



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

Análise da Dinâmica Sedimentar no Entorno da Ilha do Fundão, Rio de Janeiro – RJ

Raphaela de Paiva Mendonça
Vivian Almeida Faxas Ribeiro

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientadores:

Marcos Nicolás Gallo

Susana Beatriz Vinzon

Rio de Janeiro
Agosto de 2014

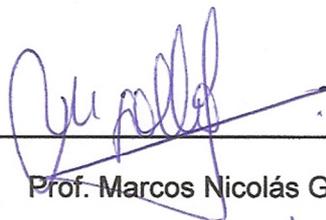
ANÁLISE DA DINÂMICA SEDIMENTAR NO ENTORNO DA ILHA DO
FUNDÃO, RIO DE JANEIRO – RJ

Raphaela de Paiva Mendonça

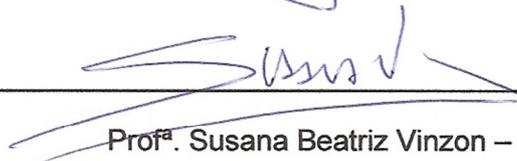
Vivian Almeida Faxas Ribeiro

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE
ENGENHARIA AMBIENTAL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO AMBIENTAL.

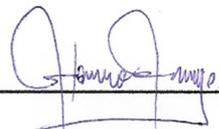
Examinado por:



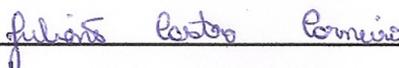
Prof. Marcos Nicolás Gallo – D.Sc.



Prof.ª Susana Beatriz Vinzon – D.Sc.



Prof. Afonso Augusto Magalhães de Araújo – D.Sc.



Juliane Castro Carneiro – M.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

AGOSTO de 2014

Mendonça, Raphaela de Paiva

Ribeiro, Vivian Almeida Faxas

Análise da Dinâmica Sedimentar no Entorno da Ilha do Fundão, Rio de Janeiro – RJ / Raphaela de Paiva Mendonça e Vivian Almeida Faxas Ribeiro – Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2014.

XIV, 106 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Marcos Nicolás Gallo

Coorientadora: Susana Beatriz Vinzon

Projeto de Graduação – UFRJ / Escola Politécnica / Curso de Engenharia Ambiental, 2014.

Referências Bibliográficas: p. 90-97.

1. Parâmetros Estatísticos Granulométricos; 2. Tendências de Transporte de Sedimentos; 3. Matéria Orgânica; 4. Ilha do Fundão; 5. Baía de Guanabara.

I. Gallo, Marcos Nicolás; II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Ambiental; III. Análise da Dinâmica Sedimentar no Entorno da Ilha do Fundão, Rio de Janeiro – RJ.

“(...) tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus que um dia você chega lá, de alguma maneira você chega lá.”

AYRTON SENNA

“Não me entrego sem lutar / Tenho ainda coração / Não aprendi a me render / Que caia o inimigo então!”

LEGIÃO URBANA – Metal contra as nuvens

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho à minha família, que
nunca deixou de acreditar em mim.
(Raphaela)*

*À mais forte das mulheres da família,
cujo apoio tornou possível essa jornada,
me permitindo chegar até aqui:
Vó Aurora! Saudades sempre...
(Vivian)*

AGRADECIMENTOS – Raphaela

Meus sinceros agradecimentos,

A Deus, que sempre me deu muito mais do que eu imaginei.

À minha mãe, que nunca mediu esforços pra me ver feliz e todas as vezes que eu pensei em desistir me passou confiança pra que continuasse. Obrigada por ser minha mãe.

À minha prima Dani e toda a minha família, não só por estarem ao meu lado nos momentos de desespero, mas por oferecerem o melhor apoio do mundo nas alegrias e nas tristezas. Ao meu namorado, Sergio, por acreditar em mim, torcer por mim e por me aguentar durante horas escrevendo e falando da monografia, todos os dias.

Ao orientador e Professor Marcos Gallo, pela dedicação e por todo apoio desde o começo da iniciação científica até a defesa da monografia. Obrigada por todo direcionamento na estrutura do trabalho, desde a introdução até a discussão e pelas inúmeras revisões da monografia. Muito obrigada pela oportunidade de fazer parte do LDSC.

À Luana Gallo, que me acolheu durante seu doutorado, com muito carinho e me apresentou ao mundo dos sedimentos de uma maneira contagiante.

