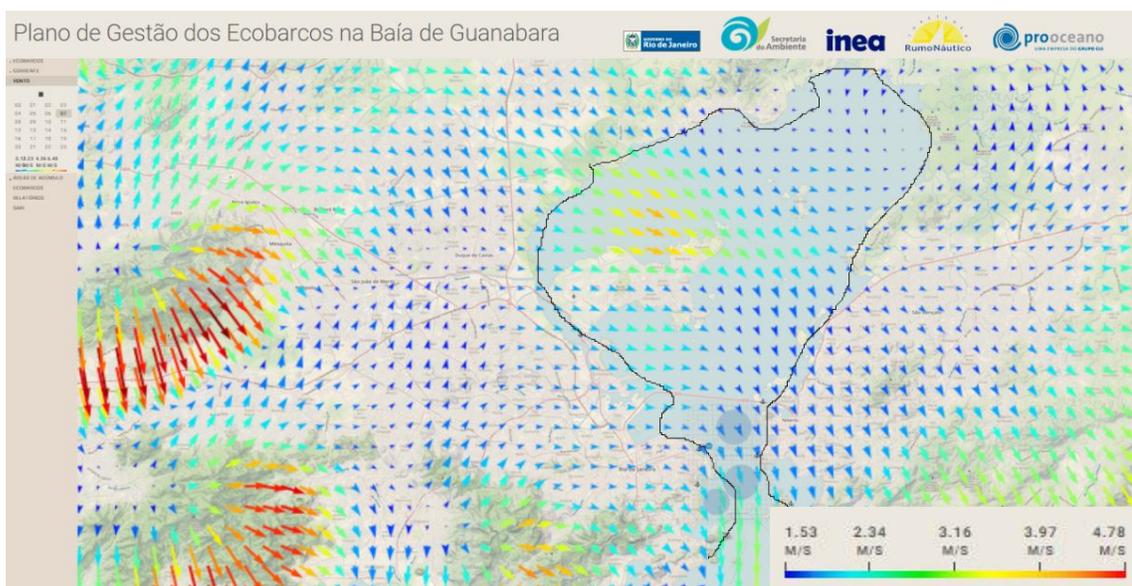


Figura 39 - Mapeamento de ventos da Baía de Guanabara para as 7h do dia 01/09/2015.
Fonte: Proceano (site)²³.

Nota: A borda da Baía foi ressaltada com a linha preta para melhor visualização.

Os resultados dos modelos hidrodinâmico e atmosférico são utilizados como forçantes para realizar simulações virtuais de lançamentos de partículas a fim de se estudar as áreas de acúmulo de lixo flutuante na Baía. Dentro do modelo numérico

²² Disponível em: <<http://www.proceano.com.br/ecobarcos/>>

²³ Disponível em: <<http://www.proceano.com.br/ecobarcos/>>

e baseado no cenário oceanográfico real (correntes e ventos), as partículas são lançadas e derivam, acumulando ou se dispersando. Dessas simulações resultam então quatro mapas diários apontando a probabilidade do acúmulo de lixo nas diversas regiões da Baía, nos horários das 7h, 10h, 13h e 16h, conforme mostram as Figuras 40 a 43. As regiões marcadas em azul escuro representam pouca probabilidade de haver lixo flutuante na região, ao passo que as regiões em vermelho apontam alta probabilidade.

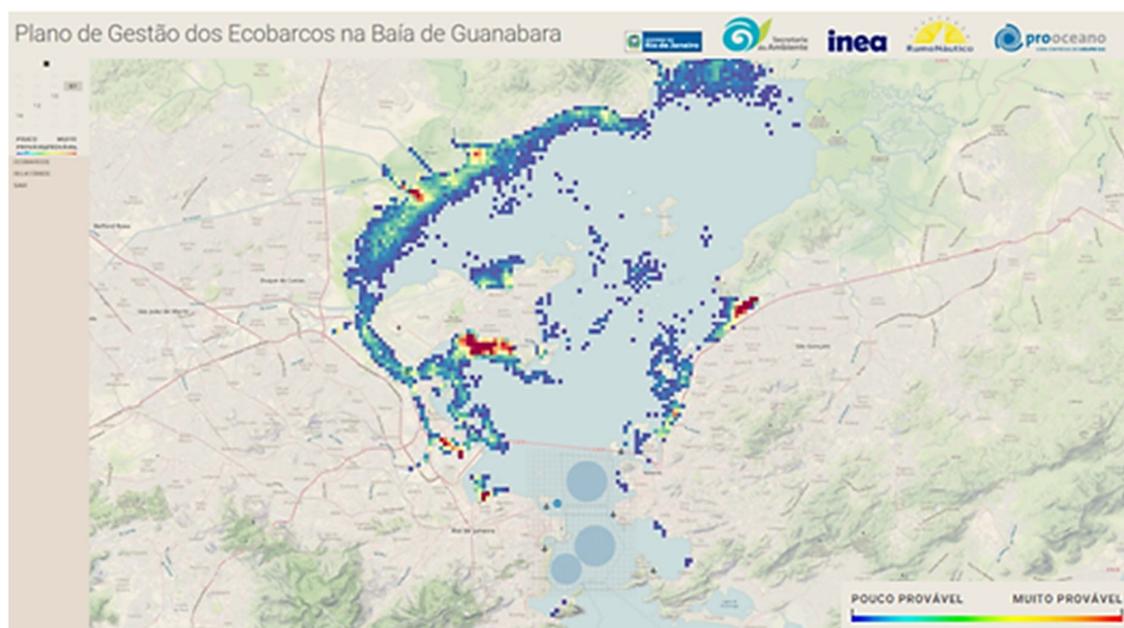


Figura 40 - Modelagem da probabilidade do acúmulo do lixo flutuante na Baía de Guanabara às 7h do dia 01/09/2015.

Fonte: Prooceano (site)²⁴.

²⁴ Disponível em: <<http://www.prooceano.com.br/ecobarcos/>>

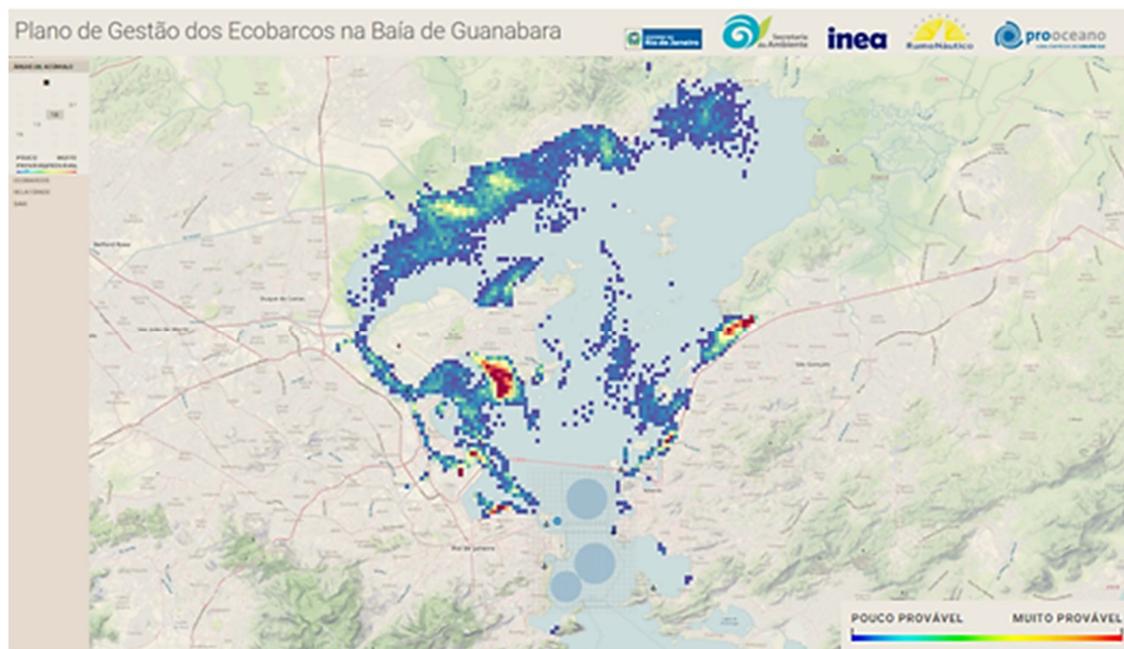


Figura 41 - Modelagem da probabilidade do acúmulo do lixo flutuante na Baía de Guanabara às 10h do dia 01/09/2015.

Fonte: Prooceano (site)²⁵.

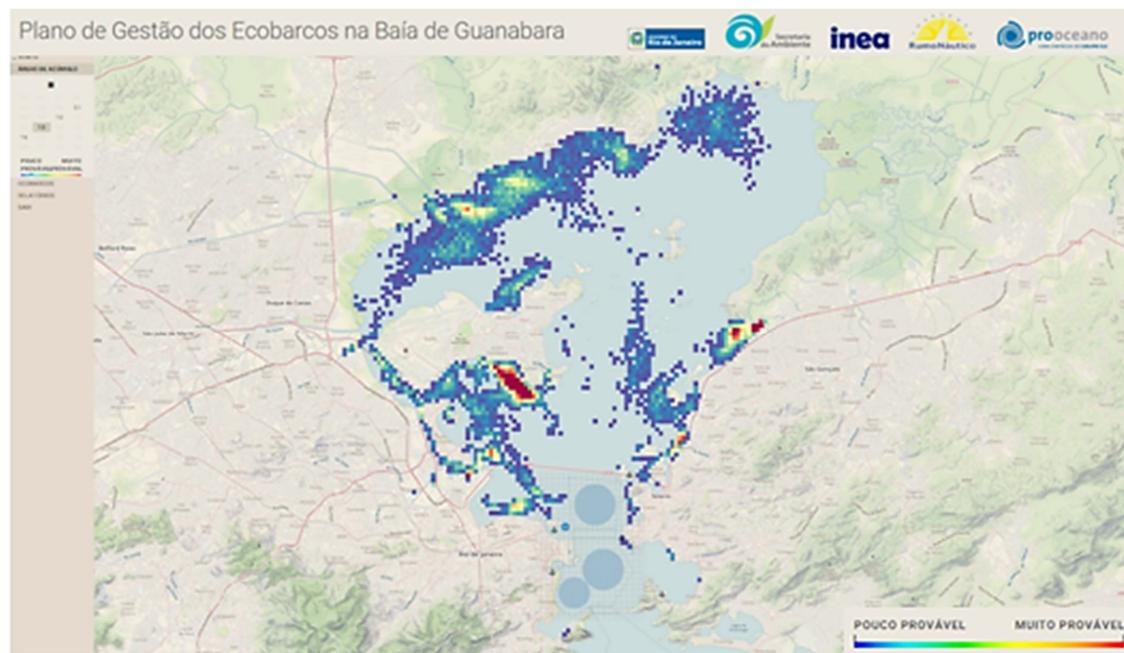


Figura 42 - Modelagem da probabilidade do acúmulo do lixo flutuante na Baía de Guanabara às 13h do dia 01/09/2015.

Fonte: Prooceano (site)²⁶.

²⁵ Disponível em: <<http://www.prooceano.com.br/ecobarcos/>>

²⁶ Disponível em: <<http://www.prooceano.com.br/ecobarcos/>>

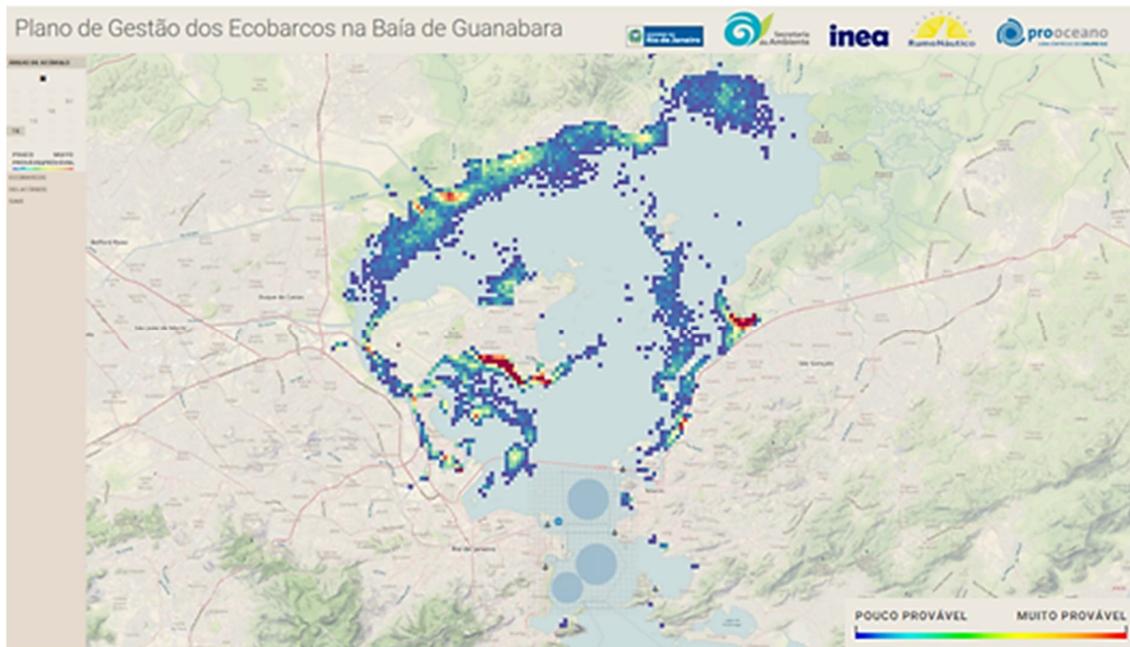


Figura 43 - Modelagem da probabilidade do acúmulo do lixo flutuante na Baía de Guanabara às 16h do dia 01/09/2015.

Fonte: Prooceano (site)²⁷.

Fazendo uma breve análise da Figura 40, notamos que as áreas que apresentaram maior probabilidade de acúmulo de lixo, representados pelas quadrículas vermelhas, estavam ao sul de Itaoca (São Gonçalo), ao sul do Jardim Guanabara (Ilha do Governador), Santo Cristo e Caju. Correlacionando estas áreas ao mapeamento de correntes na Figura 38 e de ventos na Figura 39, vemos uma baixa energia de movimentação de correntes e ventos, representada pelas setas azuis curtas em ambas as modelagens, contribuindo então para o acúmulo de lixo nas regiões citadas. A velocidade do vento, inclusive, não passou, em nenhuma das regiões, de 3 m/s.

O preenchimento de formulários eletrônicos e relatórios diários faz parte da rotina do Plano de Gestão, que também tem como objetivo a formação de um consistente banco de dados sobre o lixo na Baía de Guanabara. São levantadas informações como a quantidade, o peso e a tipologia (reciclável ou não) do lixo coletado por ecobarco/dia e por base operacional/dia. Além disso, também são feitas fotografias das atividades, como pode ser visto na Figura 44.

²⁷ Disponível em: <<http://www.prooceano.com.br/ecobarcos/>>

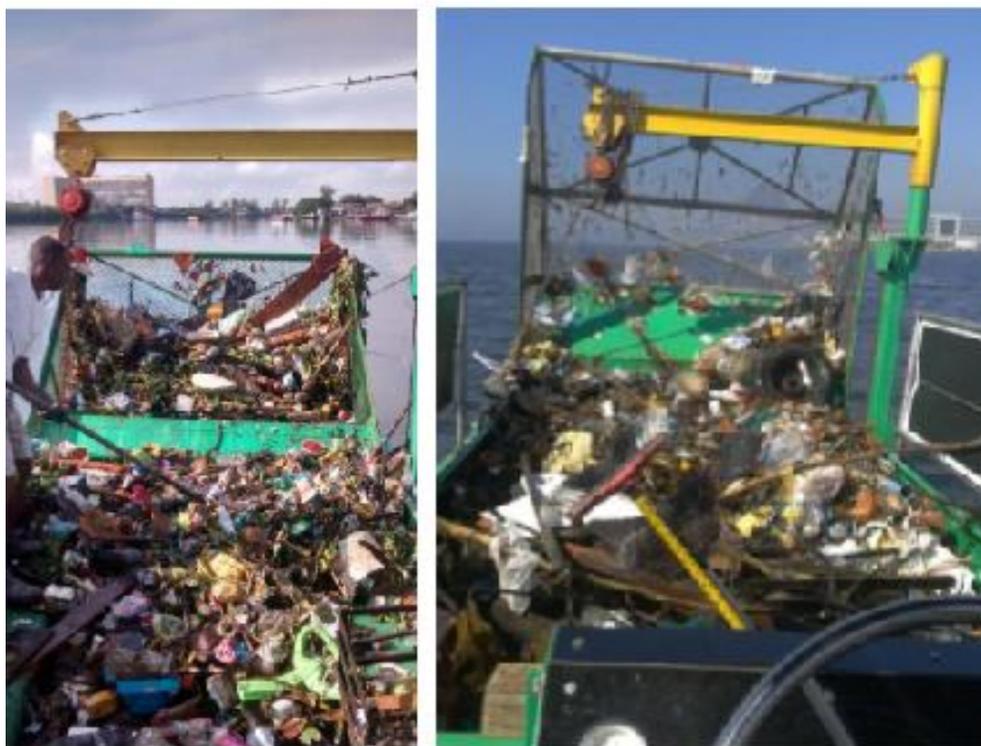


Figura 44 - Lixo retirado da Baía de Guanabara pelos ecobarcos.
Fonte: RELATÓRIO GUANABARA VIVA, 2015, p. 76.

Como já mencionado, é a partir das simulações e previsões com dados oceanográficos que a equipe da Prooceano é capaz de orientar previamente as equipes dos ecobarcos para as operações do dia seguinte. Orientações sobre as áreas de acúmulo de lixo, distribuição, endereçamento e trajetória dos ecobarcos, previsão da maré, previsão de chuva e intensidade do vento são alguns exemplos. Tais informações também são utilizadas para fins de segurança operacional: alertas são dados a partir das previsões geradas pelo Plano de Gestão. Se a previsão de ventos, por exemplo, indicar que no dia seguinte a intensidade do vento irá exceder 10 nós, o planejamento das atividades terá de levar em consideração a suspensão das ações de recolhimento de lixo naquele intervalo de tempo. As simulações também incluem o mapeamento do lixo carreado pelos canais e rios que desembocam na Baía, fontes essas que contribuem enormemente para o transporte do lixo.

Desta forma, de acordo com Fragoso²⁸, as modelagens, simulações e previsões geradas proporcionam uma gestão mais inteligente e proativa do Plano de Gestão, possibilitando realizar uma coordenação de ações e tomada de decisões de forma mais assertiva, como no planejamento das trajetórias que cada ecobarco deverá percorrer para fazer o recolhimento do lixo estimado. Os simulados têm demonstrado um elevado índice de acertos.

Outra questão não menos relevante com a qual o Plano Gestor do Serviço de Supervisão dos Ecobarcos precisa lidar, na prática, é o lixo residente presente na Baía de Guanabara. Considerando um cenário ideal, onde não houvesse mais lançamentos de resíduos sólidos ou de esgoto não tratado nos rios e canais da bacia hidrográfica da Baía, ou mesmo se tais resíduos fossem totalmente capturados pelas ecobarreiras e também não houvesse descarte direto de resíduos nas praias, margens ou espelho d'água, ainda assim o volume de lixo residente presente na Baía seria altíssimo. Considera-se ainda o lixo submerso encontrado em seu leito, que dificilmente pode ser mensurado. Ou seja, mesmo se novos aportes de lixo não precisassem mais ser considerados, mesmo assim haveria um “passivo” de lixo muito volumoso. Passivo esse que é transportado dentro da Baía seguindo o mesmo padrão de marés e ventos já abordados nesse estudo e tendendo a se acumular, principalmente na maré baixa, perto das ilhas, praias e até mesmo ao redor dos pilares da Ponte Rio-Niterói. Levando isso em conta, o Plano de Gestão, por meio da Prooceano, desenvolve técnicas para mapear a localização desse lixo e prever quais áreas têm tendência a concentração e dispersão, para incluir em suas previsões e simulações, complementando assim o trabalho que está sendo realizado.

É interessante notar a evolução das demandas, objetivos e produtos ofertados entre os dois projetos aqui mencionados, o Projeto Baía de Guanabara e o Plano Gestor do Serviço de Supervisão dos Ecobarcos. Além de subsidiar os conhecimentos hidrodinâmicos, o Projeto Baía de Guanabara cumpriu com seus objetivos gerais e específicos e, de certa forma, viabilizou de forma rápida e estruturada a implantação do Plano de Gestão. Assim, cumpriu também com o objetivo específico de “contribuir para programas de limpeza e despoluição da Baía de Guanabara”.

²⁸ FRAGOSO, M. R. (diretor geral - Prooceano). Comunicação pessoal, 2015.

Deve-se ressaltar que esse plano é apenas uma das ações do Programa Guanabara Limpa e que a despoluição da Baía de Guanabara demanda um compêndio muito maior de iniciativas de curto, médio e longo prazos, que incluem educação ambiental, saneamento, investimentos efetivos em todas as escalas, ações de prevenção e combate à poluição, fomento ao desenvolvimento de novos estudos e, em resumo, envolvimento da sociedade: para cobrar resultados mas também para participar de forma proativa, para que as próximas gerações possam ter um acesso digno às águas da Baía de Guanabara.