Ao Iranilson Silva, que sempre ajudou não só a mim, mas a todos os estagiários, dando auxílio nas apresentações de jornada, nas campanhas, nas tabelas de Excel, no trabalho laboratorial e em todas as mínimas dúvidas.

Ao Nilson Moreira, que persistiu na instalação do programa deste trabalho e que graças à força de vontade permitiu que o Projeto Final se tornasse possível.

À minha parceira de monografia, Vivian Fexas, que mesmo quando eu estava no auge de *stress*, teve tranquilidade pra me entender e por ter passado quatro meses imersa em um assunto desafiador para ambas. Obrigada por ter ido até o final comigo.

À Juliane Carneiro, cuja experiência no assunto foi fundamental pra me fazer ir além e que sempre esteve presente pra dizer se o trabalho estava no caminho certo.

À Patrícia Marroig cujos conhecimentos em ArcGIS são incríveis e permitiu que este trabalho obtivesse um nível melhor. Obrigada pelas aulas de SIG e pela paciência.

À Gabriela Buraschi (Gabi), que me deu tanta ajuda nesse tema. Obrigada pelas referências, por seus mapas e pela dedicação em me introduzir na área de estudo.

À Professora Susana Vinzón, por aceitar ser coorientadora do trabalho e por toda a experiência durante os meus dois anos de LDSC.

À Breylla Carvalho, que se tornou minha consultora de modelos *STA*, me ensinou tudo que sabia até mesmo nos fins de semana. À Josefa Guerra que me apresentou à sua mestranda e ofereceu os artigos do programa.

À Susana Vinzón, ao Afonso Araújo e à Juliane Carneiro que aceitaram fazer parte da banca e cujas sugestões, correções e perguntas fizeram a mim e ao trabalho evoluir.

Ao Tobias Ferreira, o qual me auxiliou com as referências bibliográficas e através de sua experiência no tema tirou muitas dúvidas.

Ao Vítor Carvalho, pela grande ajuda nos mapas.

À Carla Vilela, por me acalmar e me dar força às vésperas de defender a monografia.

À Priscilla Soares, pela malha amostral do trabalho, dando o pontapé inicial.

Ao Douglas Nemes, por compartilhar seus conhecimentos em marés.

À Gabi, ao Douglas, Iranilson, Igor Lucas, Jonio Souza e Ernani Fernandes pelo excelente trabalho de campo.

Ao Jonio de Souza, pela ajuda essencial no trabalho de laboratório.

À Érika, Laíssa, Fernanda, Ana Luísa, Patricia, Mariana, Raíssa, Sabrina ao Teodósio, Diego, Ernesto, Marcello, Boris e a todos do LDSC que suportaram as dificuldades do trabalho de laboratório desta monografia.

Ao Hugo Azevedo, pela ajuda no trabalho.

À Emelay Bispo (Emy), Ana Beatriz Pradel (Aninha) e Fernanda Alice (Fernandinha), minhas queridas amigas, que deram um novo sentido à minha graduação. Obrigada pelos momentos mais engraçados dos últimos cinco anos.

À Morganna Werneck e Érika Carvalho, pelo apoio essencial neste último ano de faculdade. Obrigada pelo carinho.

À Maria Alice Rocha, Aline Lessa, Lucas Lima, Thatiana Vitorino, Thaysa Viana, Thaynara de Paula, Vivian Faxas, Olívia Mercadante e ao Lucas Lima por estarem comigo em cada momento dessa trajetória. Obrigada pela parceria e companheirismo.

AGRADECIMENTOS – Vivian

A Deus, pela graça de estar viva e pela Sua infinita misericórdia na minha vida, me sustentando até aqui e tornando possível a realização deste sonho.

À minha mãe Elizabeth, minha melhor amiga e maior incentivadora em tudo na minha vida.

Ao meu pai Jorge, por me conduzir e me socorrer sempre que necessário no agora não mais nosso fusquinha bege.

À todos os outros membros da minha família, base de tudo que sou.

Ao meu namorado Bruno, pelo amor maior e pela compreensão e paciência com as minhas ausências. ;)

À minha parceira de monografia, Raphaela Paiva, a incansável! Por tudo que passamos juntas, pelos altos e baixos, pelas caronas, pelas conversas e pela paciência. Muito obrigada por confiar em mim para ser sua dupla!