5 Diagnóstico do saneamento e do lixo flutuante na Baía de Guanabara

5.1 A Baía de Guanabara e a degradação ambiental

Para se obter um entendimento mais amplo da questão da poluição na bacia hidrográfica da Baía de Guanabara, é preciso correlacionar vários elementos, não só o ambiental, mas também o cultural e o histórico: o cenário atual, portanto, é fruto da inter-relação entre todos eles. Esse capítulo apresenta um diagnóstico da Baía, por meio de um breve histórico do saneamento de sua bacia hidrográfica, correlacionando a população que ali reside aos prejuízos causados pela falta de uma infraestrutura adequada.

Desde o início do século XX, a Baía de Guanabara e sua bacia hidrográfica têm sofrido profundas e intensas transformações, oriundas principalmente da expansão urbana, da implantação do segundo maior parque industrial do país em seu entorno, das atividades navais e portuárias e, ainda, como reforça Graef (2015), da grande demanda de serviços que o setor de óleo e gás exige. Desde então, observa-se um grande descompasso entre as transformações decorrentes da ocupação da Baía e seu entorno, e as iniciativas de preservação e proteção ambiental, observando-se inegável degradação da qualidade da água, ar e solo da região. Como atesta Lima (2006), o prejuízo ambiental vai além:

O crescimento populacional e o desenvolvimento industrial trouxeram, além da poluição decorrente desse crescimento, questões ambientais de ordem física, tais como a destruição dos ecossistemas periféricos à Baía, os aterros de seu espelho d'água, o uso descontrolado do solo e seus efeitos adversos em termos de assoreamento, sedimentação de fundo, inundação e deslizamento de terra (LIMA, 2006, p. 4).

Segundo Graef (2015), os principais fatores que contribuem atualmente para a degradação ambiental na Baía de Guanabara são:

- Lançamento de esgoto sanitário: estima-se que uma carga poluidora da ordem de 453 toneladas de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) por dia seja lançada nos rios da região.
- Lançamento de efluentes do parque industrial, incluindo a Refinaria de Duque de Caxias (REDUC). Aproximadamente 70% das indústrias do

Estado do Rio de Janeiro localizam-se na Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara;

- Derrames eventuais de óleo e outros poluentes oriundos dos terminais marítimos, instalações militares da Marinha do Brasil, estaleiros e portos comerciais;
- Disposição final de resíduos sólidos, incluindo os antigos lixões no entorno da Baía; e
- Desmatamento/erosão/assoreamento: o processo histórico de ocupação da região fez com que a cobertura vegetal original fosse em grande parte removida, causando processos erosivos, assoreamento e degradação do espelho d'água e dos manguezais remanescentes.

A Baía de Guanabara é um estuário com cerca de 2 bilhões de m³ de água, área total aproximada de 346 km², dos quais 59 km² de ilhas. Sua bacia hidrográfica abrange uma área aproximada de 4 mil km², com 50 rios e riachos, sendo 35 principais, que deságuam na Baía com uma vazão média anual de 350 m³/s, transportando alta carga poluidora de efluentes domésticos brutos ou parcialmente tratados de cerca dos 10 milhões de habitantes. Ainda são despejados efluentes industriais de mais de 12 mil indústrias (FEEMA, 1998, p. 10 apud LIMA, 2006; INSTITUTO TRATA BRASIL, 2014). A bacia hidrográfica da Baía de Guanabara engloba os municípios de Duque de Caxias, São João de Meriti, Belford Roxo, Nilópolis, São Gonçalo, Magé, Guapimirim, Mesquita, Itaboraí e Tanguá – e parcialmente os municípios do Rio de Janeiro, Niterói, Nova Iguaçu, Cachoeiras de Macacu, Rio Bonito e Petrópolis, sendo que este último tem área muito pequena dentro da bacia drenante à Baía, totalmente coberta por florestas (LIMA, 2006).

5.2 População

Ainda segundo Lima (2006), 80% da população total da bacia concentra-se nos municípios da parte oeste (Rio de Janeiro, Nova Iguaçu, Duque de Caxias, São João de Meriti, Nilópolis, Belford Roxo e Mesquita), onde se observa alta densidade populacional (Figura 45). Nesta parte da Baía a contribuição de efluentes domésticos e industriais é significativa, com uma pequena parcela de esgotos sanitários sendo tratada adequadamente.

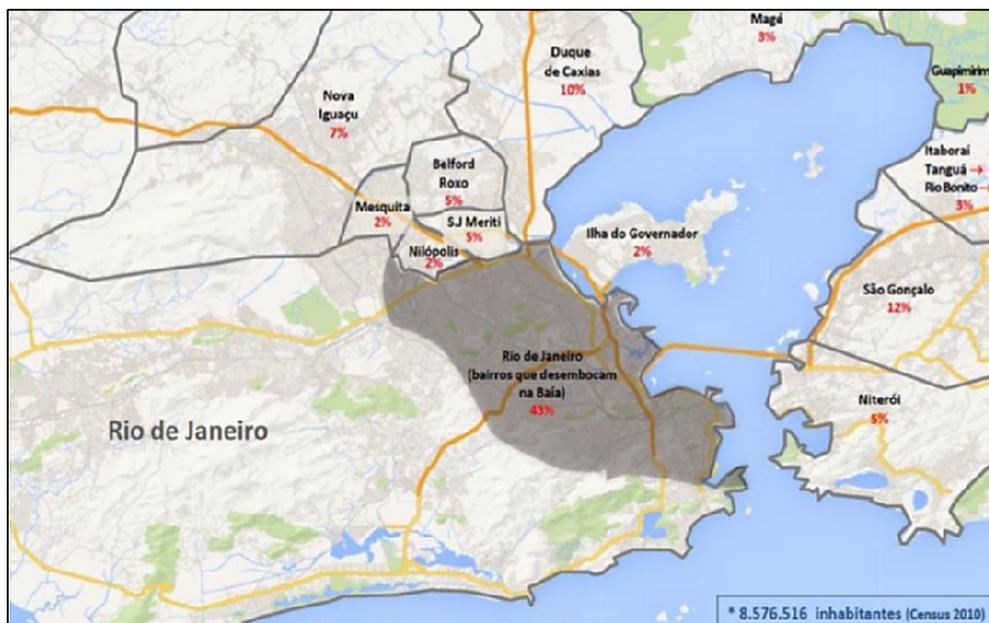


Figura 45 - Distribuição da população na bacia hidrográfica da Baía de Guanabara.
Fonte: GRAEL, 2015, p. 18.

Em relação às condições de vida da população que habita a bacia hidrográfica, dados do ano 2000 mostram a existência de parcela significativa vivendo em condições de pobreza, conforme mostra a Tabela 1, ao passo que o nível de alfabetização, com dados de 2010, é superior a 91% em todos os municípios, demonstrando um considerável avanço (GRAEL, 2015).

Tabela 1 - Percentual de pobreza e taxa de alfabetização, segundo os municípios da bacia hidrográfica da Baía de Guanabara - 2000/2010

Municípios	Percentual de pobreza (%) (2000)	Taxa de alfabetização ¹ (%) (2010)
Belford Roxo	60,06	95,3
Cachoeiras de Macacu	41,50	91,4
Duque de Caxias	53,53	95,3
Guapimirim	46,21	93,0
Itaboraí	59,43	93,9
Magé	64,02	94,5
Mesquita	-	96,7
Nilópolis	32,48	97,9
Niterói	12,47	97,8
Nova Iguaçu	54,15	95,6
Rio Bonito	21,52	92,8
Rio de Janeiro	23,85	97,2
São Gonçalo	39,86	96,6
São João de Meriti	47,00	96,7
Tanguá	68,12	91,8

Fonte: IBGE, 2000/2010 apud GRAEL, 2015, p. 21.

¹ Pessoas de 10 anos ou mais de idade.

Em relação ao Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), com dados de 2000, a maioria dos municípios está na faixa média (IDHM entre 0,500 a 0,799), como pode ser observado na Tabela 2. Niterói aparece com o melhor índice (0,886) e Tanguá com o pior (0,722). Na maioria dos casos a renda constitui a pior parcela do IDHM e a educação a melhor.

Tabela 2 - Índices de Desenvolvimento Humano Municipal - IDHM, segundo os municípios da bacia hidrográfica da Baía de Guanabara - 2000

Municípios	IDHM	IDHM Renda	IDHM Longevidade	IDHM Educação
Belford Roxo	0,742	0,642	0,711	0,873
Cachoeiras de Macacu	0,752	0,673	0,756	0,828
Duque de Caxias	0,753	0,678	0,708	0,873
Guapimirim	0,739	0,684	0,690	0,843
Itaboraí	0,737	0,659	0,708	0,844
Magé	0,746	0,665	0,711	0,863
Mesquita	-	-	-	-
Nilópolis	0,788	0,724	0,708	0,933
Niterói	0,886	0,891	0,808	0,960
Nova Iguaçu	0,762	0,686	0,717	0,884
Rio Bonito	0,772	0,711	0,773	0,833
Rio de Janeiro	0,842	0,840	0,754	0,933
São Gonçalo	0,782	0,707	0,742	0,896
São João de Meriti	0,774	0,683	0,744	0,895
Tanguá	0,722	0,640	0,690	0,837

Fonte: IBGE, 2000 apud GRAEL, 2015, p. 22.

5.3 Saneamento

Segundo Grael (2015), dos 20 mil l/s de esgoto doméstico produzidos pelos municípios da bacia da Baía de Guanabara, apenas 33,9% recebem algum tipo de tratamento, 26% não recebem qualquer tratamento e 40,1% nem são coletados. A falta de tratamento dos esgotos domésticos e industriais acarreta, dentre outros fatores, alta quantidade de nutrientes, eutrofização das águas da Baía e deposição de grandes quantidades de metais pesados e hidrocarbonetos em seus sedimentos, como resultado de décadas de poluição industrial e dos derrames de óleo acidentais e operacionais (CARREIRA et al., 2002; CARREIRA et al., 2004; GERALDES et al., 2006; PERRIN et al., 1997; RIBEIRO; KJERFVE, 2002; SILVA et al., 2007, apud MARIANO, 2014). Este cenário provoca forte e contínua degradação a este importante corpo hídrico, sendo ainda agravado pelo atraso na implantação de um sistema de saneamento básico na região.

5.3.1

A eutrofização e a qualidade da água

As variáveis ambientais interdependentes que devem ser levadas em conta para um melhor estudo da qualidade das águas da Baía de Guanabara são: as contribuições de cargas poluidoras provenientes de sua bacia hidrográfica, as condições de maré e as condições meteorológicas. FEEMA (1998 apud LIMA, 2006) destaca alguns pontos de tais variáveis:

- Áreas da Baía com baixa circulação de águas, ou seja, que apresentam correntes mais fracas e as áreas perto da foz dos rios demonstraram alto índice de poluição, principalmente de esgotos domésticos.
- Em geral, a qualidade de água é pior na estação chuvosa se comparado à estação seca, devido à baixa cobertura de rede de esgotos da bacia contribuinte.
- A concentração de matéria orgânica e nutrientes é mais baixa na região que se estende da boca da baía até a região norte-nordeste e mais alta na área oeste, no canal entre as ilhas do Governador e do Fundão.

O alto grau de eutrofização tem se espalhado e avançado das regiões oeste e noroeste, altamente urbanizadas, em direção às demais regiões da Baía, comprometendo a qualidade de suas águas. As causas da eutrofização se devem, em grande parte, à matéria orgânica e nutrientes lá drenados e também às altas concentrações de bactérias do tipo coliformes, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo, nitrogênio e Clorofila-a (Chl-a) – caracterizando a biomassa de algas –, conjugadas aos baixos níveis de transparência e oxigênio dissolvido (OD) (LIMA, 2006).

Nas últimas duas décadas observou-se que a deterioração da qualidade da água em termos de DBO, coliformes e Clorofila-a foi mais significativa na parte nordeste, porém, mesmo assim, ainda demonstra uma qualidade melhor que as áreas noroeste e oeste. A área com água de pior qualidade, com OD abaixo de 1 mg/L, DBO de até 50 mg/L e elevados níveis de nutrientes nitrogênio, fósforo e coliformes fecais, está localizada no canal entre as ilhas do Governador e do Fundão e o continente (Tabela 3), devido aos lançamentos significativos de efluentes brutos ou parcialmente tratados, provenientes das áreas industriais e residenciais da área oeste da Baía (FEEMA, 1998 apud LIMA, 2006).

Lima (2006) atesta que o indicador mais relevante para representar a questão da qualidade da água na Baía de Guanabara é a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), “pois permite simplificar as informações sobre o fenômeno complexo de eutrofização da Baía de Guanabara, facilitando a compreensão dos dados” (LIMA, 2006, p. 29). E indica como referência para o indicador DBO¹⁶ os valores de:

- 5 mg/L para garantia do uso para proteção das comunidades aquáticas e recreação; e
- 10 mg/L para usos menos nobres de navegação e harmonia paisagística. É considerado que DBO menor que 10 mg/L evita condições de anaerobiose na Baía.

Tabela 3 - Mediana dos principais parâmetros de qualidade da água, segundo rios do entorno da Baía de Guanabara - 1998-2003

Região	Rio	DBO (mg/L)	OD (mg/L)	N-amoniacal (mg/L)	N-Kjeldahl (mg/L)	P-total ¹ (mg/L)
Parâmetros Resolução CONAMA 357/2005	Água doce Classe 1	< 3	> 6			< 0,025
	Água doce Classe 2	< 5	> 5			< 0,050
	Água doce Classe 3	< 10	> 4			< 0,75
	Água doce Classe 4	> 10	> 2			
Costa oeste	Mangue	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
	Cunha	30	< 0,1	2,6	9,5	1,8
	Penha	40	< 0,1	2,5	11,5	2,2
	Irajá	40	< 0,1	2,6	11	1,8
	São João de Meriti	40	< 0,1	2,6	12	2,35
	Sarapuí	20	< 0,1	2,7	12	2,15
	Iguaçu	17	< 0,1	2,6	6,0	1,2
Costa norte e nordeste	Estrela	6,0	1,4	2,4	3,6	0,4
	Suruí	3,2	4,4	0,3	1,0	0,2
	Iriri	6,0	1,2	0,21	1,2	0,3
	Roncador	2,0	5,9	0,2	1,0	0,1
	Magé	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
	Soberbo	7,6	6,1	0,3	1,1	0,1
	Macacu	2,0	6,2	0,15	0,8	0,1
	Guapi	4	3,3	0,38	1	0,2
Caceribu	2,0	4,8	0,6	1,8	0,175	
Costa leste	Guaxindiba	12	1,09	2,75	11,5	1,9
	Mutondo	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
	Imboassu	30	0,3	2,7	12,5	2,2
	Bomba	60	1,0	3,05	13	2,85
	Canto do Rio	40	0,8	5,2	14	2,65

Fonte: Consórcio Ecologus-Agrar 2005 apud GRAEL, 2015

¹ Em ambientes intermediários e tributários diretos de ambientes lênticos.

O rápido crescimento de algas, limitado pela luz nas regiões sudoeste e noroeste, também tem contribuindo de forma crescente para a carga global de poluição orgânica presente na Baía. Segundo Lima (2006), os níveis de OD são aceitáveis, porém o rápido crescimento das algas influencia não só esses como os de Clorofila-a, representando ameaças à saúde dos frágeis ecossistemas encontrados na região nordeste.

Esta área é a mais rica em espécies aquáticas, sendo especialmente importante pela presença da maior mancha contínua de manguezais da Baía, que servem de base e nicho para numerosas cadeias tróficas estuarinas e representam papel fundamental para a manutenção da biodiversidade e da produtividade ecológica (LIMA, 2006, p. 19).

Como já mencionado anteriormente, esta região sofreu as maiores mudanças negativas na qualidade da água nos últimos anos e, mesmo assim, continua sendo mais limpa que a das regiões oeste e noroeste (FEEMA, 2002 apud MARIANO, 2014).

Lima (2006) ressalta outro importante contribuinte para a degradação da qualidade de água da Baía, que é o acúmulo de fósforo, nitrogênio e metais pesados nos sedimentos de determinadas áreas, tendo como consequência a liberação contínua desses materiais para a água por muito tempo, mesmo após a redução dos lançamentos diretos de poluição. As concentrações de metais pesados nos sedimentos superficiais da Baía são maiores na parte oeste (próximo às desembocaduras dos rios São João de Meriti, Sarapuí e Iguaçú), decrescendo em direção ao canal central e à entrada da baía, como pode ser visto na Tabela 3.

5.3.2

A qualidade da água dos afluentes da Baía

Como já dissemos, muitos dos 50 rios e riachos que compõem a bacia hidrográfica da Baía de Guanabara têm sido modificados por obras de drenagem desde o início do século XX. As principais alterações ocorridas foram nas décadas de 1930 e 1940, para execução de obras de dragagem, retificação e construção de canais. Entre os rios canalizados (de forma aberta ou subterrânea) estão os rios dos canais do Mangue e do Cunha e os rios Irajá, São João do Acari, Iguaçú e Estrela, os quais se encontram com altas cargas de poluição provenientes de esgoto e das diversas indústrias localizadas na bacia. Os rios Guapimirim, Caceribu, Meriti e o Sarapuí

também são grandes contribuidores para a descarga fluvial com altas cargas de poluição na Baía (SEMADS, 2001 apud MARIANO, 2014).

Segundo o Instituto Trata Brasil (2014), a maior parte do esgoto não tratado (coletado ou não) tem como destino final as fossas caseiras e as valas que acabam por desaguar nos rios e riachos que compõem a rede hidrográfica da bacia, acarretando não só a degradação ambiental, mas também prejuízos à saúde da população que ali reside. Os resultados do monitoramento que o Instituto Estadual do Ambiente (INEA) realiza rotineiramente nos 32 principais rios, por meio das 55 estações de amostragem, refletem os impactos decorrentes da falta de serviços públicos de saneamento. A Figura 46 mostra as estações de monitoramento e a devida classificação da qualidade de água referente ao ano de 2014.

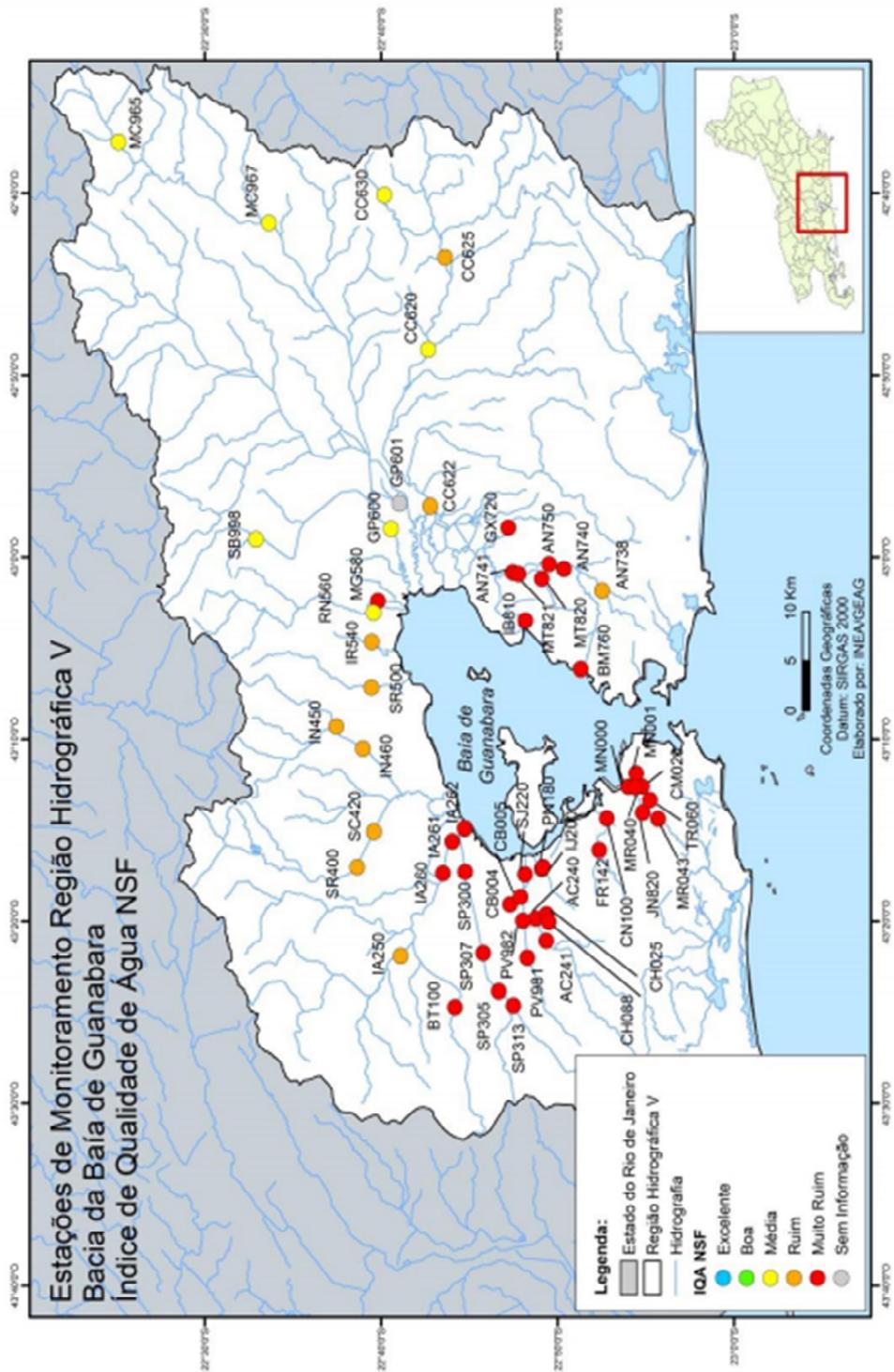


Figura 46 - Estações de monitoramento da bacia hidrográfica da Baía de Guanabara com indicação de resultados - Região Hidrográfica V - 2014.²⁹

Fonte: INEA.

²⁹ Aplicação do Índice de Qualidade de Água (IQA-NSF) que consolida em um único valor os resultados dos parâmetros: Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Fósforo Total (PT), Nitrogênio Nitrato (NO₃), Potencial Hidrogeniônico (pH), Turbidez (T), Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), Temperatura da Água e do Ar e Coliformes Termotolerantes.

Lima (2006) relata que os rios que atravessam as áreas urbanizadas e mais densamente povoadas são verdadeiras canalizações de esgoto a céu aberto, recebendo grandes contribuições de esgotos domésticos, despejos industriais e lixo. Nesta categoria, estão incluídos os afluentes da costa oeste da Baía, que vão do Canal do Mangue ao Canal de Sarapuí, além dos rios Alcântara, Mutondo, Bomba e Canal do Canto do Rio, na costa leste. Segundo o INEA, os demais rios da bacia são menos degradados. O rio Guapi-Macacu, por exemplo, na área norte tem a água de melhor qualidade da bacia, sendo fonte de abastecimento público de Niterói e São Gonçalo, com captação no Canal de Imunana, Estação de Laranjal.

Afluentes da costa oeste

Como já mencionado, os afluentes da parte oeste da Baía drenam áreas densamente povoadas (zonas norte e oeste do município do Rio de Janeiro e parcela importante da Baixada Fluminense), recebendo ao longo de seus cursos elevada quantidade de esgotos não tratados. Das 29 estações de amostragem localizadas nessa porção da Baía, todas apresentaram resultados “Muito ruim”, conforme aponta a Tabela 4, com exceção de apenas uma das estações do rio Iguaçu, que registrou resultado “Ruim” para o ano de 2014.

Tabela 4 - Índice de Qualidade da Água – IQA-NSF nas estações de amostragem localizadas em determinados rios da costa oeste da bacia hidrográfica da Baía de Guanabara - 2014

Estação de amostragem	Município	Localização	IQA-NSF Média 2014	
BT100	Belford Roxo	Rio Bota	18,0 	
CB004	Duque de Caxias	Rio Caboclo	20,7 	
CB005			21,1 	
IA250		Rio Iguaçu	36,3 	
IA260			20,1 	
IA261			20,7 	
IA262			19,6 	
SJ220			Rio São João de Meriti	18,4 
SP300		São João do Meriti	Rio Sarapuí	17,4 
SP305				18,8 
SP307				17,3 
SP313	19,9 			
PV982	Rio Pavuna			20,6 

PV981	Rio de Janeiro		21,6	■
PN180		Canal da Penha	18,3	■
CN100		Canal do Cunha	21,8	■
MN000		Canal do Mangue	19,7	■
MN001			23,6	■
AC240		Rio Acari	15,9	■
AC241			17,4	■
CM020		Rio Comprido	18,3	■
CH025		Rio dos Cachorros 1	17,1	■
CH088		Rio dos Cachorros 2	19,2	■
FR142		Rio Farias	17,0	■
IJ200		Rio Irajá	20,2	■
JN820		Rio Joana	23,3	■
MR040		Rio Maracanã	20,1	■
MR043			20,6	■
TR060		Rio Trapicheiro	21,1	■

Fonte: INEA, 2015.

Resultados	IQA-NSF	Significado
■ Ruim	$50 \geq IQA \geq 25$	Águas impróprias para tratamento convencional visando o abastecimento público, sendo necessários tratamentos mais avançados.
■ Muito ruim	$25 > IQA \geq 0$	

Segundo o Instituto Trata Brasil (2014), o INEA também monitora a qualidade das águas no interior da Baía por meio de 20 estações de amostragem, que avaliam a presença e o volume de coliformes fecais, e os valores apurados são comparados ao limite estabelecido pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Entre janeiro de 2013 e março de 2014, 60% dos pontos de amostragem apresentaram valores abaixo do limite estabelecido, mas os outros 40%, todos localizados na costa oeste da Baía, apresentaram valores não apenas desequilibrados, mas muito superiores ao desejado. A estação das proximidades das desembocaduras dos rios Irajá e São João do Meriti (que tem como afluentes o Acari e o Pavuna) apresentou valor superior em 13.000% ao limite estabelecido. Em pior situação encontra-se a foz do Canal do Cunha, que reúne os rios Farias e Timbó, cuja estação apurou um valor mediano 20.000% além do limite estabelecido.

Cinco das estações instaladas pelo INEA estão localizadas dentro da área destinada à realização das provas olímpicas de iatismo e apresentaram, ao longo do

período citado, valores medianos enquadrados no limite estabelecido pelo CONAMA. Em determinados meses, porém, os valores estavam significativamente acima do valor de referência. Destaque negativo para a estação localizada na Marina da Glória, instalação-base para a realização das provas, que extrapolou o limite determinado em apurações realizadas em dois meses do ano de 2014 (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2014).

Afluentes da costa leste

Os rios da costa leste, que abrange a extensão compreendida entre os rios Guaxindiba/Alcântara e o Canal do Canto do Rio, drenam os municípios de São Gonçalo e Niterói – segunda maior concentração populacional da bacia com elevado percentual de urbanização. Essa costa apresentou índices menos críticos que os da costa oeste, como pode ser visto na Tabela 5, porém apenas 2 estações foram avaliadas com resultados “Ruim”, sendo todos os demais avaliados como “Muito ruim”.

Tabela 5 - Índice de Qualidade da Água - IQA-NSF nas estações de amostragem localizadas em determinados rios da costa leste da bacia hidrográfica da Baía de Guanabara - 2014

Estação de amostragem	Município	Localização	IQA-NSF Média 2014
AN738	São Gonçalo / Niterói	Rio Alcântara	27,3 
AN740			23,8 
AN741			19,5 
AN750			23,4 
BM760		Rio Bomba	25,0 
GX720		Rio Guaxindiba	21,0 
IB810		Rio Imboassú	17,7 
MT820		Rio Mutondo	22,8 
MT821			20,7 

Fonte: INEA, 2015.

Resultados	IQA-NSF	Significado
 Ruim	$50 \geq \text{IQA} \geq 25$	Águas impróprias para tratamento convencional visando o abastecimento público, sendo necessários tratamentos mais avançados.
 Muito ruim	$25 > \text{IQA} \geq 0$	

Afluentes da costa norte

Ainda segundo o Instituto Trata Brasil (2014), os afluentes que desembocam na costa norte, no fundo da Baía, que se estende do rio Estrela até o rio Caceribú, drenam, além de menor parcela da Baixada Fluminense, os municípios de Magé, Petrópolis, Guapimirim, Cachoeiras de Macacu, Rio Bonito, Itaboraí e Tanguá de forma parcial ou na totalidade de seus territórios. A qualidade de água analisada nesta costa apresenta os melhores resultados da Baía, principalmente devido à menor concentração populacional e percentual de urbanização dos municípios por onde os rios passam. A costa norte abriga 17 estações de amostragem, como mostra a Tabela 6, dentre as quais 7 apresentaram resultado “Média”, 8 receberam “Ruim” e o rio Magé apresentou resultado “Muito ruim” no ano de 2014. Esses valores refletem a existência de áreas de manguezal em bom estado de conservação nas margens da Baía e, ainda, o aproveitamento de alguns de seus rios para o serviço de abastecimento de água de municípios da região, como já relatado acima.

Tabela 6 - Índice de Qualidade da Água - IQA-NSF nas estações de amostragem localizadas em determinados rios da costa norte da bacia hidrográfica da Baía de Guanabara - 2014

Estação de amostragem	Município	Localização	IQA-NSF Média 2014
MC965	Cachoeiras de Macacu	Rio Macacu	62,4 
MC967			55,5 
SC420	Duque de Caxias	Rio Saracuruna	28,5 
SR400			32,1 
SB998	Guapimirim	Rio Soberbo	53,0 
GP600		Rio Guapi	55,7 
GP601			- 
CC622		Rio Caceribú	46,5 
CC630	Rio Bonito		69,6 
CC625	Tanguá		37,3 
CC620	Itaboraí		55,1 
IN450	Magé	Rio Inhomirim	37,5 
IN460			37,3 
IR540		Rio Iriri	43,5 
MG580		Rio Magé	19,1 
RN560		Rio Roncador	52,0 
SR500		Rio Suruí	40,3 

Fonte: INEA, 2015.

Resultados	IQA-NSF	Significado
■ Média	$70 > IQA \geq 50$	Águas apropriadas para tratamento convencional visando o abastecimento público.
■ Ruim	$50 \geq IQA \geq 25$	Águas impróprias para tratamento convencional visando o abastecimento público, sendo necessários tratamentos mais avançados.
■ Muito ruim	$25 > IQA \geq 0$	
■ Sem informação	-	

As informações acima são de fundamental importância para o melhor entendimento da questão da poluição na bacia hidrográfica da Baía de Guanabara. É preciso correlacionar o elemento ambiental com elementos culturais e históricos, pois o cenário atual é fruto da inter-relação entre todos estes elementos: quanto mais elementos considerarmos, mais completa fica a nossa análise. Portanto, faz-se necessário estudar a qualidade da água dos afluentes da Baía, de suas águas e de seu entorno, considerando também a densidade populacional, ocupação urbana e industrial e o histórico do saneamento. Podemos notar ainda as especificidades de cada costa dentro da Baía, com seus afluentes, sua população, sua história de ocupação e, portanto, seu quadro atual de qualidade de suas águas. Para que sejam empreendidas soluções de saneamento e despoluição, agora ou no futuro, há que se considerar todo esse contexto e levar em conta, além disso, a hidrodinâmica de correntes e os ventos e marés presentes na Baía, responsável pela movimentação de todo o lixo drenado para suas águas.

5.4 Autodepuração da Baía de Guanabara

Outro importante elemento a ser estudado e compreendido nesse contexto é o processo de autodepuração das águas da Baía, fundamental para se estimar os desdobramentos da poluição a que está submetida.

Mariano (2014) relata que o tempo de renovação de 50% do volume das águas da Baía foi estimado por Kjerfve et al. (1997) em 11,4 dias. Entende-se por renovação a relação entre as parcelas de água importadas e exportadas que compõem o volume total de água em condições estacionárias. Este tempo estimado de renovação indica uma troca relativamente rápida das águas da Baía, porém não reflete as diferenças de circulação e transporte ao longo desse corpo hídrico. De forma complementar, estudos com simulação de transporte de partículas na Baía

têm sido conduzidos de forma a permitir um melhor entendimento de como se dá a renovação das águas e o transporte de poluentes espacialmente, daí se aplica o termo “tempo de residência”.

Em seu estudo, Mariano (2014) realizou estimativas do tempo de residência das águas da Baía através de lançamentos de partículas em um modelo numérico. Simulações com e sem vento foram realizadas e notáveis diferenças observadas, atestando a importância do vento nos estudos da hidrodinâmica na Baía de Guanabara:

Para a simulação sem vento, cerca de 25% das partículas deixaram a Baía em um período de 82 dias de simulação, com tempos de residência inferiores a 10 dias nas regiões mais próximas à entrada da Baía a 82 dias em regiões intermediárias. As partículas lançadas no extremo norte da Baía permaneceram nesta durante toda a simulação, exceto nas proximidades dos pontos de descarga fluvial (MARIANO, 2014, p. V)

Já nas simulações considerando-se o vento como forçante, observaram-se alterações nos campos de corrente nas regiões mais rasas e internas da Baía, maior tempo de residência, principalmente no canal central, e diminuição da porcentagem de saída, aproximadamente 19%, contrastando com os 25% estimados na simulação sem vento. Ainda na simulação com vento, Mariano (2014) relata que as partículas não deixaram a Baía no canal da Ilha do Governador, mas em alguns pontos da porção norte e na região leste da Ilha houve um aumento da saída de partículas e diminuição do tempo de residência, notando-se variações dos resultados mesmo entre as simulações com vento. Estas variações refletem o período do ano e, portanto, a predominância dos ventos que atuam na Baía: entre maio e julho observa-se a predominância de ventos de norte na entrada da Baía e entre setembro a dezembro há a predominância dos ventos de sul.

Portanto, de acordo com os estudos acima, a poluição e a falta de saneamento impactam significativamente a Baía de Guanabara, sendo seu padrão de autodepuração não tão rápido como se pensava. Exemplo disso é a renovação das águas, a depender da localidade da Baía, ocorrer em tempos bem distintos.

5.5

Prejuízos com a falta de saneamento

Em um documento intitulado *Benefícios econômicos da expansão do saneamento para a sociedade dos municípios da Baía de Guanabara*, lançado em 2014, o

Instituto Trata Brasil apresenta um interessante panorama sobre como a falta de saneamento impacta diversas áreas da gestão pública, além dos ganhos que se poderia ter com a universalização do acesso à água tratada. Segundo esse documento, em 2012 o déficit de saneamento nos municípios da Baía de Guanabara era de 626,4 mil moradias sem acesso à água tratada (16,3%) e 1,612 milhão de habitações sem acesso à coleta de esgoto, ou seja, um déficit de 42%.

Tomando por referência os valores históricos de custo do investimento por acesso conforme dispostos no banco de dados do SNIS (Sistema Nacional de Informações do Saneamento), estima-se que a universalização do saneamento na região custaria algo em torno de R\$ 27,7 bilhões. Para se ter uma ideia do quão volumosos são os investimentos, vale mencionar que eles correspondem a aproximadamente 9,3% da soma do PIB dos municípios da Baía de Guanabara (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2014, p. 11).

Estima-se que quase 60% do valor dos investimentos necessários devem ser destinados ao saneamento das cidades do Rio de Janeiro, Niterói e São Gonçalo e o restante aos quatro maiores municípios da Baixada Fluminense (Duque de Caxias, Belford Roxo, Nova Iguaçu e São João do Meriti). É fundamental ressaltar as oportunidades que a universalização do saneamento pode trazer para ampliar a riqueza das pessoas, das cidades e do estado. Saneamento resulta em menos doenças, melhora a educação, gera riqueza, alavanca o potencial turístico, aumenta a produtividade e o valor das moradias.

Conforme os dados do Instituto Trata Brasil (2014), além dos danos ambientais, os prejuízos com a falta de saneamento foram analisados da seguinte forma:

Saúde: Em 2013 foram notificadas quase 2.745 internações por infecções gastrointestinais nos municípios do entorno da Baía de Guanabara (DataSus), [...] dos quais aproximadamente 50% foram classificados pelos médicos como “diarreia e gastroenterite origem infecciosa presumível”. Cerca de 90% das internações envolveu crianças e jovens até 14 anos. O saneamento reduziria os gastos em R\$ 150 mil por ano.

Produtividade e salários: Em 2012, a falta de saneamento [...] causou a perda de 36,8 mil dias de trabalho, num valor global de R\$ 66,6 milhões em horas pagas, mas não trabalhadas. A universalização do saneamento possibilitaria uma redução de 13,6% com redução de custo de R\$ 9 milhões/ano. Se o acesso à coleta de esgoto e à água tratada fosse universalizado haveria também um incremento médio de R\$ 74,86 na renda mensal do trabalhador da região, ou seja, mais R\$ 4,7 bilhões na economia local.

Educação: O saneamento reduziria o atraso escolar e a falta das crianças na escola proporcionando melhor formação aos adultos. Estima-se que a universalização do saneamento traria um incremento de R\$ 3,3 bilhões na folha de rendimentos dos futuros trabalhadores.

Valorização imobiliária: Os ganhos de valorização dos imóveis devem chegar a R\$ 4,1 bilhões na região como um todo. O aumento de valor dos ativos estaria concentrado nas grandes cidades da região, como é o caso do Rio de Janeiro, que teria um ganho patrimonial de R\$ 2,1 bilhões.

Balanço: Em valores correntes, os investimentos para universalização do saneamento (água e esgoto) seria de R\$ 27,7 bilhões e os benefícios de R\$ 60,2 bilhões em trinta anos. Em valores presentes, os investimentos seriam de R\$ 17,5 bilhões para um ganho em benefícios de R\$ 31,3 bilhões. O ganho seria de R\$ 13,8 bilhões, ou seja, R\$ 460 milhões/ano (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2014, p. 5).

Dos 16 municípios que fazem parte da Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara, cinco foram listados entre os 15 piores do Ranking do Saneamento 2012, publicado pelo Instituto Trata Brasil em 2014, analisando a situação das 100 maiores cidades brasileiras.

A Tabela 7 mostra Niterói como o único município da bacia a figurar entre as 15 melhores cidades em saneamento do país. Com os investimentos iniciados em 2014 pela Concessionária Águas de Niterói, a cidade será a primeira a chegar à universalização do saneamento, o que deve ocorrer em 2017.

Tabela 7 - Posição dos municípios da bacia hidrográfica da Baía de Guanabara no *ranking* do saneamento das 100 maiores cidades brasileiras - 2012

Municípios da bacia hidrográfica da Baía de Guanabara	Posição
Niterói	14 ^a
Rio de Janeiro	56 ^a
Belfort Roxo	86 ^a
São Gonçalo	90 ^a
Duque de Caxias	93 ^a
São João de Meriti	94 ^a
Nova Iguaçu	95 ^a

Fonte: INSTITUTO TRATA BRASIL, 2014 apud GRAEL, 2015, p. 26.

A falta de saneamento e a degradação ambiental e social advinda da poluição, impactam também atividades econômicas formais e informais. Segundo Rosa e Mattos (2010), a pesca artesanal e coleta de caranguejos são algumas das atividades informais desenvolvidas por comunidades no entorno da Baía de Guanabara, retirando desse ecossistema o seu sustento e de suas famílias, não tendo sido por acaso que milhares de pessoas fixaram em seu entorno. Atualmente, são cinco as colônias de pescadores na Baía e estão situadas em locais tradicionais de pesca e desembarque de pescadores. Já a coleta de caranguejos encontra-se mais restrita na região de manguezais da APA de Guapimirim, nas localidades de Itaoca, Itambi e Magé.

Desde 1980, porém, tem-se observado um declínio da atividade pesqueira devido, dentre outros fatores, à crescente poluição da Baía de Guanabara. As causas deste processo podem ser atribuídas aos aterros, ao assoreamento, à transformação de rios em canais, à destruição dos manguezais e ao lançamento de resíduos. Com o acidente ocorrido em 2000, provocado pelo derramamento de óleo, a situação dos que sobrevivem da pesca, só piorou. Apesar do forte impacto e intensa degradação, a pesca na Baía ainda resiste, sendo que os pescadores e catadores precisam de um esforço maior para compensar a diminuição do pescado na Baía e do caranguejo no mangue (ROSA; MATTOS, 2010).

5.6

Resíduos sólidos/lixo flutuante

A situação desfavorável do saneamento na Baía de Guanabara se repete em relação ao descarte dos resíduos sólidos. Na cidade do Rio de Janeiro, entre 1999 e 2008, foram produzidos 0,68 kg/hab/dia de lixo domiciliar e 0,56 kg/hab/dia de lixo público (IPP, 2011 apud FRANZ, 2011).

Franz (2011) relata que dados do Censo 2000 do IBGE apontam que 73% dos domicílios na Região Metropolitana do Rio de Janeiro eram atendidos por serviços de limpeza e coleta de resíduos sólidos domésticos, 7% não eram atendidos e afirmaram que depositavam o seu lixo em caçambas e 3,5% afirmaram que queimavam, enterravam, lançavam seu lixo em rios ou, ainda, em terrenos baldios e logradouros. Estes resíduos que declaradamente vão para os rios, somados a outras fontes de resíduos urbanos e industriais, acabam sendo transportados e desembocando na Baía de Guanabara, gerando lixo flutuante.

O total de resíduos gerados pela população em uma bacia hidrográfica no perímetro urbano corresponde ao: total coletado nas residências e estabelecimentos + total limpo dos logradouros públicos + total que alcança o sistema de drenagem (levado pelo escoamento). Observou-se que, quando a caçamba está localizada a dezenas de metros dos domicílios, alguns moradores optam por jogar os resíduos sólidos em cursos d'água e em terrenos baldios, entre outros locais, fazendo com que a porcentagem de domicílios que depositam seus resíduos sólidos em locais inadequados seja superior à estimada (NEVES; TUCCI, 2008; FRANZ; FREITAS, 2008 apud FRANZ, 2011).