A todos os integrantes da banca avaliadora: ao professor Marcos Gallo pela orientação da monografia, à professora Susana Vinzon por aceitar a coorientação do trabalho, ao professor Afonso Araújo pelas críticas construtivas e à Juliane Carneiro pelos ajustes na monografia.

A todos do LDSC, em especial: Iranilson, pelo apoio em absolutamente tudo; Nilson, pela instalação do GiSedTrend; Gabriela, pela ajuda nas campanhas e em tantas outras dúvidas; Patrícia, pela ajuda com os mapas no ArcGIS; Vitor; também pelo auxílio com os mapas; Douglas, pelo suporte na campanha; Luana, pelos sorrisos e pelo apoio; Cristina, pelo suporte administrativo; Priscilla, pela grade utilizada nas campanhas.

Aos barqueiros das duas campanhas.

À Breylla pela paciência extrema com as nossas dúvidas.

Ao Junior da Geotecnia pela água destilada.

Ao Hugo Azevedo pela grande ajuda no nosso trabalho.

À coordenadora da Engenharia Ambiental Heloísa Firmo, sempre pronta a nos ajudar e por ser tão prestativa sempre.

Ao Mário Leone, pelo suporte psicológico, pelos elogios e também pelos puxões de orelha.

Aos meus gatos, companheiros incansáveis nas noites viradas de trabalho.

Aos amigos da Mecânica, ou “a turma dos churrascos na casa do Beto”, aqueles a quem sempre considerarei como meus amigos de faculdade, ainda que em cursos diferentes – Mariana, Yaffar, Maurício, Thiago Paulista, Daniel Zanini, Betão, Gabriel, Marcos (Caco) e Verocai.

Aos amigos da Ambiental que tão generosamente me acolheram na mudança de curso e não fizeram com que eu me sentisse como uma estranha no ninho. Aqui é mais difícil citar nomes, mas alguns se tornaram especiais por tornarem minha jornada um pouco mais divertida e o fardo um pouco mais leve: Emelay Bispo (Emy), Maria Alice Rocha (Mraya), Hugo Azevedo, Lea Piumbim, Mariana Fernandes, Carolina Peleteiro (valeu pelo estágio, Carol!), Aline Lessa, Gabriela Félix, Renata Ruiz, Henrique Crespo, Lucas Lima, Olívia Mercadante, Thatiana Vitorino, Thaysa Viana, Morganna Werneck, Raphaela Paiva, Fernanda Alice, Ana Beatriz Pradel e Thaynara Paula.

Aos amigos que fiz ao longo de toda a minha jornada, desde os tempos do Duplar até os que fiz ao longo dos cinco (!!!) anos de turma IME/ITA, nos três cursos por onde passei: Elite Madureira, GPI Nilópolis e Roquette Tijuca.

A todos os meus professores, todos grandes mestres, independente do local ou da época.

Ao pessoal do estágio no PSAM-SEA, em especial meu chefe Luiz André Joia, Anaí, Andrea Aleixo, Andrea Boguea, Joni, Márcio, João, Roberto, Alejandro, Vinícius, Cris, Júlia, Maurício e Rose.

Aos amigos de perto e de longe, aos reais e virtuais, aos de apenas um “oi” e aos de chorar junto, aos que nunca mais encontrarei e aos que estarão comigo até o fim. A todos vocês que, de alguma forma e em momentos distintos, passaram pela minha vida e me transformaram no que sou hoje: o resultado de todos esses encontros!

A todos esses, o meu muito obrigada! ♥

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica / UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

ANÁLISE DA DINÂMICA SEDIMENTAR NO ENTORNO DA ILHA DO FUNDÃO, RIO DE JANEIRO – RJ

Raphaela de Paiva Mendonça
Vivian Almeida Faxas Ribeiro

Agosto de 2014

Orientadores: Marcos Nicolás Gallo / Susana Beatriz Vinzon

Curso: Engenharia Ambiental

MENDONÇA, R.P.; RIBEIRO, V.A.F. **Análise da dinâmica sedimentar no entorno da Ilha do Fundão, Rio de Janeiro – RJ**. Rio de Janeiro, 2014. Projeto de Graduação (Graduação em Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