Ainda segundo Franz (2011), quando o destino final dos resíduos sólidos são os rios que drenam bacias metropolitanas de zonas costeiras, como é o caso da Baía de Guanabara, surge um problema ambiental cuja solução permeia não só o gerenciamento de resíduos sólidos, como também:

- A política de recursos hídricos, dado que rios são o destino final de muitos resíduos sólidos;
- A política de gerenciamento costeiro, já que uma quantidade significativa de lixo flutuante, proveniente de bacias hidrográficas, atinge a zona costeira; e
- A política de educação ambiental; pois a inadequada disposição final do lixo relaciona-se diretamente aos hábitos da população.

O artigo 47º da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei 12.302/2010, proíbe o lançamento do lixo em praias, mar ou em corpos hídricos pois causa, dentre diversos outros fatores, assoreamentos, enchentes e inundações. Baseado na observação de lançamento e disposição final inadequada dos resíduos, a PNRS incentiva o fortalecimento de políticas relacionadas a campanhas educacionais que tratem da não geração, da redução, da reutilização, da reciclagem e da disposição adequada de resíduos sólidos (FRANZ, 2011).

Grael (2015) relata um avanço importante nos últimos anos no Estado do Rio de Janeiro: o fim dos lixões e a adoção de soluções mais adequadas para o resíduo, como mostram os dados do Gráfico 1.

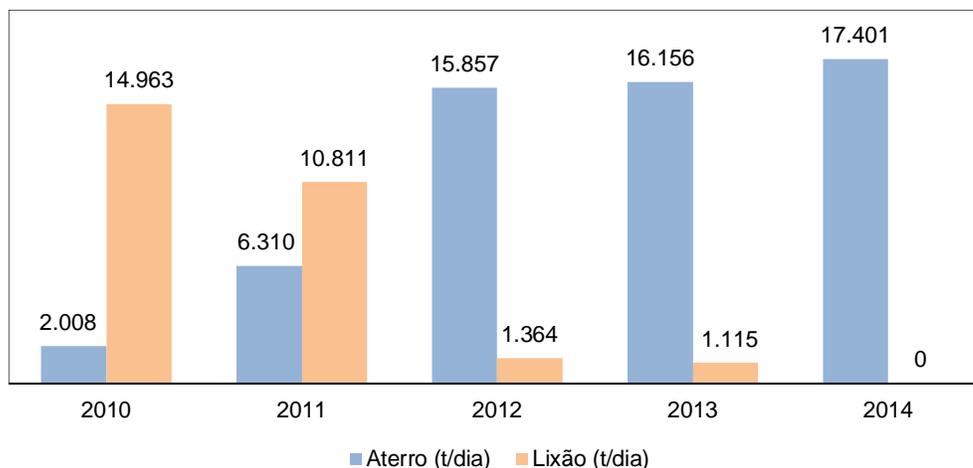


Gráfico 1 - Destinação dos resíduos sólidos urbanos no Estado do Rio de Janeiro - 2010/2014.

Fonte: EGP-RIO apud GRAEL, 2015, p. 28.

Segundo dados da Abrelpe (2014), dos resíduos sólidos coletados na região Sudeste, 27.4% ainda são destinados para lixões e aterros controlados. A cada ano, nota-se um aumento no total de resíduos sólidos coletados, mas também o aumento na sua geração. Em 2014 foram geradas 105.431 toneladas/dia, das quais 97,3% foram coletadas. Os valores destinados para a realização dos serviços de limpeza urbana das cidades da região Sudeste, resultam em uma média mensal de R\$ 12,74 por habitante. Observa-se também que o mercado de serviços de limpeza urbana e a quantidade de empregos diretos gerados por esse mercado têm registrado um expressivo crescimento a cada ano.

A vazão de todos os rios da Baía de Guanabara somados aporta aproximadamente $100 \text{ m}^3/\text{s}$ de água doce, aí incluídos também os $25 \text{ m}^3/\text{s}$ do esgoto doméstico. A variação sazonal da vazão média é de $33 \text{ m}^3/\text{s}$ em julho (estiagem: vazão mínima) a uma média de $186 \text{ m}^3/\text{s}$ em janeiro (cheias: vazão máxima), (KJERFVE, 1997 apud GRAEL, 2015). Esta sazonalidade influencia a capacidade de transporte de resíduos ao longo da estação, em função da precipitação, e por consequência a vazão dos rios.

Ainda segundo Grael (2015), seis afluentes apresentam maior vazão, sendo eles os rios Guapimirim, Iguaçu, Caceribu, Estrela, Meriti e Sarapuí, contribuindo com aproximadamente 85,5% do aporte de águas para a Baía de Guanabara, conforme mostra a Figura 47. Como consequência, tais afluentes transportam também maior quantidade de lixo flutuante.

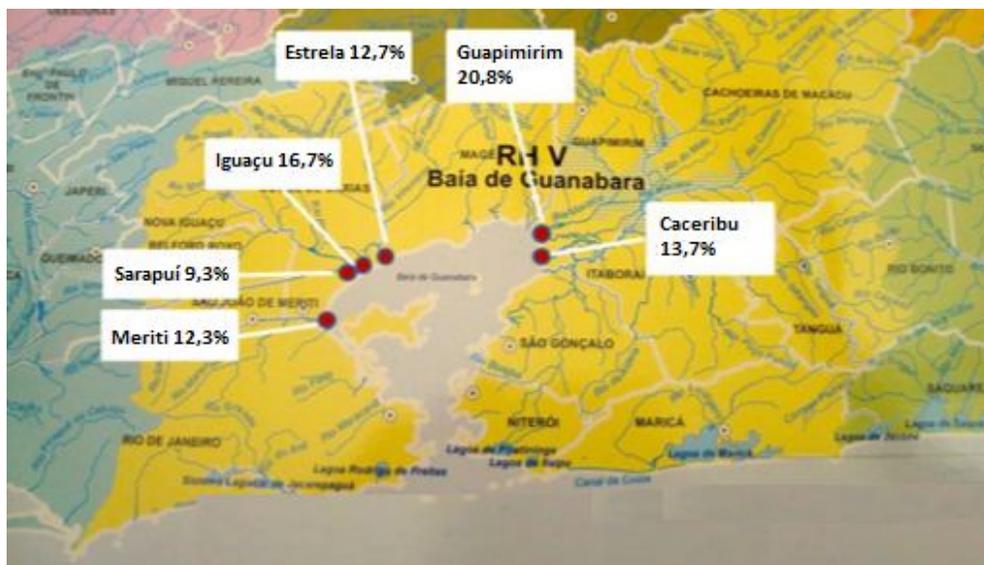


Figura 47 - Afluentes da Baía de Guanabara que apresentam maior vazão d'água.
Fonte: GRAEL, 2015, p. 29.

Após alcançar a Baía de Guanabara, o resíduo sólido ou lixo flutuante não deriva pelo espelho d'água de forma aleatória, mas tende a se acumular em certos pontos. Segundo Grael (2015) sua mobilidade está associada ao peso e tipo de material que é composto, fluatibilidade, origem (de qual rio) e também ao padrão das correntes e ventos, como já mencionado. Calçados, considerados lixo pesado, por exemplo, tendem a ficar retidos próximos à foz dos rios, o que é observado nos rios em São Gonçalo (NETO; FONSECA, 2011 apud GRAEL, 2015).

5.6.1

Padrão de concentração do lixo flutuante

Estrias de lixo

Segundo Grael (2015), a forma de acúmulo dos resíduos na Baía tende a seguir alguns padrões, como as chamadas “estrias de lixo”, que ocorrem nas “trocas de marés” ou linhas de contato entre diferentes correntes superficiais, concentrando o lixo flutuante de forma linear (Figura 48). É uma situação em que o recolhimento do lixo por ecobarcos é mais facilitada, embora as estrias tenham grande dinâmica de deslocamento.



Figura 48 - Exemplo de acúmulo de resíduos flutuantes, formando “estrias de lixo”.

Fonte: GRAEL, 2015, p. 33.

Acúmulo junto às margens

Outro exemplo é o acúmulo e dispersão de resíduos junto às margens da Baía, influenciados principalmente pelo regime de ventos, correntes e marés. Como relata Grael (2015), em áreas de aterro, com a ruptura da linha natural de costa, a concentração do lixo pode ser maior. A Figura 49 mostra o acúmulo de lixo transportado pelas correntes e ventos, na área do aterro do Iate Clube Brasileiro, na Enseada de Jurujuba; enquanto a Figura 50 mostra o lixo acumulado próximo à orla de Gragoatá, em forma de “estria de lixo”, dispersando-se também mediante a ação de correntes e ventos.



Figura 49 (à esquerda) - Concentração de lixo na área do aterro do Iate Clube Brasileiro, na Enseada de Jurujuba, em Niterói; Figura 50 - Concentração de lixo próximo à orla de Gragoatá, em Niterói.

Fonte: GRAEL, 2015, pp. 33-34.

Manchas de lixo

São grandes concentrações de resíduos em um determinado local que surgem normalmente poucas horas ou dias (dependendo do local) após fortes chuvas, como mostra a Figura 51. São ainda mais comuns em situação de chuvas após período de estiagem.



Figura 51 - Mancha de lixo.
Fonte: GRAEL, 2015, p. 34.

Lixo disperso

São concentrações de resíduos, em pequenas ou grandes quantidades, porém dispersas por áreas mais extensas, apresentando, portanto, baixa concentração. É a situação que oferece maior dificuldade e menor produtividade para os ecobarcos (Figura 52).



Figura 52 - Lixo disperso.
Fonte: GRAEL, 2015, p. 35 (Foto: Lourenço Ravazzano).

Este triste cenário de acúmulo de lixo flutuante prejudica as embarcações que trafegam pela Baía. A CCR Barcas, concessionária responsável pelo transporte

hidroviário da Baía, por exemplo, relata gastos anuais no patamar de R\$ 2,3 milhões com danos provocados pelo lixo flutuante, incluindo limpeza, equipes de mergulho, substituição de filtros, pintura, energia e manutenção. Em sua reportagem “Palco de competições olímpicas em 2016, Baía de Guanabara sofre com acúmulo de lixo”, Alencar (2013) destaca que, só no ano de 2012, “as barcas foram levadas 215 vezes ao estaleiro para serem consertadas” (ALENCAR, 2013), sendo que o dano maior causado pelo lixo flutuante é no sistema de refrigeração dos motores das embarcações. A CCR Barcas relata ainda o expressivo volume de resíduos drenado para a Baía principalmente depois das chuvas, acumulando ainda mais lixo. Além do material orgânico descartado, são encontrados também pedaços de geladeiras, redes de pesca, troncos de bananeiras, partes de sofás, velocípedes quebrados, entre outros resíduos descartados de forma inapropriada.

5.6.2

Lixo flutuante capturado pelas ecobarreiras

Ainda segundo dados compilados por Alencar (2013), as 11 ecobarreiras instaladas na foz dos rios em 2012 capturaram 4.246 toneladas de resíduos, 9,9% a menos do que o coletado no ano anterior. Nos anos de 2011 e 2012, foram retirados desses rios 2.878 pneus – uma média de quatro por dia, como mostra o Quadro 1.

Quadro 1 - Estimativas de resíduos coletados na Baía de Guanabara

	Quantitativo
Estimativa da quantidade de resíduos que chega à Baía de Guanabara	80 t/dia (2008)
	100 t/dia (2013)
Estimativa da quantidade de resíduos capturados pelas 11 ecobarreiras	4.714 t (2011)
	4.246 t (2012)
Quantidade de pneus coletados	2.878 (2011+2012)
	Média de 4 por dia

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de ALENCAR, 2013.

Franz (2011) desenvolveu um estudo acerca do acúmulo de resíduos nas ecobarreiras do rio Meriti, do rio Irajá e do Canal Arroio Fundo (Jacarepaguá) entre julho de 2008 e março de 2009. O estudo incluiu um levantamento da composição dos resíduos coletados e, como já era previsto, o plástico apareceu como componente predominante, seguido do papel e da embalagem cartonada. Entre os

plásticos, observou-se grande volume de embalagens de alimentos, seguido de sacos e sacolas. Componentes como metal, isopor, têxtil, fraldas e absorventes apresentaram porcentagens intermediárias, enquanto vidros e outros (calçados, borracha, látex, madeira e cerâmica) foram os de menor representatividade, como pode ser visto na Tabela 8.

Tabela 8 - Médias e desvios-padrão percentuais dos resíduos coletados nas ecobarreiras do rio Meriti, do rio Irajá e do Canal Arroio Fundo (Jacarepaguá) - jul.2008/mar.2009

Resíduos coletados	Rio Meriti		Rio Irajá		Canal Arroio Fundo (Jacarepaguá)		Total Média (%)
	Média (%)	Desvio-padrão (%)	Média (%)	Desvio-padrão (%)	Média (%)	Desvio-padrão (%)	
Plástico							
Embalagens de alimentos	43,5	11,4	30,3	10,3	34,5	19,0	29,4
Sacos e sacolas	12,9	7,1	12,6	10,7	9,6	8,0	11,1
Higiene pessoal	2,8	3,8	7,1	3,5	4,4	3,6	3,6
Materiais de limpeza	0,9	1,3	2,3	2,3	2,8	2,6	2,0
Utensílios de uso geral do lar	9,9	8,0	8,5	7,0	9,2	5,1	8,7
Perigosos	0,0	0,0	0,4	0,8	0,7	2,0	0,5
Papel	6,3	3,9	12,2	9,6	12,9	7,2	9,6
Embalagem cartonada							
Leite	5,7	4,0	6,4	4,2	4,4	2,3	4,8
Outros	1,4	1,5	2,8	3,7	1,2	1,5	2,1
Metal	2,5	2,2	4,6	2,6	4,0	3,0	3,0
Vidro	1,7	2,2	2,0	2,8	0,7	1,3	1,7
Isopor	2,6	3,4	1,2	3,5	7,0	5,5	4,4
Têxtil							
Trapos	2,1	1,7	0,7	1,2	1,0	0,9	1,4
Roupas	1,0	2,3	3,3	6,0	2,8	4,6	3,3
Fraldas e absorventes	3,1	5,7	4,5	4,6	4,7	3,3	4,1
Outros	3,7	4,7	1,1	1,3	0,1	0,4	1,7

Fonte: FRANZ, 2011, p. 89.

A composição dos resíduos sólidos encontrados depende do tipo e seu valor econômico no mercado de reciclagem. Os resíduos de alumínio, por exemplo, que possuem alto valor agregado, são encontrados em pequena quantidade. Quanto aos plásticos, houve um significativo aumento de seu percentual na composição dos resíduos encontrados, porém a matéria orgânica ainda representa a maior parcela entre os componentes, sendo identificadas duas fontes distintas: ambiental (algas, organismos marinhos mortos e partes deles,

etc.) e antropogênica (restos de comida, cascas de amendoim, cascas de coco, etc.) (NEVES; TUCCI, 2008 apud FRANZ, 2011).

Franz (2011) ressalta, porém, que dependendo da metodologia empregada no estudo, pode haver variação do componente encontrado em maior percentual.

[...] nos estudos sobre lixo marinho em praias, em que se aplica a metodologia de quantificação por itens, o plástico tem sido encontrado em maiores porcentagens que os outros componentes. Já nos estudos que visam analisar a composição gravimétrica do lixo doméstico (pela massa de cada componente) e em que a matéria orgânica é considerada uma das categorias, a tendência é encontrar maiores porcentagens dessa categoria (FRANZ, 2011, p. 90).

Quando o lixo doméstico atinge as praias, provavelmente a maior parte da matéria orgânica já se degradou ou não seguiu o mesmo caminho que os plásticos, dada as diferenças de fluabilidade e densidade. Quanto ao lixo flutuante acumulado nas ecobarreiras, ressalta-se que muitas sacolas plásticas contêm matéria orgânica, porém não é possível avaliar se é um componente mais representativo que o plástico.

5.6.3

Lixo flutuante nas margens da baía

Como já analisado anteriormente nesse estudo, os resíduos que se acumulam na Baía de Guanabara são oriundos dos rios de sua bacia e dos padrões de circulação das correntes, ventos e marés. Mas um grave fator contribui para aumentar ainda mais o volume de resíduo flutuante nas suas margens: é o lixo deixado principalmente pelos frequentadores das praias, segundo observação da costa leste da Baía, em Niterói e São Gonçalo (NETO; FONSECA, 2011 apud GRAEL, 2015). Pelas características do material encontrado em praias como Charitas, concluiu-se que uma boa parte do lixo foi gerada pelos próprios usuários da praia e não trazido pelo mar. Neste mesmo estudo, conforme descreve Grael (2015), foram também apresentados dados interessantes sobre a influência da sazonalidade do ciclo meteorológico (inverno/estiagem e verão/chuvas), e conseqüente vazão dos rios influenciando a quantidade de lixo encontrado nas praias da região estudada. O Gráfico 2 mostra a quantidade de resíduos coletados e catalogados entre os anos 1999 e 2008, em algumas das praias de Niterói e São Gonçalo, com destaque para a altíssima quantidade de resíduos encontrados na Praia do Brandoas, onde há prática ilegal e frequente de lançamento de entulho nas margens do rio.

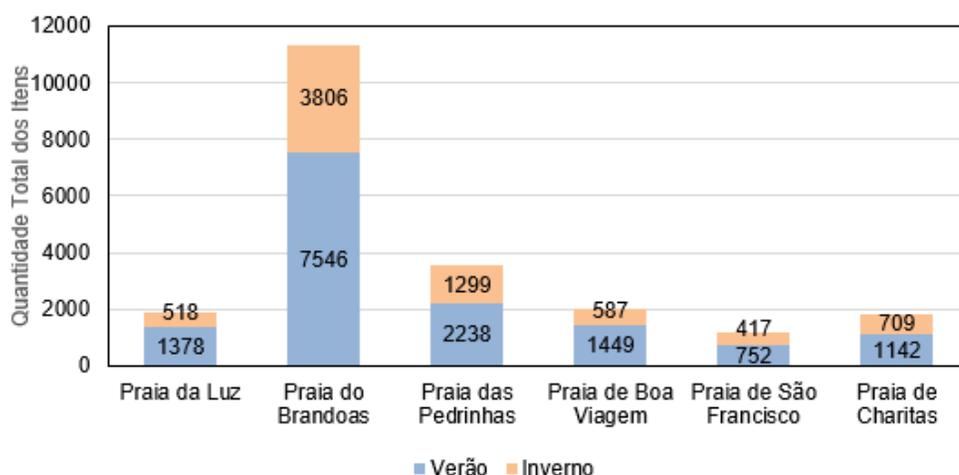


Gráfico 2 - Quantidade de resíduos coletados em praias de Niterói e São Gonçalo, por estação do ano - 1999/2008

Fonte: NETO; FONSECA, 2011 apud GRAEL, 2015, p. 36.

A Tabela 9 classifica os itens coletados nas praias nesse período, revelando a prevalência da quantidade de sacolas plásticas se comparadas com os demais tipos de resíduos. Interessante notar que neste estudo as sacolas plásticas apareceram em primeiro lugar, enquanto que em Franz (2011) elas apareceram em segundo lugar nas ecobarreiras.

Tabela 9 - Quantidade de itens (resíduos coletados) em praias de Niterói e São Gonçalo, por praia e estação do ano, segundo a composição - 1999/2008

Composição dos resíduos	Praia de São Francisco		Praia de Charitas		Praia de Boa Viagem	
	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno
Plásticos (sacolas)	229	145	319	161	531	163
Garrafas e utensílios plásticos	53	20	81	46	178	66
Vidro	72	43	82	61	120	31
Lata	50	18	55	16	84	22
Papel	67	33	83	28	128	45
Isopor	54	21	79	29	127	47
Restos de material de construção	55	55	267	244	100	77
Madeira modificada	87	36	74	44	74	51
Calçado	6	1	7	4	13	14
Lâmpada	5	0	3	1	2	2
Tecidos	28	22	48	29	40	33
Restos de material de pesca	13	6	8	12	13	8
Materiais diversos	33	17	36	34	39	28
Total	752	417	1.142	709	1.449	587

	Praia do Brandoas		Praia das Pedrinhas		Praia da Luz		Total	
	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno
Plásticos (sacolas)	2725	1286	820	471	377	110	5.001	2.336
Garrafas e utensílios plásticos	1304	606	330	229	136	29	2.082	996
Vidro	554	222	182	146	167	83	1.177	586
Lata	331	173	133	76	83	13	736	318
Papel	495	280	112	57	118	23	1.003	466
Isopor	479	284	170	74	139	26	1.048	481
Restos de material de construção	595	364	127	86	131	79	1.275	905
Madeira modificada	238	141	113	76	58	20	644	368
Calçado	151	60	54	17	31	5	262	101
Lâmpada	73	33	33	12	19	6	135	54
Tecidos	226	191	73	10	66	20	481	305
Restos de material de pesca	117	39	42	2	24	4	217	71
Materiais diversos	258	127	49	43	29	19	444	268
Total	7.546	3.806	2.238	1.299	1.378	437	14.505	7.255

Fonte: NETO; FONSECA, 2011 apud GRAEL, 2015, p. 37.

Em termos percentuais em ordem decrescente, podemos ver esse predomínio de forma mais clara (Tabela 10).

Tabela 10 - Proporção dos resíduos coletados em praias de Niterói e São Gonçalo - 1999/2008

Resíduos coletados	Proporção (%)
Plásticos	70,0
Sacolas plásticas	56,5
Outros plásticos (embalagens, canudos, etc.)	14,1
Fragmentos de material de construção ¹	10,0
Vidro	8,1
Isopor	7,0
Papel	6,7
Lata	4,8
Restos de material de pesca	1,3

Fonte: NETO; FONSECA, 2011 apud GRAEL, 2015, p. 37.

¹ Deste total, 67% foi coletado no rio Brandoas.

Neto e Fonseca (2011 apud GRAEL, 2015) ainda mostram que a maior parte dos resíduos tende a se acumular nas praias da orla de São Gonçalo, se comparado com as praias da costa leste da Baía, como mostra a Tabela 11.

Tabela 11 - Percentual de lixo catalogado nas praias de São Gonçalo e Niterói - 1999/2008

Município	Praia	Percentual de lixo catalogado (%)	Total (%)
São Gonçalo	Brandoas	52,0	73,0
	Pedrinhas	16,2	
	Praia da Luz	8,7	
Niterói	Boa Viagem	9,3	27,0
	Charitas	8,4	
	São Francisco	5,3	

Fonte: NETO; FONSECA, 2011 apud GRAEL, 2015, p. 38.

A praia do Brandoas é a que apresenta o maior acúmulo de resíduos, seguida pela praia de Pedrinhas. A praia de São Francisco é que concentra a menor quantidade de lixo flutuante.

Para um melhor entendimento da questão do acúmulo e descarte de lixo de forma indevida na bacia hidrográfica da Baía de Guanabara, precisamos mais uma vez ter uma visão integrada do cenário. Cada município do entorno da Baía tem seu Plano Municipal de Gestão de Resíduos Sólidos do Rio de Janeiro implementado de sua própria forma, integrada ou não com os municípios vizinhos e com o governo estadual. Soma-se a isso a verba que cada município arrecada e destina para o saneamento, como pratica a política habitacional nas margens da Baía, até onde cumpre as exigências da Política Nacional de Resíduos Sólidos, se implementa políticas ambientais e de que forma, dentre outras variáveis. A falta de segurança e violência também são pontos relevantes que por vezes, chegam até a inviabilizar a limpeza urbana em determinados locais. Por isso, precisamos ter um olhar mais sistemático ao analisarmos o descarte e acúmulo de lixo nos municípios e praias aqui citados.

5.7

O Programa de Despoluição da Baía de Guanabara – PDBG

Aprovado pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) em 1993 e tendo como principais fontes financiadoras, o próprio BID e a Japan International Cooperation Agency (JICA), organização japonesa de fomento ao desenvolvimento, o PDBG recebeu US\$ 1,2 bilhão nos últimos 20 anos. Idealizado para melhorar a qualidade das águas da Baía e recuperar seus ecossistemas, tendo como base as diretrizes - saneamento, drenagem, resíduos sólidos, projetos ambientais e mapeamento digital – o Projeto nunca foi concluído, apesar de atravessar sete governos estaduais sem resultados significativos (ALENCAR, 2016).

Foi apenas no final de 1998 que a primeira grande estação de tratamento de esgoto, a de São Gonçalo, foi inaugurada, com capacidade para tratar 750 litros por segundo. Desde então, esta estação foi reinaugurada três vezes e o volume recebido atualmente para tratamento não corresponde nem a metade da sua capacidade. Nas demais oito estações construídas ou reformadas, não foram feitas as redes que conectam as estações às casas, comércios e indústrias. Até hoje, metade da estação de tratamento de esgoto de Alegria, no Cajú, inaugurada em 2001, continua parada aguardando as construções das redes ligando regiões críticas para saneamento como o Complexo da Maré e do Alemão, e a outra metade opera com 39% de sua capacidade. Ainda segundo Alencar (2016), a primeira etapa do PDBG prevista para finalizar em 1999, teve um atraso de sete anos, sendo muito criticado pelos órgãos financiadores. Em 2003, a Assembléia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro criou uma Comissão Parlamentar de Inquérito (CPI) tendo como alvo o PDBG e, algumas conclusões apuradas pela CPI foram, contratos de empresas sem licitação, paralisação de obras inacabadas, atrasos na conclusão de troncos coletores e redes, superfaturamento de mão-de-obra e erros em emissões de notas fiscais.

Mesmo com os resultados insatisfatórios da implantação do PDBG, o governo do Estado do Rio de Janeiro conseguiu, em 2012, novo contrato de financiamento para o Programa de Saneamento dos Municípios do Entorno da Baía de Guanabara (PSAM), cujo valor atualizado soma mais de R\$ 2,26 bilhões. Dessa vez, foram elaborados junto aos municípios do entorno da Baía, os Planos Municipais de Saneamento e Estudos de Planejamento Técnico, tendo sido a maior parte das redes de água e esgoto, detalhada, georreferenciada e disponibilizada ao

público no site da Secretaria de Estado do Ambiente (SEA), e como ressalta Alencar (2016), com atraso de pelo menos 15 anos. Os objetivos propostos pelo novo Programa ainda estão distantes de serem alcançados, tanto em termos de prazo, há de se considerar um período maior que 15 anos, como em termos de investimento, estima-se que ainda são necessários R\$ 12 bilhões para o saneamento, sendo uma das medidas por exemplo, a ligação de um milhão de residências à rede de coleta de esgotos sanitários.

5.8

Síntese do Diagnóstico

Neste capítulo vimos as condições atuais dos rios que desembocam na Baía, a qualidade de suas águas, e consideramos também a densidade populacional, a ocupação urbana e industrial e o histórico do saneamento. Não podemos compreender a contribuição de um determinado afluente para as águas da Baía sem estudar, por exemplo, por onde seu leito passa até desembocar, como a população que vive em seu entorno trata e dispõe seus resíduos e as condições de saneamento encontrado no local. A contribuição individual de cada afluente, com sua vazão e carga poluidora, é apenas uma variável entre outras no quadro maior da questão da poluição da Baía.

O amplo conjunto de informações aqui compiladas nos permite uma melhor visualização dos locais que recebem maior ou menor quantidade de lixo e contaminantes. Entendemos as razões pelas quais os rios que atravessam as costas oeste e noroeste da bacia hidrográfica da Baía, próximos a grande parte da região metropolitana do Rio de Janeiro, são os mais poluídos, enquanto que os rios da costa norte e nordeste, onde ainda existem faixas contínuas remanescentes de manguezais realizando o fundamental trabalho de limpeza e depuração local das águas, são os menores contribuintes para a poluição. Ainda, que a costa leste se apresenta como um contribuinte intermediário dentro deste cenário.

Esta correlação e até mesmo o padrão encontrado entre a densidade populacional de determinada região e a carga poluidora recebida e transportada pelos seus afluentes nos leva a algumas reflexões. Será que o padrão atual de urbanização implica necessariamente na degradação dos afluentes em que está inserido? Temos de “enxergar” essa associação como um desdobramento natural da ocupação urbana? Um ponto relevante que vimos neste capítulo e que norteia essas

reflexões é a insuficiência ou falta de saneamento encontradas nas regiões do entorno da Baía e os impactos que elas causam na saúde da população e no meio ambiente. Em última instância, são os afluentes que recebem toda a carga poluidora, que deveria ser absorvida pelas redes de drenagem e esgoto e então tratada. Apesar de fazer parte da realidade atual, este panorama não deve ser encarado como um desdobramento natural da ocupação urbana. Os afluentes e a Baía não devem continuar a sofrer a degradação a que estão submetidos pela falta de infraestrutura para a população. Fato é que essa questão, como já dissemos, abrange diversas outras variáveis históricas, culturais e econômicas. Mesmo assim, iniciativas precisam ser levadas adiante para transformar o panorama atual. Desta forma, o padrão de urbanização deixaria de ser um fator de impacto negativo e poderia, quem sabe, vir a ser algo positivo, com a população exercendo uma postura mais ativa de preservação de seus recursos naturais.

O panorama exposto neste capítulo e as reflexões feitas no parágrafo acima facilitam nossa compreensão quanto ao Objetivo Geral desta dissertação.

Análises de estudos de autodepuração da Baía também foram consideradas, assim como conceitos e dados sobre o tempo de renovação e tempo de residência de suas águas, nos dando um alerta de que a poluição e a falta de saneamento impactam significativamente a Baía, sendo seu padrão de autodepuração não tão rápido como se pensava. Exemplo disso é a renovação das águas, a depender da localidade da Baía, ocorrer em tempos bem distintos.

Um quadro básico do saneamento da região nos mostrou o que se perde por não se investir, o impacto negativo sobre atividades informais e as oportunidades que a universalização do saneamento pode trazer para ampliar a riqueza das pessoas, das cidades e do estado. Como já ressaltado, saneamento tem um papel fundamental na redução de doenças, melhora a educação, gera riqueza, alavanca o potencial turístico e incrementa o valor das moradias. Um quadro de melhora do saneamento é vislumbrado ao longo dos anos, porém há muito ainda a ser investido nos municípios que compõem a bacia hidrográfica da Baía de Guanabara.

Estudos feitos sobre a categorização do lixo flutuante também são compilados neste capítulo, tanto em 3 ecobarreiras quanto nas praias da costa leste (Niterói e São Gonçalo). Sacolas de plástico e matéria orgânica lideram o *ranking*, sendo os itens encontrados em maior quantidade. A praia de Brandoas surge como a mais poluída.

Um ponto crítico que também representa um grande desafio é a falta de articulação e integração de políticas públicas que envolvem a implantação de Gerenciamento Integrado dos Resíduos Sólidos. A PNRS visa a “articulação entre as diferentes esferas do poder público, e destas com o setor empresarial, com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos” (objetivo VIII). Porém, segundo Franz (2011), a gestão municipal tem se caracterizado por uma visão pontual, setorial, sem desenvolver um planejamento preventivo ao invés de trabalhar com uma visão mosaico, ou uma visão integrada da cidade. A disposição inadequada do lixo urbano está relacionada com o fato de que os municípios não desenvolveram capacidade institucional e econômica para administrar os problemas decorrentes da grande concentração urbana (TUCCI et al., 2001 apud FRANZ, 2011). A PNRS também estabelece que cabe aos Estados “promover a integração da organização, do planejamento e da execução das funções públicas de interesse comum relacionadas à gestão dos resíduos sólidos nas regiões metropolitanas, aglomerações urbanas e microrregiões”.

O desafio é grande. Articular as esferas municipais, estaduais e federal para fazer valer as premissas da PNRS exige um forte e contínuo engajamento e comprometimento. Como exemplos podemos citar o Plano de Gestão de Sustentabilidade do Comitê Organizador Rio 2016 ou o Plano Municipal de Gestão de Resíduos Sólidos do Rio de Janeiro. Sem a articulação destas e demais políticas públicas nas diferentes esferas governamentais, a questão da despoluição da Baía de Guanabara tenderá ao fracasso.

A integração das diversas iniciativas, planos e programas de despoluição da Baía já implantadas e em andamento pelo setor empresarial, universidades e ONG's na Baía de Guanabara também é de fundamental importância para o sucesso dessa empreitada.

Assim, para que sejam empreendidas soluções de saneamento e despoluição na Baía, um mosaico de variáveis precisa ser considerado e estudado de forma interligada. Algumas dessas variáveis seria a compreensão do funcionamento, a importância e a produtividade dos ecossistemas que existiram e que ainda estão presentes no espelho d'água e nas margens da Baía, avaliar o atual grau de degradação ambiental, os riscos de extinção e a possibilidade da degradação não fordetida. Desta forma, os projetos de recuperação precisarão enfatizar a melhoria efetiva desses ecossistemas e a qualidade de suas águas (AMADOR, 2001 apud ROSA; MATTOS, 2010).

6

Análise integrada do acúmulo de lixo flutuante na Baía de Guanabara e de seu entorno a partir de produtos cartográficos

6.1

Análise integrada a partir de mapas

O presente capítulo utiliza ferramentas como modelagem computacional e produtos cartográficos que nos permitem ter uma melhor visualização do que foi exposto nos capítulos anteriores. A partir daí, foi possível realizar análises qualitativas e quantitativas acerca da probabilidade do transporte e acúmulo do lixo flutuante no espelho d'água e da paisagem e ocupação territorial encontradas na faixa marginal de 2 km do entorno da Baía de Guanabara. Tais ferramentas nos ajudaram a identificar e analisar quatro regiões de interesse, para então responder o Objetivo geral dessa dissertação: “Entender como o espaço territorial e a ocupação urbana do entorno da Baía podem impactar a poluição do espelho d'água da Baía e por ela serem impactados, e assim podermos contribuir com programas de despoluição” e também os Objetivos específicos.

Primeiramente é apresentado o mapeamento das regiões de maior probabilidade de acúmulo do lixo flutuante na Baía de Guanabara, realizado pela empresa Prooceano, já citada no Capítulo 4, como resultado de uma modelagem computacional com *hindcast* de 1 ano. Posteriormente, os mapas de uso e ocupação do solo e o de densidade demográfica do entorno da Baía de Guanabara, com enfoque nos 2 km das margens para fora. A partir desses 2 mapas, e utilizando-se técnicas de geoprocessamento, buscou-se a elaboração de um produto síntese. Este produto consolida as informações dos mapas geradores (a partir da adoção de pesos) e é chamado então Mapa de Potencialidade de Impacto. Para cada mapa apresentado, são feitas análises e correlações com dados já expostos em capítulos anteriores. Ao final do capítulo, quatro regiões de interesse são destacadas e uma análise integrada entre os mapas é realizada para cada região (Objetivo específico 1). As quatro regiões destacadas servem para ilustrar e exemplificar o Objetivo específico 2.

A faixa marginal de 2 km foi definida a partir da necessidade de se estabelecer um limite no entorno da Baía de Guanabara para a análise dos mapas, arbitrada

considerando a escala humana, ou seja, é possível percorrê-la a pé em um tempo em torno de 30 a 40 minutos, em linha reta. Para se ter uma escala de comparação, a distância entre dois pontos de ônibus em centros urbanos é, em média, de 250 m.

Os mapas que constam nesse capítulo foram gerados através do programa ArcGIS, que é um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Segundo Rego (2007), SIGs são sistemas que rodam dentro de um ambiente computacional, criando uma realidade virtual do espaço geográfico composta por diferentes camadas temáticas, em que cada uma representa um aspecto desse espaço geográfico. Os SIGs possibilitam armazenar, analisar e manipular dados geográficos, razão pela qual seu uso tem sido largamente difundido.

A metodologia utilizada para a confecção de cada mapa está brevemente explicada ao longo do capítulo de forma a obter um melhor entendimento.

6.2

Modelagem da probabilidade de transporte de resíduos

Com o objetivo de obter um panorama indicativo da probabilidade de acúmulo de resíduos no espelho d'água da Baía de Guanabara, foi executada uma modelagem de transporte de partículas, utilizando-se dados de vento e um modelo hidrodinâmico computacional como forçantes como parte integrante do Plano de Gestão do Serviço de Supervisão dos Ecobarcos (PROOCEANO, 2016). A modelagem foi rodada em modo *hindcast*, ou seja, simulando um período passado, entre novembro de 2014 e novembro de 2015. O mapa gerado desta modelagem e pós-processado no sistema ArcGIS pode ser visto na Figura 53.

Segundo a Prooceano (2016), a modelagem simulou emissões contínuas de lixo flutuante por meio do lançamento virtual de partículas a partir de fontes específicas identificadas na Figura 54. A cada 10 minutos, a modelagem calculava as novas posições das partículas advectadas, ou seja, transportadas, segundo as condições de vento e corrente. Nota-se que as partículas atuam como derivadores, como já mencionado no Capítulo 2. Utilizando os resultados instantâneos das posições ao longo do período total de 1 ano de simulação, foi possível calcular a porcentagem de tempo no qual cada região mantinha a presença das partículas. A partir daí, obteve-se o mapa com as regiões com maior e menor permanência das partículas e, portanto, áreas com maior ou menor probabilidade de presença ou acúmulo de lixo flutuante na Baía de Guanabara.

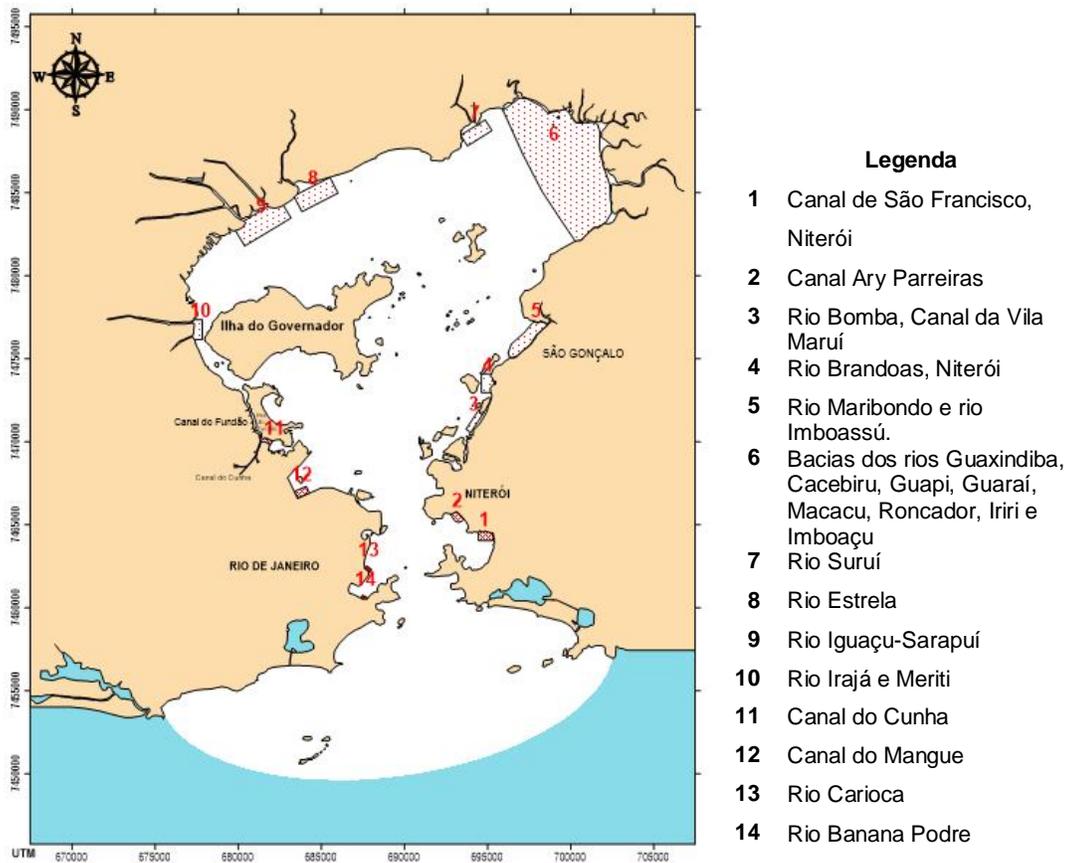


Figura 54 - Fontes de lixo consideradas na modelagem de transporte de lixo flutuante na Baía de Guanabara.

Fonte: PROOCEANO, 2016, p. 9.

Ainda segundo a Prooceano (2016), além das listadas acima, outras fontes de emissão de lixo flutuante não associadas a rios ou canais afluentes foram identificadas durante as observações de campo realizadas como parte do Plano de Gestão do Serviço de Supervisão dos Ecobarcos. Porém, não foram consideradas na modelagem. Tais fontes são associadas ao acúmulo de lixo em encostas, praias e ilhas, que acabam por alcançar o espelho d'água da Baía de acordo com as condições meteoceanográficas, como a maré, vento, chuvas e inclusive ação humana. Exemplos dessas fontes são a encosta adjacente à Fortaleza de Santa Cruz (Jurujuba, Niterói) e ilha de Pombeba (região do Porto do Rio). Como já mencionado no Capítulo 4, este lixo residente ou passivo contribui significativamente no montante do lixo flutuante da Baía.

6.2.1

Análise do mapa

Visualizando o mapa da Figura 53, podemos notar a predominância dos tons de vermelho no espelho d'água da Baía, representando extensas regiões identificadas com alta probabilidade de acúmulo de resíduos. Esta percepção qualitativa é atestada quando fazemos a análise quantitativa a partir da Tabela 12, que mostra o percentual das áreas ocupadas por classe da legenda da modelagem da Figura 53, considerando a classe 1 representando as regiões de “Menor probabilidade” identificada pela cor azul mais escura na legenda do mapa e a classe 12, representando as regiões de “Maior probabilidade” de acúmulo, com o vermelho mais escuro. Nota-se que a classe 12 ocupa a maior área, se comparada com as demais e, em termos percentuais (22,67%), representa quase que o dobro da segunda área mais crítica (classe 11, com 11,39%).

Tabela 12 - Área, absoluta e percentual, das classes da legenda da modelagem de transporte de resíduos

Classes	Área	
	Absoluta (ha)	Percentual (%)
1	2.697,0	6,58
2	2.090,0	5,10
3	1.523,5	3,72
4	1.580,6	3,86
5	2.680,2	6,54
6	2.779,2	6,79
7	3.277,9	8,00
8	2.940,3	7,18
9	3.395,9	8,29
10	4.043,7	9,87
11	4.665,5	11,39
12	9.286,9	22,67
Total	40.960,7	100,00

Fonte: Elaborado por Rafael Nunes, com dados de PROOCEANO, 2016, p. 15.