O entendimento da dinâmica sedimentar é de grande importância para o planejamento de ações e possíveis obras em ambientes marinhos e costeiros. Deste modo, modelos representativos da tendência de transporte de sedimentos vêm sendo aplicados nos estudos de engenharia, no gerenciamento da costa e nas avaliações de risco ambiental. Neste estudo, através da análise da variação de três parâmetros estatísticos da granulometria (média, desvio padrão e assimetria) calculados através do método gráfico de Folk & Ward (1957), foi possível descrever a dinâmica sedimentar geral e examinar a distribuição espacial das amostras de fundo do entorno da Ilha do Fundão, área de estudo do presente trabalho. A Ilha do Fundão está localizada na Baía de Guanabara, importante sistema estuarino densamente urbanizado e receptor de altas cargas de poluentes, tanto orgânicos quanto inorgânicos, provenientes do esgoto e dos efluentes industriais nela descartados. Neste trabalho, os parâmetros estatísticos granulométricos foram empregados como dados de entrada no programa GiSedTrend, permitindo obter um padrão geral de transporte líquido dos sedimentos da área de estudo. Além disso, a quantificação do teor de matéria orgânica presente nos sedimentos forneceu informações relacionando as dimensões dos grãos com o nível de poluição do local. Como resultado deste trabalho, foi possível observar heterogeneidade quanto à análise espacial das classes

texturais no entorno da Ilha do Fundão, com maior incidência de areia grossa na região Norte e sendo as variações de silte as classes predominantes no Canal do Fundão e nas regiões Sul e Leste. Também foi possível correlacionar as distribuições espaciais dos parâmetros estatísticos granulométricos com a dinâmica local, sendo as áreas com presença de partículas grossas coincidentes com canais mais profundos, indicando maior energia de correntes de maré. Quanto ao transporte de sedimentos, verificou-se nas regiões Leste e Sul, entrada de sedimentos da área externa da baía para a porção central da região Leste. No Canal do Fundão, o transporte residual indicou saída de sedimentos, com transporte longitudinal à ilha, enquanto na região Norte, observou-se que o transporte residual ocorre da Ilha do Governador em direção à Ilha do Fundão. Em relação à análise ambiental, no Canal do Fundão, os teores de matéria orgânica encontrados chegaram a valores acima de 25%. As regiões Leste e Sul apresentaram teores em torno de 20%, enquanto na região Norte, os valores ficaram em torno de 4%, evidenciando uma possível correlação de maiores teores de matéria orgânica em regiões com sedimentos finos.

Palavras-chave: sedimentos, parâmetros granulométricos, modelos STA, GiSedTrend, matéria orgânica, Ilha do Fundão, Baía de Guanabara.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI / UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

ANALYSIS OF SEDIMENT DYNAMICS IN FUNDÃO ISLAND SURROUNDING, RIO DE JANEIRO – RJ

Raphaela de Paiva Mendonça
Vivian Almeida Faxas Ribeiro

August, 2014

Advisors: Marcos Nicolás Gallo / Susana Beatriz Vinzon

Course: Environmental Engineering

MENDONÇA, R.P.; RIBEIRO, V.A.F. **Analysis of sediment dynamics in Fundão island surrounding, Rio de Janeiro – RJ**. Rio de Janeiro, 2014. Undergraduate Project (Environmental Engineering Graduation) – Polytechnic School, Federal University of Rio de Janeiro, 2014.

The understanding of the sedimentary dynamics is of great importance for planning actions and possible constructions in coastal and marine environments. This way, representative models of the sediment transport pattern have been applied in the studies of engineering, coastal management and environment risk analysis. In this study, through the analysis of the variation of three grain size parameters (mean, sorting and skewness) measured using the graphic method of Folk & Ward (1957) it was possible to describe the overall sediment dynamics and to analyse the samples distribution around Fundão Island, the study area for this present paper. Fundão Island is located in Guanabara Bay, an important estuary system heavily urbanized and subject to massive loads of pollutants both organic and inorganic from sewers and industrial effluents discharged into it. In this work, the grain size parameters were used on the GiSedTrend program, enabling a general liquid transport pattern of the sediments in the area of study. Furthermore, the measurement of the organic matter content present in the sediments provided information linking the grain size with the level of pollution in the place. As a result of this assignment it was possible to notice diversity in the texture parameters around Fundão Island, with greater presence of coarse sand in the North region and the silt variations being the predominant classes in Fundão Channel and in the South and East regions. Moreover it was possible to correlate the spatial distribution of the statistical grain-size parameters with the local

dynamics since the areas with coarse sediments coincided with deeper channels, indicating greater tidal energy. Regarding the sediment transport, in East and South regions it was observed the entry of sediments from the external area of the bay into the central part of the East region. In Fundão Channel, the residue transport indicated sediment exit, moving lengthwise along the island, whereas in the North region the residue transport occurs from Governador Island towards Fundão Island. Regarding environment analysis, in Fundão Channel the organic matter content found reached values over 25%. East and South regions presented contents around 20% whereas in the North regions values remained around 4%, suggesting a possible correlation higher organic matter in regions with fine sediments.