Se agruparmos as 12 classes que compõem a legenda da modelagem em 4 classes, teremos um entendimento e visualização ainda mais representativos da criticidade da situação atual do acúmulo de resíduos na Baía de Guanabara, conforme mostra o Gráfico 3.

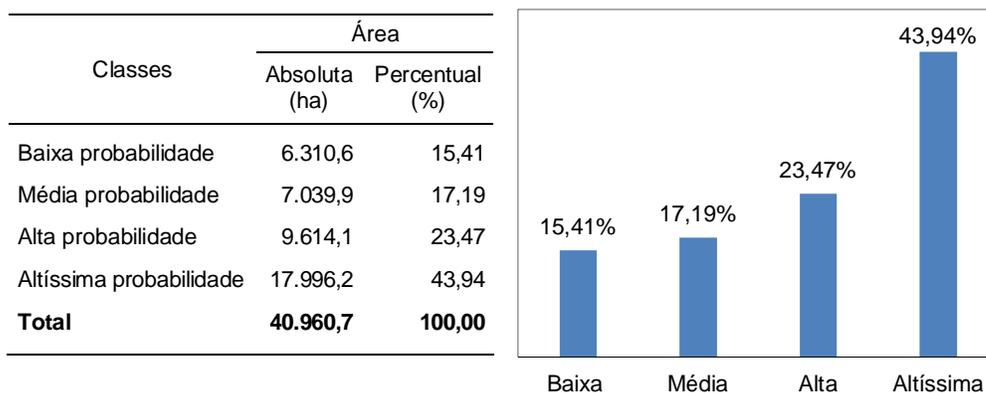


Gráfico 3 - Área, absoluta e percentual, das quatro classes compiladas da legenda da modelagem de transporte de resíduos

As classes “Altíssima probabilidade” e “Alta probabilidade” representam as maiores áreas e percentuais, o que explica a predominância dos tons de vermelho no mapa. O percentual de 43,94%, relativo à classe de “Altíssima probabilidade”,

é maior que as classes “Baixa probabilidade” e “Média probabilidade” somadas, sendo a classe “Baixa probabilidade” a que detém o menor percentual.

A Figura 55 destaca no mapa da modelagem seis regiões pertencentes às classes “Altíssima probabilidade” e “Alta probabilidade”, correlacionando e identificando seus afluentes mais próximos. Algumas razões que justificam a altíssima probabilidade de acúmulo de resíduos são: a proximidade de algumas destas regiões às fontes de emissão de lixo, a pouca profundidade verificada em outras e, ainda, as condições meteoceanográficas somadas à morfologia (forma da linha) de costa que algumas dessas regiões apresentam, favorecendo esse acúmulo.

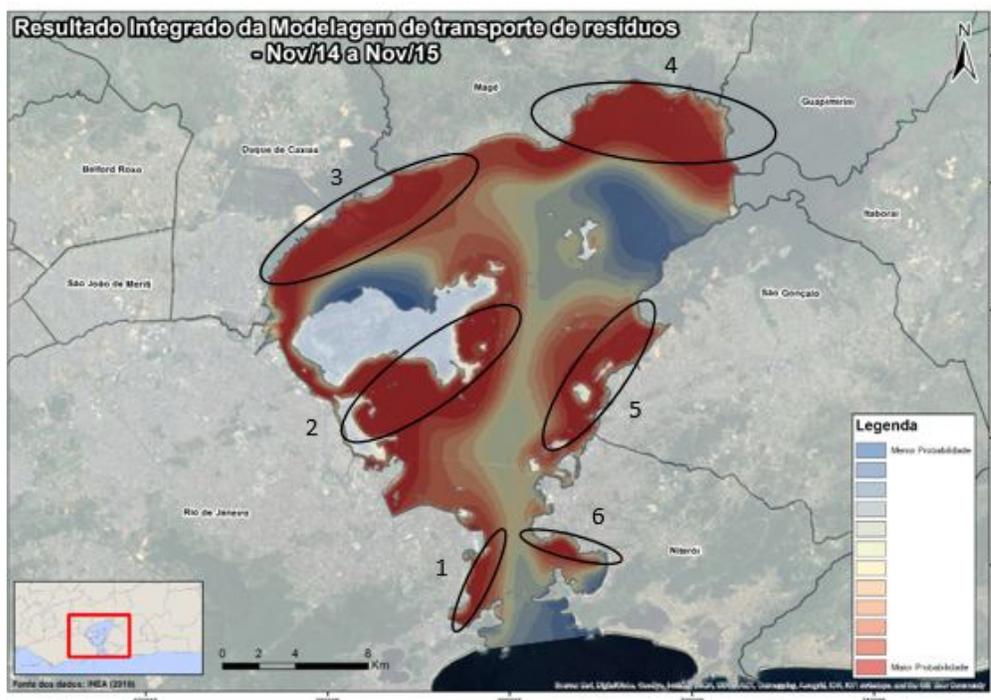


Figura 55 - Resultado integrado de um ano da modelagem de transporte de resíduos com indicação das regiões com maior probabilidade de acúmulo.

Elaborado por: Rafael Nunes, com dados de PROOCEANO, 2016, p. 15. Adaptado pelo autor.

Legenda:

- 1 - Enseada de Botafogo até a Marina da Glória. Afluentes: Rio Carioca e Banana Podre.
- 2 - Leste, sul e oeste da Ilha do Governador. Afluentes: rios Irajá e Meriti, Canal do Cunha e do Mangue.
- 3 - Noroeste da Baía, às margens de Duque de Caxias. Afluentes: Rios Estrela e Iguaçú-Sarapuí.
- 4 - Nordeste da Baía, às margens de Magé. Bacias dos rios Guaxindiba, Cacebirú, Guapi, Guarai, Macacu, Roncador, Iriri e Imboaçú e rio Suruí.
- 5 - Sul da Praia da Luz (São Gonçalo) até o norte da Ilha de Santa Cruz (Niterói). Afluentes: rios Bomba, Brandoas, Maribondo e Imboassú e Canal da Vila Maruí.
- 6 - Praias de Icaraí e São Francisco (Niterói). Afluentes: Canal de São Francisco e Ary Parreiras.

As regiões que apresentam probabilidade média do acúmulo de resíduos somam 17,2% do espelho d'água da Baía, segundo o Gráfico 3, e tendem a se concentrar na faixa do canal central e também entre as regiões de “Alta probabilidade” e “Baixa probabilidade”, funcionando como zonas de transição. A probabilidade média de acúmulo de resíduos no canal central pode ser atribuída à maior profundidade verificada e, portanto, hidrodinâmica de alta energia, propiciando a dispersão dos resíduos com maior velocidade.

Já as regiões que apresentaram menor probabilidade de acúmulo de lixo representam a menor área somada, 15% do espelho d'água da Baía, sendo a menor classe representada. Tais regiões, visualizadas pelos tons de azul no mapa, estão:

- A noroeste da Ilha do Governador, onde se localiza o Aeroporto Antônio Carlos Jobim;
- Entre a margem norte de São Gonçalo e a ilha de Paquetá; e
- Ao sul da Fortaleza de Santa Cruz, já na saída da Baía, fato explicado provavelmente pela alta hidrodinâmica verificada no local.

Podemos observar que as análises acima realizadas apontam para uma situação crítica, já debatida por décadas pela sociedade, instituições de pesquisa e ensino e órgãos governamentais. Porém, com a proximidade dos Jogos Olímpicos de 2016, a problemática da poluição da Baía de Guanabara voltou a ser foco de atenção e ações. A modelagem apresentada nesta seção tem como objetivo colaborar com o tema, trazendo relevantes informações e dados da hidrodinâmica da Baía e também do comportamento dos resíduos. As análises qualitativas e quantitativas aqui apresentadas não esgotam as possibilidades de compilação de informações, sendo válidas não só para o presente estudo como também para futuras pesquisas.

6.2.2

Validação e limitações da modelagem

A modelagem foi então comparada com as observações de campo executadas pelos ecobarcos do Plano de Gestão, e se verificou uma correlação satisfatória entre a modelagem e a quantidade de lixo coletada por base operacional, obtendo assim uma validação para os propósitos do Plano de Gestão e do presente estudo. Cabe mencionar que a comparação foi feita apenas nas regiões de alcance e atuação dos ecobarcos, onde as observações de campo são realizadas.

Segundo a Prooceano (2016), além de não se considerar as fontes lixo residente ou passivo, outros dois fatores representaram limitações de informação das condições iniciais para a modelagem: a necessidade de melhor calibração das fontes de lixo e a necessidade de uma aferição sistemática e quantitativa dos resultados do modelo. Na simulação foram consideradas emissões contínuas das fontes, ou seja, um estudo de pior caso. Assim, as variações na operação das ecobarreiras e do manejo operacional das comportas dos canais de macrodrenagem não foram consideradas.

- Nos rios e canais com ecobarreiras, o lançamento de lixo ocorre de maneira intermitente em situações de falhas na contenção por excesso de lixo ou grandes descargas fluviais.
- No caso dos canais de macrodrenagem, o lançamento de lixo também não ocorre de maneira contínua, pois existem mecanismos de comportas e captações em tempo seco combinados com os sistemas de esgotamento sanitário que impedem que estes afluentes cheguem à Baía de Guanabara, sobretudo em dias de baixa precipitação. Em geral, a quantidade de lixo afluente à baía é diretamente proporcional ao volume de precipitação na região. Conseqüentemente, o carreamento do lixo não coletado das áreas urbanas segue para a rede drenagem, que alcança, em última instância, o espelho d'água Baía de Guanabara.

Uma forma de mitigar tal limitação e alcançar uma melhor calibração das fontes de lixo seria a atualização diária de tais variações, utilizadas como dado de entrada para o modelo. Isto vem sendo feito de maneira indireta e muito pouco quantitativa nas modelagens operacionais em modo *forecast* (que lida com previsões) do Plano de Gestão, pela observação da ocorrência de chuvas, observação da vistoria diária de campo, relatos das equipes dos ecobarcos e dos resultados de coleta de lixo, porém ainda não no modo *hindcast*.

Importante ressaltar que, devido às limitações da modelagem explicadas acima, foi verificado que as regiões 1 e 6, da Figura 55, estão superestimadas quanto à alta probabilidade de acúmulo de lixo e a região 5, subestimada.

A modelagem não levou em conta eventos climatológicos raros e extremos, como a incidência de ressacas de grande magnitude na Baía de Guanabara.

6.2.3

Dados atmosféricos e modelagem hidrodinâmica

A modelagem de transporte de lixo flutuante em questão foi forçada por dados de vento e de um modelo numérico de correntes da Baía. Os dados de vento considerados foram obtidos das estações meteorológicas dos aeroportos Santos Dumont e Antônio Carlos Jobim.

Conforme relata a Prooceano (2016), o modelo hidrodinâmico implementado, o SisBAHIA®, foi o mesmo utilizado Plano de Gestão do Serviço de Supervisão dos Ecobarcos, mencionado no Capítulo 4. Este modelo, desenvolvido pela COPPE, possui vários módulos, não só o hidrodinâmico, mas também de transporte euleriano e lagrangiano de qualidade de água e eutrofização, de campo próximo para emissários e fontes pontuais, entre outros. Na modelagem aqui apresentada, foi utilizado o módulo 3D analítico-numérico do modelo hidrodinâmico Filtered in Space and Time (FIST), com batimetria de alta resolução espacial digitalizada a partir de cartas náuticas da Diretoria e Navegação da Marinha do Brasil (DHN).

[...] uma grade bidimensional é discretizada verticalmente em 10 camadas via diferenças finitas com transformação sigma. A discretização temporal é realizada através de um esquema implícito de diferenças finitas, com erro de truncamento de segunda ordem... A discretização horizontal do modelo utiliza discretização espacial via elementos finitos, permitindo grande eficiência na representação de ambientes costeiros e estuarinos com elevada complexidade morfológica. As variáveis hidrodinâmicas são calculadas a cada 25 segundos em 6.651 pontos de cálculo ao longo de toda a Baía de Guanabara (PROOCEANO, 2016, p. 3).

O modelo hidrodinâmico do SisBAHIA® foi forçado por maré astronômica prevista com 26 constantes harmônicas e foram utilizados os dados de vento gerados pelas estações meteorológicas já citadas. Ele foi calibrado iterativamente com 1 mês de dado de elevação da Ilha Fiscal, apresentando índice de correlação linear de 0,95 e erro médio absoluto de 0,077.

6.3

Mapa de uso e cobertura do solo do entorno da Baía de Guanabara

De forma a identificar os tipos de uso, ocupação do solo e a cobertura vegetal do entorno da Baía de Guanabara, foi gerado o mapa da Figura 56, a partir da Base

Temática do Portal do INEA³⁰, que mostra a localização de cada classe dentro de uma faixa de 2 km a partir das margens da Baía. O foco da análise deste e do próximo mapa é direcionado para a linha de costa da Baía e seu entorno imediato, razão da delimitação da faixa marginal. E para que fosse gerado o mapa de potencialidade de impacto a partir dos mapas de uso e cobertura e o de densidade demográfica, as classes identificadas nas legendas das figuras, receberam, pesos de 1 a 5, sendo 1 para menos relevante e 5 para mais relevante, como pode ser visto na Tabela 13. Os critérios utilizados para definição dos pesos basearam-se:

- No impacto ambiental, positivo ou negativo exercido pela classe ao seu entorno ou vice-versa;
- Na maior ou menor sensibilidade da classe quanto à degradação ambiental;
- Nas classes consideradas como áreas de proteção ambiental (por exemplo: áreas de mangue e florestas); e
- Nos serviços ambientais que as classes prestam ao seu entorno.

Segundo o Portal do Senado Federal³¹, entende-se por serviços ambientais “um conjunto de processos naturais dos ecossistemas capazes de assegurar a ocorrência da vida no planeta e as condições para as atividades produtivas”, incluindo-se aí, exemplos como:

- A capacidade dos ecossistemas de prover bens como água, frutas, madeira, pescados, matéria prima para geração de energia, etc.;
- A capacidade das florestas de absorver carbono;
- Formação de solos, ciclagem de nutrientes e controle de erosão;
- Controle de enchentes, purificação e regulação dos ciclos d'água;
- Benefícios recreativos e educacionais propiciados pelos ecossistemas; e
- Polinização e dispersão de sementes.

³⁰ Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/Portal/MegaDropDown/EstudosePublicacoes/Publicaes/EstadoAmbiente/index.htm&lang=PT-BR>>.

³¹ Disponível em: <http://www12.senado.gov.br/codigoflorestal/infograficos/servicos-ambientais>.

Cabe ressaltar que não tivemos intuito de fazer qualquer tipo de juízo de valor quanto à importância de cada classe, ou de privilegiar algumas em detrimento de outras, mas sim fazer uma análise dentro do contexto deste estudo. Análises e conjecturas acerca dos pesos atribuídos podem, inclusive, ser objeto de futuras investigações e estudos.

Tabela 13 - Peso das classes identificadas na legenda da Figura 56

Classes	Peso
Afloramento rochoso	1
Agricultura	3
Água	5
Áreas úmidas	4
Comunidade relíquia	1
Cordões arenosos	5
Floresta	5
Mangue	5
Ocupação urbana de alta densidade	5
Ocupação urbana de média densidade	3
Ocupação urbana de baixa densidade	1
Pastagem	2
Pastagem em várzea	2
Reflorestamento	5
Solo exposto	1
Vegetação secundária em estágio inicial	5

Fonte: Elaborado pelo autor.

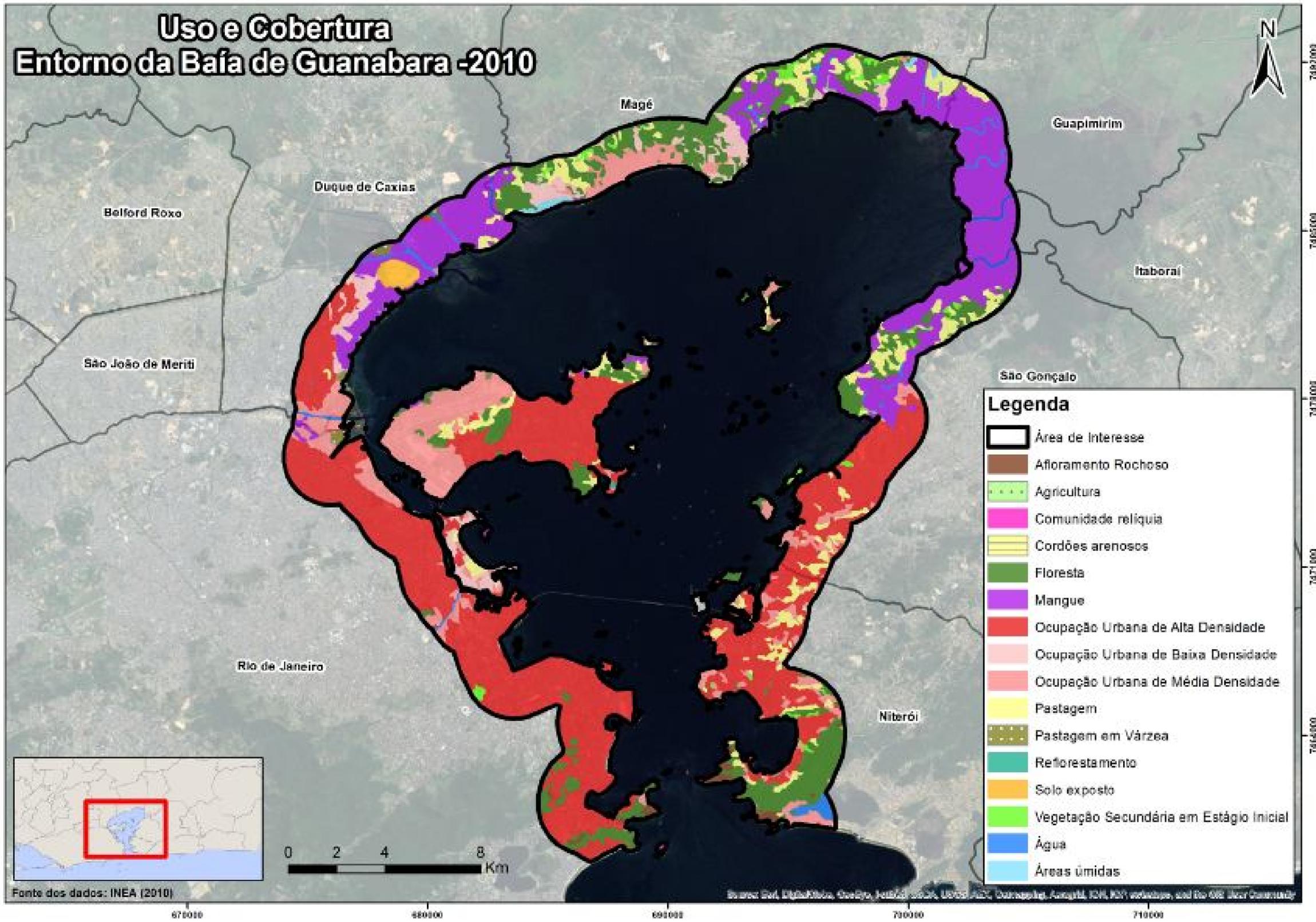


Figura 56 - Mapa do uso e cobertura do entorno da Baía de Guanabara. Fonte: INEA, 2010.

6.3.1

Análise do mapa

Fazendo uma breve associação de algumas regiões do mapa com o que já foi exposto em capítulos anteriores, podemos notar a predominância de mangues nas áreas noroeste e nordeste da Baía, prestando significativo serviço ambiental de depuração das águas da Baía. Podemos notar também ocupação de alta densidade habitacional nas costas oeste e leste da Baía, assim como grande parte da Ilha do Governador, causando significativo impacto na qualidade das águas próximas ao seu entorno. Aqui podemos notar como uma classe pode beneficiar o meio ambiente, ou também impactá-lo negativamente.

A Tabela 14 nos ajuda a analisar em termos quantitativos a ocupação territorial de cada classe, dentro da faixa marginal. Nota-se que a classe “Ocupação urbana de alta densidade” ocupa a maior área no mapa, representando 39% de ocupação, e que a classe que se destaca em segundo lugar, “Mangue”, ocupa pouco menos da metade dessa área.

Das oito classes que receberam pesos 4 e 5, cinco têm percentuais de ocupação abaixo de 2%, a saber: Cordões arenosos, Reflorestamento, Vegetação secundária em estágio inicial, Água e Áreas úmidas. Uma reflexão que podemos fazer é que classes denominadas de alta relevância, segundo os pesos atribuídos, e que prestam serviços ambientais de grande valia, que podem impactar positivamente seu entorno e apresentar maior sensibilidade à degradação ambiental, ocupam áreas bem reduzidas no entorno da Baía de Guanabara. Somadas, representam, pouco mais de 3% da área total da faixa marginal de 2 km.

Tabela 14 - Área, absoluta e percentual, das classes identificadas na legenda da Figura 56

Classes	Área	
	Absoluta (ha)	Percentual (%)
Afloramento rochoso	197,5	0,75
Agricultura	7,6	0,03
Água (Peso – 5)	371,3	1,40
Áreas úmidas (Peso – 4)	69,7	0,26
Comunidade relíquia	8,7	0,03
Cordões arenosos (Peso – 5)	47,6	0,18
Floresta (Peso – 5)	3.667,2	13,85
Mangue (Peso – 5)	5.008,4	18,91

Tabela 14 - Área, absoluta e percentual, das classes identificadas na legenda da Figura 56

Classes	Área	
	Absoluta (ha)	Percentual (%)
Ocupação urbana de alta densidade (Peso – 5)	10.376,6	39,18
Ocupação urbana de baixa densidade	958,3	3,62
Ocupação urbana de média densidade	3.229,4	12,19
Pastagem	1.956,0	7,39
Pastagem em várzea	100,2	0,38
Reflorestamento (Peso – 5)	5,9	0,02
Solo exposto	165,4	0,62
Vegetação secundária em estágio inicial (Peso – 5)	311,6	1,18
Total	26.481,4	100,00

Fonte: INEA, 2010.

6.4

Mapa da densidade populacional do entorno da Baía de Guanabara

Na seção anterior analisamos as classes de uso e ocupação do solo do entorno da Baía, assim como a cobertura vegetal, sob o foco ambiental e habitacional. Nesta seção, faremos uma análise com foco na densidade demográfica dentro da mesma faixa e usaremos o mesmo critério de prover pesos para as classes do mapa.

O intuito desta análise é identificar no mapa as áreas de maior densidade populacional, ou seja, as áreas com maior número de pessoas em determinada porção do território. Os critérios que utilizamos para a definição dos pesos basearam-se:

- No impacto ambiental exercido pela classe ao seu entorno, como a produção de lixo *per capita* e a demanda por infraestrutura de redes de drenagem, água e esgoto; e
- No interesse em estudar a ocupação territorial na faixa marginal estabelecida.

As classes identificadas na legenda da figura abaixo também receberam pesos de 1 a 5, sendo 1 para regiões de menor densidade populacional e 5 para regiões mais populosas. Os pesos dados para cada classe podem ser vistos na Tabela 15.

Tabela 15 - Peso das classes identificadas na legenda da Figura 57

Classes	Peso
Até 25 hab./ha	1
De 25 a 50 hab./ha	2
De 50 a 100 hab./ha	3
De 100 a 500 hab./ha	4
Acima de 500 hab./ha	5

6.4.1

Análise do mapa

Fazendo uma breve associação de algumas regiões do mapa com o que já foi exposto anteriormente, podemos ver que as áreas de maior concentração populacional se localizam nas costas oeste e leste, correspondendo às regiões metropolitanas das cidades do Rio de Janeiro, Niterói e São Gonçalo. Destaque também para a parte leste da Ilha do Governador. Já as regiões marginais norte e noroeste da Baía e a margem sul de Niterói apresentam os menores índices de densidade populacional do entorno da Baía dentro da faixa do estudo.

Como já mencionado, o mapa de uso e cobertura, apresentado na seção anterior, o mapa de densidade populacional, mostrado na Figura 57, e os pesos das respectivas classes, mostrados na Tabela 15, servirão de dados de entrada para a geração do mapa de potencialidade de impacto a ser apresentado na próxima seção.

A base de dados utilizada para gerar o mapa abaixo foi o Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2015).

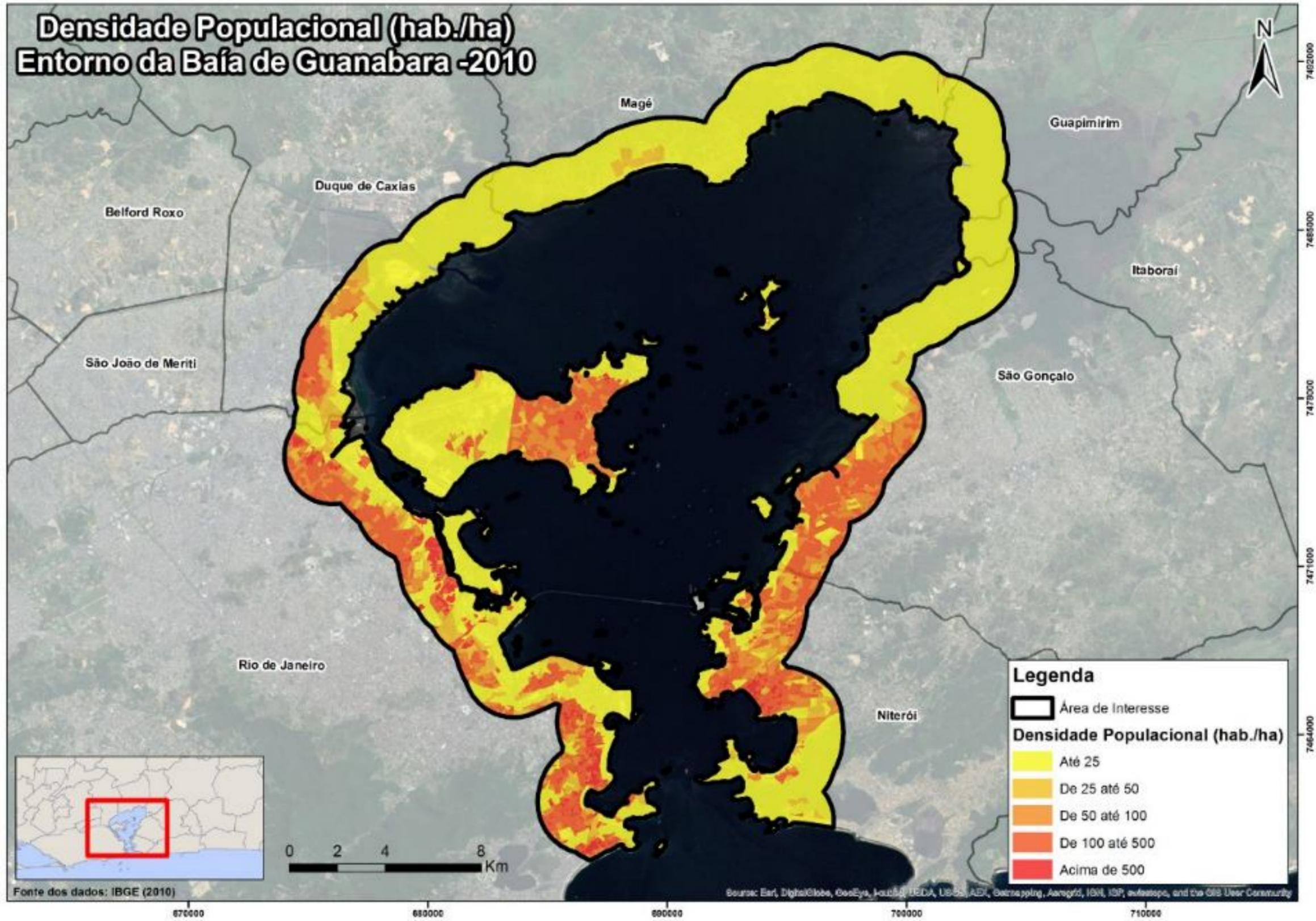


Figura 57 - Mapa de densidade populacional do entorno da Baía de Guanabara.
Fonte: IBGE, 2010.

6.5

Mapa de potencialidade de impacto do entorno da Baía de Guanabara

O mapa de potencialidade de impacto foi gerado como produto final do cruzamento dos mapas anteriormente citados, de uso e cobertura do solo e o de densidade populacional. Como já mencionado na introdução deste capítulo, os SIGs permitem o armazenamento, análise e manipulação de dados espaciais, sendo possível cruzar variáveis diferentes (classes) com a participação diferenciada de cada uma delas (pesos).

As camadas de informações (classes e pesos) dos mapas de uso e cobertura do solo e de densidade populacional foram convertidas do ambiente vetorial para o ambiente matricial, como exemplifica a Figura 58.

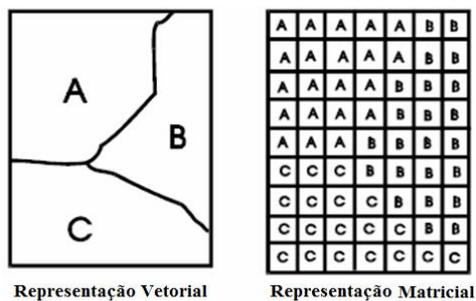


Figura 58 - Representações vetorial e matricial de um mapa temático.

Fonte: Divisão de Processamento de Imagens – Inpe (site)³².

Segundo Rego (2007), o modelo matricial é a representação de um atributo do espaço geográfico em unidades chamadas *pixel*, que detém uma resolução espacial e somente um tipo de informação. Este ambiente permite o desenvolvimento de modelos baseados na integração de diferentes tipos de informações. Já no modelo vetorial, permite-se a espacialização de diferentes tipos de objetos que se agregam em diferentes camadas de informação.

Desta maneira, tendo-se os dados em ambiente vetorial, tornou-se necessário inicialmente convertê-las para o ambiente matricial, já que este último contribui para a aplicação de algoritmos e cruzamentos a partir da homogeneização da unidade espacial (pixel). A partir deste momento, cada matriz foi então convertida para os pesos dados para cada classe (de 1 a 5) e, por meio de operação algébrica de soma, foi gerada uma nova camada que sintetiza as duas matrizes anteriores. O resultado então é convertido para o ambiente vetorial e integrado à espacialização dos objetos, gerando o mapa integrado que aqui chamamos mapa de potencialidade (Figura 59).

³² Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html>.

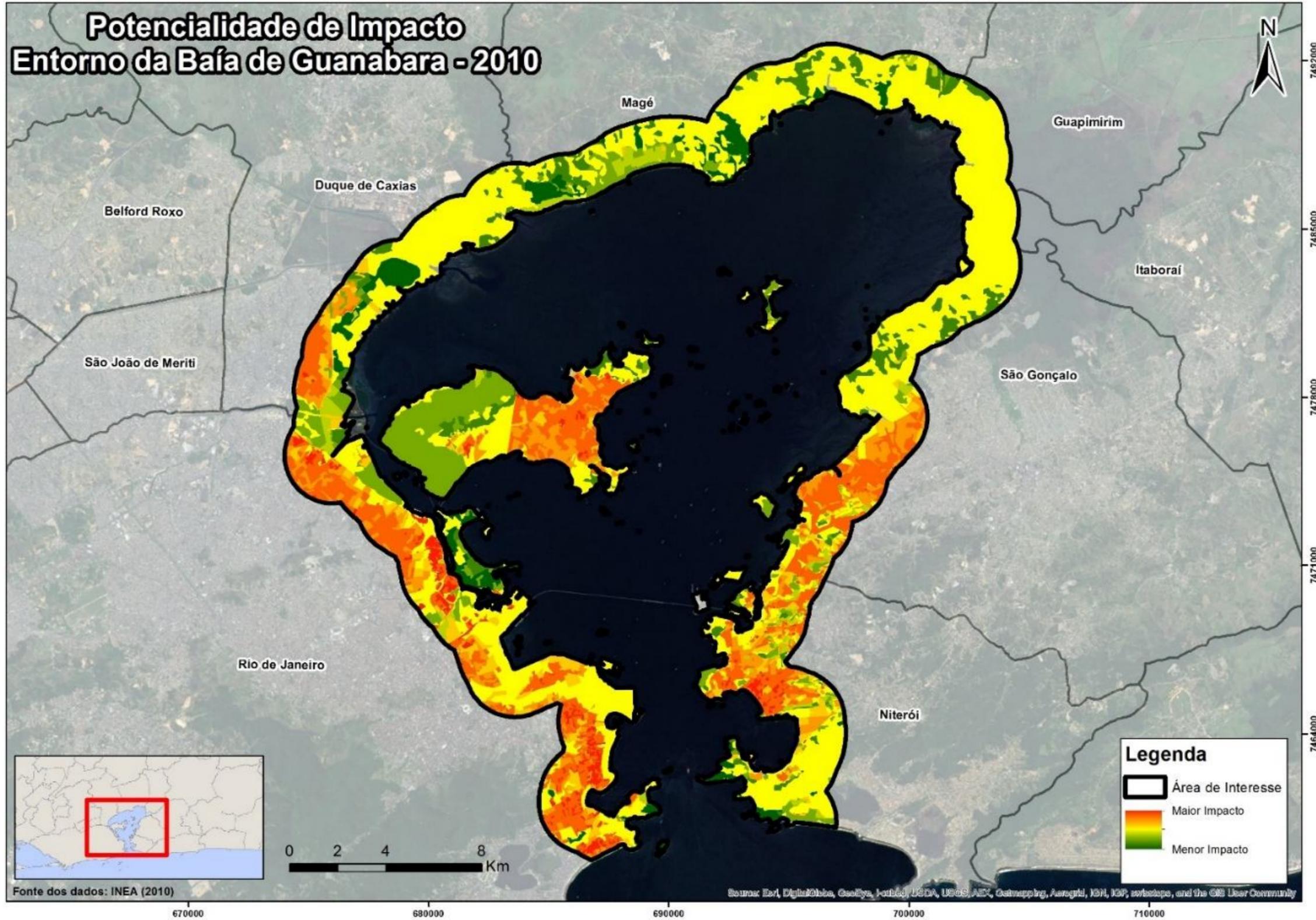


Figura 59 - Mapa de potencialidade de impacto do entorno da Baía de Guanabara. Fonte: INEA, 2010

6.5.1

Análise do mapa

Observando o mapa nas regiões identificadas com “Maior impacto”, representadas pelos tons de vermelho, e comparando com os dois mapas que o geraram, podemos notar que as regiões com alta densidade demográfica e ocupação urbana de alta densidade foram as que se destacaram. Por isso, representam as áreas consideradas de maior potencialidade de impacto, na faixa marginal selecionada, no entorno da Baía de Guanabara. Se traçarmos uma linha horizontal na metade do mapa, podemos notar que há predominância destas áreas na metade inferior. Uma das razões é a baixa densidade populacional na parte superior do mapa observada na Figura 57. Como o mapa de potencialidade de impacto é gerado também a partir do mapa de densidade populacional, as regiões que apresentam maior potencialidade de impacto “carregam” alta densidade populacional com regiões de alta sensibilidade ambiental como mostra a Figura 56.

Da mesma forma, as regiões com classes de alta sensibilidade ambiental, que obtiveram peso 5 no mapa de uso e ocupação do solo, não foram destacadas no mapa de potencialidade de impacto, pela sua baixa densidade demográfica, comprovada no mapa de densidade populacional. Como exemplos, podemos citar as regiões onde encontramos mangues, florestas, reflorestamento, vegetação secundária em estágio inicial, água e cordões arenosos.

Outros exemplos que se destacam nesse mapa, é o “menor impacto” verificado à oeste da Ilha do Governador e na Ilha do Fundão, fato explicado pela baixa densidade populacional residente nestas localidades.

Diversas análises podem ser desdobradas a partir deste mapa, pois ele sintetiza dados que podem ser usados em diferentes temas de pesquisa.

Este mapa é um bom guia de como as margens e o entorno da Baía impactam seu espelho d’água e como pode ser impactado pelo transporte e acúmulo de lixo pontuado no mapa da Figura 53.

Por fim, como o mapa da Figura 55 identifica seis regiões de maior probabilidade de acúmulo de resíduos nas águas da Baía, voltaremos a ele como referência das *regiões de interesse* pontuadas na seção seguinte. Os demais mapas também serão observados, de forma a embasar as análises que faremos a seguir.

6.6 Regiões de interesse

Esta seção visa ilustrar e exemplificar o Objetivo específico 2, destacando quatro regiões de interesse incluindo o espelho d'água da Baía de Guanabara e as margens, correlacionando as informações geradas neste capítulo e realizando, para cada região, uma análise integrada entre os mapas apresentados. Tais regiões foram escolhidas por abrigarem APAs (Área de Proteção Ambiental), classes de uso e ocupação relevantes como mangues e florestas, ocupação urbana de alta densidade como o Complexo da Maré, a proximidade das raias de competição de vela dos Jogos Olímpicos 2016 e também por abrigar as obras referentes à Operação Urbana Porto Maravilha. Os casos que analisamos a seguir encontram-se destacados na Figura 60.

Região A: Corresponde à Região 4 destacada na Figura 55. Conforme a Figura 60, esta região se situa a nordeste da Baía, chega às margens de Itaboraí, Guapimirim e leste de Magé.

Quadro 2 - Resumo das classes da Região A, segundo os mapas temáticos

Mapa	Classe
Modelagem transporte de resíduos (Figura 53)	Altíssima e alta probabilidade de acúmulo de resíduos
Uso e cobertura do solo (Figura 56)	Mangue, manchas de floresta, pastagem, vegetação secundária em estágio inicial, ocupação urbana de baixa densidade e água.
Densidade populacional (Figura 57)	Baixa densidade
Potencialidade de impacto (Figura 59)	Médio impacto com pontos de baixo impacto

Fonte: Elaborado pelo autor.

A baixa densidade demográfica verificada nessa região é atribuída aos tipos de classes de uso e ocupação de solo ali encontradas, fazendo com que a região apresente médio a baixo impacto no mapa de potencialidade de impacto. A modelagem de transporte de resíduos, porém, aponta para uma altíssima e alta probabilidade de acumular resíduos nesta região, o que pode acarretar relevantes impactos ambientais, dada a alta sensibilidade ambiental das classes predominantes do uso e cobertura do solo da sua faixa marginal, como: mangue, à direita da região, e manchas de floresta, pastagem, vegetação secundária em estágio inicial, ocupação urbana de baixa densidade e água, à esquerda da região. Nesta região se localiza a Área de Proteção Ambiental (APA) de Guapimirim e Estação Ecológica da Guanabara, com seus mangues e florestas. Algumas razões para esse cenário crítico podem ser a concentração de vários afluentes desembocando nesta região (Bacias dos rios Guaxindiba, Cacebiru, Guapi, Guaráí, Macacu, Roncador, Iriri, Imboçu e Suruí), como mostra a Figura 54, os aspectos hidrodinâmicos e sua própria morfologia da linha de costa, que funciona como “fundo da Baía”, o que pode facilitar o acúmulo de resíduos.

A Região A é um exemplo de alta criticidade e alta priorização para tomada de ação.

Região B: Conforme mostra a Figura 60, esta região se situa entre a margem norte de São Gonçalo e a ilha de Paquetá.

Quadro 3 - Resumo das classes da Região B, segundo os mapas temáticos

Mapa	Classe
Modelagem transporte de resíduos (Figura 53)	Predominância de baixa probabilidade de acúmulo de resíduos com regiões de média probabilidade
Uso e cobertura do solo (Figura 56)	Mangue, manchas de floresta, pastagem, vegetação secundária em estágio inicial.
Densidade populacional (Figura 57)	Baixa densidade
Potencialidade de impacto (Figura 59)	Médio impacto com pontos de baixo impacto

Fonte: Elaborado pelo autor.

Este caso é muito parecido com o anterior, com a diferença de que nesta região encontramos a predominância de baixa probabilidade de acúmulo de resíduos com regiões de média probabilidade. Este fato é fundamental e de grande relevância, dadas as classes encontradas na faixa marginal e citadas no quadro acima: mangue, manchas de floresta, pastagem e vegetação secundária em estágio inicial. Este seria o caso ideal almejado para toda a Baía de Guanabara, em termos de baixa probabilidade de acúmulo de resíduos e preservação e de classes de uso e ocupação do solo de alta sensibilidade ambiental. Algumas razões deste cenário positivo podem ser a distância ou até mesmo ausência de afluentes desembocando nesta região, como mostra a Figura 54, somados aos aspectos hidrodinâmicos favoráveis. A existência da Região B mostra que ainda podemos encontrar exemplos positivos na realidade atual da Baía.

Região C: Corresponde à Região 2 destacada na Figura 55. Conforme mostra a Figura 60, esta região engloba as porções leste, sul e oeste da Ilha do Governador, a Cidade Universitária e ainda os bairros da Penha, Penha Circular, Ramos e o Complexo da Maré.

Quadro 4 - Resumo das classes da Região C, segundo os mapas temáticos

Mapa	Classe
Modelagem transporte de resíduos (Figura 53)	Predominância de altíssima probabilidade de acúmulo de resíduos com regiões de alta/média probabilidade nas margens
Uso e cobertura do solo (Figura 56)	Predominância de ocupação urbana de alta e média densidade, manchas de floresta e pastagem
Densidade populacional (Figura 57)	Engloba todas as classes do mapa de densidade populacional
Potencialidade de impacto (Figura 59)	Predominância de alto impacto com regiões de médio e baixo impacto

Fonte: Elaborado pelo autor.

Este caso inclui as classes mais críticas de cada mapa. As regiões de baixo impacto visualizadas no mapa de potencialidade de impacto têm relação direta com a baixa densidade populacional, por não haver população residente. Destacam-se:

- A parte oeste da Ilha do Governador, onde se localiza o Aeroporto Internacional Tom Jobim;
- As margens dos bairros Penha e Penha Circular, região entre a avenida Brasil e as margens da Baía; e
- A Cidade Universitária da UFRJ.

O mapa de uso e ocupação do solo mostra a predominância de ocupação urbana de alta e média densidade, manchas de floresta e pastagem, sendo estas duas últimas encontradas em regiões da Ilha do Governador.