Keywords: sediments, grain-size parameters, STA models, GiSedTrend, organic matter, Fundão Island, Guanabara Bay.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Localização geográfica da Baía de Guanabara, com a Ilha do Fundão em destaque	4
FIGURA 2: Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara.....	6
FIGURA 3: Distribuição granulométrica dos sedimentos da Baía de Guanabara.....	10
FIGURA 4: Projeto de criação da Ilha do Fundão, com a fusão do arquipélago formado por oito ilhas	15
FIGURA 5: Aterros na região da Enseada de Inhaúma.....	16
FIGURA 6: Simulação da circulação das águas antes do aterro para a formação da Ilha do Fundão	17
FIGURA 7: Identificação das três pontes que transpassam o Canal do Fundão	19
FIGURA 8: Diagrama esquemático das regiões funcionais de um estuário: Zona de Maré do Rio (ZR), Zona de Mistura (ZM) e Zona Costeira (ZC), juntamente com a delimitação funcional de um sistema estuarino hipotético.....	22
FIGURA 9: Exemplo de curva de frequência (a) simples e (b) cumulativa na escala Φ : Distribuição da amostra 7 do presente trabalho	26
FIGURA 10: Representação do ângulo de espalhamento de pequenas e grandes partículas	28
FIGURA 11: Curvas de distribuição de frequência mostrando a influência das caudas nos valores de assimetria.....	34
FIGURA 12: Esquema geral das etapas de funcionamento de modelos STA.....	35
FIGURA 13: Os modelos 1D comparam todos os possíveis pares de amostras localizados ao longo das linhas de amostragem; comparando os pontos que estão lado a lado e em seguida, alternando a combinação dos pontos com outros que estejam em locais mais distantes ao longo da linha. As tendências são estatisticamente analisadas para determinar a direção dominante ao longo de cada linha de análise.....	38
FIGURA 14: Procedimento esquemático sugerido para o tratamento dos dados em 2D: a) Vetores de tendência obtidos da análise das características granulométricas; b) Resultado da soma vetorial (vetores resultantes); c) Filtragem ou suavização, com obtenção dos vetores residuais; Os círculos representam o posicionamento das estações.....	42
FIGURA 15: A estação central (ponto 5) é comparada com as quatro estações mais próximas (denominadas de estações satélites), as quais devem estar equidistantes do centro (da estação central). Quando as estações estão localizadas em uma grade irregular, uma técnica trigonométrica iterativa é usada para modificar os valores iniciais dos parâmetros, para levar em consideração a translação e a rotação das estações satélites	45
FIGURA 16: Batimetria do entorno da Ilha do Fundão medida através da ecosonda..	49
FIGURA 17: Mapa com a grade amostral completa, contendo os 105 pontos no entorno da Ilha do Fundão, equidistantes 200 metros	50
FIGURA 18: Pontos de coleta das duas campanhas. Os pontos na cor preta foram coletados na primeira campanha, os pontos na cor verde na segunda campanha, e os pontos na cor vermelha foram pontos onde não foi possível realizar a coleta.....	51