O mapa de modelagem de transporte de resíduos mostra a predominância de regiões no espelho d'água de altíssima probabilidade de acúmulo de resíduos com regiões de alta/média probabilidade nas margens. Além do acúmulo de lixo flutuante, tais regiões englobadas na Região C também estão sujeitas à qualidade de água “muito ruim”, como vimos no Capítulo 5 desse estudo. Os afluentes da parte oeste da Baía passam por áreas densamente povoadas – zonas norte e oeste do município do Rio de Janeiro e parcela importante da Baixada Fluminense – antes de chegar ao espelho d'água da Baía, carreando elevada quantidade de esgotos não tratados. Além disso, como já mencionamos, algumas das estações de amostragem

monitoradas pelo INEA nas regiões da costa oeste da Baía avaliaram também a presença e volume de coliformes fecais muito superiores ao desejado, quando comparados ao limite estabelecido pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.

Isto denota uma influência ou impacto ambiental de mão dupla. Regiões com alta densidade demográfica podem impactam consideravelmente o solo em que ocupam e seu entorno, seja pelo lixo gerado e descartado, seja pela rede de drenagem, esgoto e água, a depender da existência e qualidade da infraestrutura estabelecida na região. Na outra mão, vemos que a população residente nos adensamentos populacionais da Região C tem acesso à Baía de Guanabara, porém com uma qualidade visual e química totalmente degradada, ou seja, a população que reside no entorno de corpos d'água degradados também são impactados. Exemplo de como uma infraestrutura deficiente ou inexistente pode impactar negativamente o uso do solo de uma área e seu entorno é o Complexo da Maré.

Região D: Corresponde à Região 1 da Figura 55. Conforme mostra a Figura 60, esta região está situada bem próxima à entrada da Baía e engloba a Enseada de Botafogo, o Aterro do Flamengo, a Marina da Glória, o Aeroporto Santos Dumont, o Museu do Amanhã e a região do Porto Maravilha (Gamboa), dentro da faixa marginal de 2 km.

No quadro abaixo podemos ver a predominância de ocupação urbana de alta densidade e manchas de floresta. Assim como ocorre no caso anterior, a alta densidade demográfica verificada nesta região pode ter um significativo impacto sobre o solo e seu entorno, a depender da qualidade da infraestrutura instalada. Em contrapartida, vemos que a população terá maior acesso às margens e às águas da Baía de Guanabara, porém com uma qualidade visual e química bem comprometida.

Os afluentes que desembocam na Baía dentro desta região são o rio Carioca e o rio Banana Podre.

Quadro 5 - Resumo das classes da Região D, segundo os mapas temáticos

Mapa	Classe
Modelagem transporte de resíduos (Figura 53)	Altíssima e alta probabilidade de acúmulo de resíduos
Uso e cobertura do solo (Figura 56)	Predominância de ocupação urbana de alta densidade e manchas de floresta
Densidade populacional (Figura 57)	Predominância de alta densidade populacional com regiões de baixa densidade
Potencialidade de impacto (Figura 59)	Alto e médio impacto

Fonte: Elaborado pelo autor.

Esta região tem despertado grande interesse da sociedade e de órgãos governamentais, pois abriga as obras referentes à Operação Urbana Porto Maravilha, que a Prefeitura do Rio de Janeiro está realizando para revitalizar a região portuária. A demolição da Perimetral, a inauguração do Museu de Arte do Rio de Janeiro (MAR), na Praça Mauá, do Museu do Amanhã, no Pier Mauá, e a construção das vias Novo Passeio Público e Nova Frente Marítima são algumas das instalações da Operação Porto Maravilha, que tem como um de seus objetivos proporcionar novas áreas de lazer e cultura à população. O acesso que a população tinha às margens da Baía e suas águas, antes do início das obras, era bem restrito, se limitando a regiões como a Enseada de Botafogo e o Aterro do Flamengo. Após a conclusão das obras e a liberação do acesso à população, a qualidade das águas da Baía que banham as margens desta região será uma questão relevante e crítica.

Esta região também tem sido foco de grande destaque da mídia nacional e internacional, devido à sua proximidade com algumas raias de competição da modalidade olímpica de vela. Como podemos verificar no quadro acima, a probabilidade de acúmulo de resíduos é de altíssima a alta. Assim, a Região D é mais um exemplo de alta criticidade e alta priorização para tomada de ação.

7

Considerações finais

O estudo de objetos de deriva e o advento dos derivadores, cujos modelos e diferentes usos foram explorados nesta dissertação, proporcionou significativa contribuição para o melhor entendimento da circulação dos oceanos, estimativa das correntes oceânicas e ventos e outros relevantes parâmetros oceanográficos. Citamos alguns programas internacionais que continuam a desenvolver novos derivadores de forma a otimizar seu uso, seja em alto mar, seja em regiões costeiras. Vimos também a contribuição do uso de derivadores em eventos de busca e resgate, em desenvolvimento de pesquisas após o episódio de vazamento de óleo no Golfo do México em 2010, e em iniciativas nacionais para o melhor entendimento das condições oceanográficas da costa brasileira.

Assim como é feito em diversas partes do mundo, o uso de derivadores e outros equipamentos de coleta de dados oceanográficos deveria ser estimulado entre as instituições acadêmicas brasileiras, iniciativa privada e órgãos governamentais, de forma a obter e melhor conhecimento hidrodinâmico não só da Baía de Guanabara, mas também de outras baías no Estado do Rio de Janeiro e do País. A obtenção de dados para mapeamento de correntes e ventos em áreas abrigadas através da utilização destes equipamentos é viável desde que seja escolhido o modelo adequado para o local de uso. Os resultados obtidos poderão gerar uma importante gama de informações que certamente auxiliarão na tomada de decisões em eventuais casos de derramamento de óleo, no conhecimento do padrão de transporte e localização do lixo flutuante, no planejamento territorial das margens da baía e também na preservação do ambiente marinho da baía em suas regiões de maior sensibilidade ambiental.

Prova disso foi o reconhecimento do Projeto Baía de Guanabara como exemplo de sucesso de iniciativa público-privada na Conferência Rio+20, e de relevante parcela de seu escopo ter sido considerada como um projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) segundo os critérios da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Este Projeto veio mostrar a forte demanda das instituições de ensino e pesquisas por conhecimentos de dados oceanográficos em baías e como isto pode ser revertido à sociedade, com uma maior preservação do meio ambiente e melhor planejamento territorial das suas margens. O Projeto

Baía de Guanabara mostrou que projetos em locais abrigados são necessários e perfeitamente exequíveis se bem planejados.

Além de subsidiar os conhecimentos hidrodinâmicos, o Projeto Baía de Guanabara cumpriu com os objetivos propostos e, de certa forma, viabilizou a rápida e estruturada implantação do Plano de Gestão. Como já ressaltamos, a despoluição da Baía de Guanabara demanda um compêndio muito maior de iniciativas de curto, médio e longo prazo, incluindo educação ambiental, saneamento, investimentos efetivos em todas as escalas, ações de prevenção e combate à poluição, fomento ao desenvolvimento de novos estudos e envolvimento da sociedade não só para cobrar resultados, mas também para participar de forma proativa, para que as próximas gerações possam ter um acesso digno às águas da Baía de Guanabara.

A correlação entre a densidade populacional do entorno da Baía de Guanabara e a carga poluidora recebida e transportada pelos seus afluentes foi discutida no Capítulo 5, levando-nos a algumas reflexões e nos direcionando para o Objetivo Geral. Será que o padrão atual de urbanização implica necessariamente na degradação dos afluentes em que está inserido? Temos de “enxergar” essa associação como um desdobramento natural da ocupação urbana?

Um ponto relevante que norteia essas reflexões é a insuficiência ou a falta de saneamento encontradas nas regiões do entorno da Baía e os impactos causados na saúde da população e meio ambiente. Em última instância, são os afluentes que recebem toda a carga poluidora que deveria ser absorvida pelas redes de drenagem e esgoto e então tratada.

Apesar de fazer parte da realidade atual, este panorama não deve ser encarado como um desdobramento natural da ocupação urbana. Os afluentes e a Baía não devem continuar a sofrer a degradação a que estão submetidos pela falta de infraestrutura demandada pela população. Iniciativas precisam ser levadas adiante para transformar o panorama atual: desta forma, o padrão de urbanização deixará de ser um ponto negativo e poderá, quem sabe, vir a ser algo positivo, com a população tendo uma postura mais ativa de preservação de seus recursos naturais.

O Objetivo geral e o Objetivo específico 1 também foram discutidos ao longo do Capítulo 6, tendo sido ilustrados e exemplificados na parte final do capítulo, por meio do recorte de quatro regiões e uma análise integrada entre os mapas realizada para cada região.

O embasamento obtido com a fundamentação conceitual e os mapas e análises realizadas ao longo da dissertação nos ajudaram também a responder o Objetivo específico 2. Baseado em todo material apresentado, podemos afirmar que tais análises podem auxiliar na tomada de decisões em programas de despoluição. De que forma?

A análise integrada proporciona uma visão mais abrangente da questão da poluição, uma vez que compila os dados e informações dos capítulos anteriores e inclui o cruzamento dos mapas apresentados, os quais podem ser analisados por camadas, separados ou em conjunto e com diferentes enfoques e objetivos. Os gestores dos programas de despoluição podem encontrar relevantes informações nos próprios mapeamentos, nas análises realizadas por mapa e principalmente nas análises integradas, e assim encontrar subsídio para priorizar as ações a serem tomadas. Para que sejam empreendidas soluções de saneamento e despoluição na Baía, um mosaico de variáveis precisa ser considerado e estudado de forma interligada, para que a análise final esteja dentro de um contexto real. Claro está que as análises integradas realizadas no presente estudo, por si só, não configuram material suficiente para a tomada de decisões, o que já mencionamos algumas vezes. Porém, podem proporcionar uma relevante contribuição ou complementação de dados para as questões pertinentes ao tema. As limitações citadas na modelagem de acúmulo de lixo flutuante e a faixa marginal de 2 km arbitrada em nosso estudo devem ser levadas em consideração pelos gestores dos programas de despoluição.

Adicionalmente, verifica-se que os programas de despoluição implementados em outros países, e citados no Capítulo 3, tomam por base uma visão integrada, com elementos interdependentes impactando o todo e vice-versa. Entende-se a importância de uma visão mais abrangente e integrada, assim como a necessidade de parcerias entre diferentes setores da sociedade, como foi o caso da Baía de Chesapeake, que integrou governos municipais, estaduais e federal, pesquisadores de diversas universidades, ONG's, a iniciativa privada e o envolvimento da própria sociedade.

Para melhor responder o Objetivo específico 3, devemos revisitar os Capítulos 4, 5 e 6. Tais capítulos versam, dentre outras questões, sobre o plano em si, suas atividades, áreas de atuação e sobre o saneamento e as condições atuais dos afluentes da Baía, a qualidade de suas águas e como atuam como transportadores do lixo flutuante e o padrão de comportamento do lixo. Tais dados, pertencentes à

fundamentação conceitual, podem agregar informações relevantes ao Plano Gestor, no que diz respeito às áreas ambientais e oceanográficas. Porém, a maior contribuição é referente às reflexões e análises relacionadas ao urbanismo e à ocupação territorial encontrada na faixa marginal de 2 km do entorno da Baía. A análise integrada vem adicionar dados de densidade populacional, uso e ocupação do solo e potencialidade de impacto ao conhecimento hidrodinâmico já familiarizado pelo Plano Gestor. É fundamental poder cruzar dados e mapas não só do seu espelho d'água, mas adicionar a este conhecimento dados também das margens, tendo uma visão mais integrada da Baía de Guanabara com a própria população e a paisagem encontrada em seu entorno. A partir desse conhecimento complementar, as tomadas de decisão do Plano de Gestão podem ser melhor direcionadas e mais assertivas, incluindo ações não só a nível ambiental, mas também que levem em conta as diferentes paisagens encontradas às margens da Baía, o uso e ocupação do solo na faixa marginal e suas vulnerabilidades, a população que ali reside e, por fim, o acesso à Baía por parte da população.

Como já mencionado anteriormente, essa dissertação traz uma série de oportunidades para futuros estudos e pesquisas, que podem e devem desdobrar e aprofundar dados aqui compilados, reflexões e análises.

Um exemplo de estudo futuro seria o aprimoramento de uma metodologia de avaliação e calibração do modelo com a utilização de dados de derivadores em um ambiente costeiro dominado pela maré, visto que tanto a modelagem numérica quanto o lançamento dos derivadores podem ser planejados em conjunto, havendo flexibilidade para testar novas estratégias de lançamento e comparação. Outro exemplo seria verificar áreas preferenciais de acúmulo de partículas e tempo de residência na Baía, além da comparação dos resultados obtidos pelo CTD com análises de: biodisponibilidade de nutrientes, distribuição de fitoplâncton e possíveis mudanças sazonais nas dietas de botos da Baía de Guanabara em função da influência da ACAS. Perfis de velocidade do som na água, parâmetro que influencia diretamente a ecolocalização de botos na Baía, também podem ser feitos. Como já mencionado, são diversas as oportunidades de estudos e pesquisas a partir do presente material.

Referências bibliográficas

ALENCAR, E. **Baía de Guanabara: descaso e resistência**. Rio de Janeiro: Fundação Heinrich Böll / Mórula, 2016.

ALEXANDER, C. et al. **Uma linguagem de padrões: a Pattern Language**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

ASSIREU, A. T. **Estudo das características cinemáticas e dinâmicas das águas de superfície do Atlântico Sul Ocidental a partir de derivadores rastreados por satélite**. São Paulo, 2003. Tese (Doutorado) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo.

CARVALHO, G.V. **Influência do vento na hidrodinâmica da Baía de Guanabara (RJ)**. Rio de Janeiro, 2011. Monografia (Graduação) – Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

CARVALHO, G.V. et al. **Avaliação de um modelo hidrodinâmico para a Baía de Guanabara (RJ)**. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE CIENCIAS DEL MAR - COLACMAR, 2011, Balneário Camboriú. (Apresentação de Trabalho/Congresso)

CERRONE, B. N. **Estatísticas da Circulação do Oceano Atlântico Sudoeste a partir de Dados Lagrangeanos**. Rio de Janeiro, 2010. Dissertação (Mestrado) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

FRANZ, B. **O lixo flutuante em regiões metropolitanas costeiras no âmbito de políticas públicas: o caso da cidade do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2011. Tese (Doutorado) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

HERZOG, C. P. **Cidade para todos: (re)aprendendo a conviver com a natureza**. Rio de Janeiro: Mauad/Inverde, 2013.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K et al. Apresentação à edição brasileira. In: ALEXANDER, C. et al. **Uma linguagem de padrões: a Pattern Language**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

LIMA, E. C. R. **Qualidade de água da Baía de Guanabara e saneamento: uma abordagem sistêmica**. Rio de Janeiro, 2006. Tese (Doutorado) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

LUMPKIN, R.; PAZOS, M. Measuring Surface Currents with Surface Velocity Program Drifters: the instrument, its data, and some recent results. In: GRIFFA, A. et al. **Lagrangian Analysis and Prediction of Coastal and Ocean Dynamics**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

LYNCH, K. **A boa forma da cidade**. Lisboa: Edições 70, 1981.

MARIANO, L. S. **Estimativas do tempo de residência na Baía de Guanabara a partir de um modelo numérico**. Rio de Janeiro, 2014. Monografia (Graduação) – Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

MOLCARD, A. et al. Lagrangian data assimilation in ocean general circulation models. In: GRIFFA, A. et al. **Lagrangian Analysis and Prediction of Coastal and Ocean Dynamics**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

PALERMO, V. P. **Contribuições para a construção de políticas públicas direcionadas à redução do lixo marinho em enseadas urbanas: estudo de caso na microbacia contribuinte do Canal de São Francisco e da Enseada de Jurujuba-Niterói/RJ**. Rio de Janeiro, 2014. Dissertação (Mestrado). Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

PITERBARG, L. I. et al. Predictability of Lagrangian Motion in the Upper Ocean. In: GRIFFA, A. et al. (ed.). **Lagrangian Analysis and Prediction of Coastal and Ocean Dynamics**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

PROJETO BAÍA DE GUANABARA. **Relatório Técnico, Resultados - Junho 2010 a Junho 2012**, “Projeto Baía de Guanabara”, 2012.

PROJETO BAÍA DE GUANABARA. **Relatório Técnico, Resultados - Jul a Dez 2012**, “Projeto Baía de Guanabara”, 2013.

PROOCEANO. **Relatório técnico**. “Plano de Gestão do Serviço de Supervisão dos Ecobarcos”, 2016.

REGO, L. F. G. O uso de sistemas de informações geográficas para o estudo do espaço geográfico. In: RUA, J. et al. (org.). **Paisagem, Espaço e Sustentabilidades: uma perspectiva multidimensional da Geografia**. Rio de Janeiro: Editora PUC-Rio, 2007.

ROSA, M. F. M.; MATTOS, U. A. O. A saúde e os riscos dos pescadores e catadores de caranguejo da Baía de Guanabara. **Ciência de Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 15, supl. 1, p. 1543-1552, Junho 2010.

ROSSBY, T. Evolution of Lagrangian Methods in Oceanography. In: GRIFFA, A. et al. (Ed.). **Lagrangian Analysis and Prediction of Coastal and Ocean Dynamics**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

SVERDRUP, H. U.; JOHNSON, M. W.; FLEMING, R. H. **The Oceans: their Physics, Chemistry and General Biology**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, Inc., 1942.

Material em meio eletrônico

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>>. Acesso em: 06 jul. 2016.

ALENCAR, E. Palco de competições olímpicas em 2016, Baía de Guanabara sofre com acúmulo de lixo. **O Globo**. Rio de Janeiro. 28 abr. 2013. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/rio/palco-de-competicoes-olimpicas-em-2016-baia-de-guanabara-sofre-com-acumulo-de-lixo-8232091>>. Acesso em: 15 out. 2015.

_____. Poluição que vem em ondas: Baía recebe todo dia 90 toneladas de resíduos e apenas 7,5% são recolhidos, diz associação. **O Globo**. Rio de Janeiro, 10 ago. 2015. p. 6. Disponível em: <<http://tratabrasil.org.br/poluicao-que-vem-em-ondas>>. Acesso em: 15 out. 2015.

CARTHE. **What we do**. 2012. Disponível em: <<http://carthe.org/what-we-do/>>. Acesso em: 01 jun. 2015.

CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA. **PNBOIA - Programa Nacional de Boias**. 2013. Disponível em: <<http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-goos/pnboia.html>>. Acesso em: 03 jun. 2015.

CHESAPEAKE BAY PROGRAM. **Chesapeake Bay Program History**. Disponível em: <<http://www.chesapeakebay.net/about/how/history>>. Acesso em: 10 nov. 2015.

CLERKIN, Ben. **Thousands of rubber ducks to land on British shores after 15 year journey**. 2007. Disponível em: <<http://www.dailymail.co.uk/news/article-464768/Thousands-rubber-ducks-land-British-shores-15-year-journey.html>>. Acesso em: 21 maio 2015.

GLOBAL DRIFTER CENTER. **Objectives**. 2012. Disponível em: <http://www.aoml.noaa.gov/phod/dac/gdp_objectives.php>. Acesso em: 04 jun. 2015.

_____. **Surface drifter data was used to help locate wreckage from Air France flight #447**. 2009. Disponível em: <<http://www.aoml.noaa.gov/phod/dac/index.php>>. Acesso em: 22 maio 2015.

GRAEL, A. **Programa Guanabara Viva**. 3. rev. Rio de Janeiro: Instituto Rumo Náutico, 2015. Disponível em: <https://issuu.com/axelgrael/docs/programa_guanabara_viva_-_rev_3>. Acesso em: 27 jun. 2015.

_____. **"Lixo flutuante - de onde vem?". Projeto Grael participa de programação do MAC**. Disponível em: <<http://axelgrael.blogspot.com.br/2013/11/lixo-flutuante-de-onde-vem-projeto.html>>. Acesso em: 04 jun. 2015.

INEA. **Boletim consolidado de qualidade das águas da Região Hidrográfica V - Baía de Guanabara**. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/>>

public/documents/ document/zwew/mdcw/~edisp/inea0070544.pdf>. Acesso em: 15 out 2015.

INEA. **Base Temática - O Estado do Ambiente 2010**. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/Portal/MegaDropDown/EstudosePublicacoes/Publicaes/EstadoAmbiente/index.htm&lang=PT-BR>>. Acesso em: 03 jan. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico 2010**: resultados gerais da amostra. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/resultados_gerais_amostra/default_resultados_gerais_amostra.shtm>. Acesso em: 20 out 2015.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Benefícios econômicos da expansão do saneamento na Baía de Guanabara**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/estudos/baia-guanabara/book-baia-guanabara.pdf>>. Acesso em: 30 jul. 2015.

NELSON, B. **What can 28,000 rubber duckies lost at sea teach us about our oceans?** 2011. Disponível em: <<http://www.mnn.com/earth-matters/wilderness-resources/stories/what-can-28000-rubber-duckies-lost-at-sea-teach-us-about>>. Acesso em: 20 maio 2015.