FIGURA 19: (a) Amostrador Petersen – equipamento utilizado para a amostragem em maiores profundidades. (b) Tubo – equipamento utilizado para a amostragem em profundidade de até 2 metros.....	51
FIGURA 20: Fluxograma referente à metodologia aplicada para amostras coletadas nas duas campanhas.....	53
FIGURA 21: Equipamento de difração a laser utilizado no trabalho: Mastersizer 2000, da Malvern®. O equipamento possui uma unidade de dispersão aquosa, onde os sedimentos são colocados no béquer com aproximadamente um litro de água destilada, de forma que seja possível obter a curva de distribuição granulométrica	58
FIGURA 22: Referências de localização utilizadas no trabalho durante a descrição dos resultados. As regiões Norte, Sul e Leste foram estabelecidas pelas autoras, enquanto as demais são nomeações já existentes e foram aproveitadas para a orientação	62
FIGURA 23: Mapa de distribuição da média granulométrica (em Φ), medida de tendência central calculada a partir das amostras de sedimento de fundo coletadas no entorno da Ilha do Fundão. De acordo com a classificação de Udden-Wentworth (1922): -1 Φ a 0 Φ (Areia Muito Grossa), 0 Φ a 1 Φ (Areia Grossa), 1 Φ a 2 Φ (Areia Média), 2 Φ a 3 Φ (Areia Fina), 3 Φ a 4 Φ (Areia Muito Fina), 4 Φ a 5 Φ (Silte Grosso), 5 Φ a 6 Φ (Silte Médio), 6 Φ a 7 Φ (Silte Fino), 7 Φ a 8 Φ (Silte Muito Fino), 8 Φ a 9 Φ (Argila Grossa) e 9 Φ a 10 Φ (Argila Média)	63
FIGURA 24: Histograma de frequências de ocorrência do diâmetro médio dos sedimentos de fundo no Canal do Fundão	64
FIGURA 25: Histograma de frequências de ocorrência do diâmetro médio dos sedimentos de fundo na região Sul da Ilha do Fundão	65
FIGURA 26: Histograma de frequências de ocorrência do diâmetro médio dos sedimentos de fundo na região Norte da Ilha do Fundão	65
FIGURA 27: Histograma de frequências de ocorrência do diâmetro médio dos sedimentos de fundo na região Leste da Ilha do Fundão	66
FIGURA 28: Mapa de distribuição da mediana das amostras de fundo de todos os pontos da grade amostral do entorno da Ilha do Fundão	67
FIGURA 29: Mapa de distribuição do desvio padrão, medida de dispersão calculada a partir das amostras de sedimento de fundo coletadas no entorno da Ilha do Fundão. De acordo com a classificação de Folk & Ward (1957): 1,0 a 2,0 (Mal Seleccionada) e 2,0 a 4,0 (Muito Mal Seleccionada)	68
FIGURA 30: Mapa de distribuição da assimetria, calculada a partir das amostras de sedimento de fundo coletadas no entorno da Ilha do Fundão. De acordo com a classificação de Folk & Ward (1957): -1,0 a -0,3 (Assimetria Muito Negativa), -0,3 a -0,1 (Assimetria Negativa), -0,1 a 0,1 (Quase Simétrica), 0,1 a 0,3 (Assimetria Positiva) e 0,3 a 1,0 (Assimetria Muito Positiva)	69
FIGURA 31: Transporte líquido de sedimentos no entorno da Ilha do Fundão, considerando apenas o caso CB+, em uma grade regular, com espaçamento de 200 metros entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend. O depósito resultante será mais grosso, terá assimetria mais positiva e será melhor selecionado. As setas representam os vetores de transporte para o caso analisado.....	70
FIGURA 32: Transporte líquido de sedimentos no entorno da Ilha do Fundão, considerando apenas o caso FB-, em uma grade regular, com espaçamento de 200 metros entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend. O depósito	

resultante será mais fino, terá assimetria mais negativa e será melhor selecionado. As setas representam os vetores de transporte para o caso analisado	71
FIGURA 33: Transporte líquido de sedimentos no entorno da Ilha do Fundão, considerando apenas o caso FB+, em uma grade regular, com espaçamento de 200 metros entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend. O depósito resultante será mais fino, terá assimetria mais positiva e será melhor selecionado. As setas representam os vetores de transporte para o caso analisado	72
FIGURA 34: Transporte líquido de sedimentos no entorno da Ilha do Fundão, considerando apenas o caso CB-, em uma grade regular, com espaçamento de 200 metros entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend. O depósito resultante será mais grosso, terá assimetria mais negativa e será melhor selecionado. As setas representam os vetores de transporte para o caso analisado.....	73
FIGURA 35: Distribuição da porcentagem de matéria orgânica no entorno da Ilha do Fundão. A quantidade de matéria volátil foi obtida para cada uma das 103 amostras de fundo coletadas nas duas campanhas.....	74
FIGURA 36: Histograma de frequências de ocorrência do diâmetro médio dos sedimentos de fundo do entorno da Ilha do Fundão	76
FIGURA 37: Porcentagem da fração fina (fração > 4 Φ) presente em cada amostra da malha amostral	77
FIGURA 38: Porcentagem da fração grossa (fração < 4 Φ) presente em cada amostra da malha amostral.....	78
FIGURA 39: Padrão de velocidades de corrente médias durante enchentes de maré de sizígia para a situação pós-dragagem. Representa o escoamento médio da circulação hidrodinâmica ao longo do período de enchente, que dura cerca de 6 horas	82
FIGURA 40: Padrão de velocidades de corrente médias durante vazantes de maré de sizígia para a para situação pós-dragagem. Representa o escoamento médio da circulação hidrodinâmica ao longo do período de vazante, que dura cerca de 6 horas	82
FIGURA 41: Transporte líquido de sedimentos no entorno da Ilha do Fundão, considerando os quatro casos combinados: CB+, FB-, FB+ e CB-, em uma grade regular, com espaçamento de 200 metros entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend. O depósito resultante será mais fino ou mais grosso, terá assimetria mais negativa ou mais positiva, mas será sempre melhor selecionado. As setas representam os vetores de transporte para o caso analisado	84
FIGURA 42: Mapa com a tendência qualitativa de transporte dos sedimentos no Canal do Fundão e nas regiões Norte, Leste e Sul.....	85
FIGURA 43: Gráfico da distribuição granulométrica dos pontos coletados no Canal do Fundão	103
FIGURA 44: Gráfico da distribuição granulométrica dos pontos coletados na porção Sul da Ilha do Fundão.....	104
FIGURA 45: Gráfico da distribuição granulométrica dos pontos coletados na porção Norte da Ilha do Fundão.....	105
FIGURA 46: Gráfico da distribuição granulométrica dos pontos coletados na porção Leste da Ilha do Fundão.....	106

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Classes de tamanho estabelecidas por Udden-Wentworth, de -1 a 10 Φ .	30
TABELA 2: Classificação das amostras pelo desvio padrão pelo Método Gráfico	32
TABELA 3: Classificação das amostras pela assimetria pelo Método Gráfico	33
TABELA 4: Representação dos oito casos de tendência de transporte, através da combinação dos parâmetros granulométricos (na escala ϕ): desvio padrão, assimetria e média, onde os subscritos 1 e 2 representam duas amostras ordenadas, na qual a amostra 2 está ao longo da trajetória da amostra 1	36
TABELA 5: Listagem de estudos sobre modelos STA aplicados em estuários, com seus respectivos autores, modelos utilizados e melhores casos adotados.....	40
TABELA 6: Diâmetro de cada peneira em milímetros e pela ABNT	57

LISTA DE ABREVIATURAS

1D – Unidimensional

2D – Bidimensional

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Dcr – Distância Característica

GIS – *Geographic Information System*

http – *Hiper Text Transfer Protocol*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INEA – Instituto Estadual do Ambiente

LDSC – Laboratório de Dinâmica de Sedimentos Coesivos

NBR – Norma Brasileira Registrada

POLI – Escola Politécnica

RHBG – Região Hidrográfica da Baía de Guanabara

RMRJ – Região Metropolitana do Rio de Janeiro

SEA – Secretaria de Estado do Ambiente

STA – *Sediment Trend Analysis*

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

www – *World Wide Web*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo Geral	3
2.2. Objetivos Específicos.....	3
3. ÁREA DE ESTUDO.....	4
3.1. Localização Geográfica e Descrição	4
3.2. Caracterização da Baía de Guanabara.....	5
3.2.1. <i>Características Hidrológicas</i>	5
3.2.2. <i>Precipitação Pluviométrica</i>	7
3.2.3. <i>Clima</i>	7
3.2.4. <i>Correntes de Maré</i>	8
3.2.5. <i>Salinidade</i>	9
3.2.6. <i>Características dos Sedimentos</i>	9
3.2.7. <i>Fontes de Poluição</i>	11
3.3. Perspectiva Histórica e Ambiental da Ilha do Fundão	14
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
4.1. Ambiente Estuarino.....	21
4.2. Transporte de Sedimentos.....	24
4.3. Análise Granulométrica	26
4.3.1. <i>Método de Análise: Análise Granulométrica por Peneiramento</i>	27
4.3.2. <i>Método de Análise: Análise Granulométrica por Difração a Laser</i>	27
4.4. Parâmetros Granulométricos: Princípios dos Modelos de Tendência	29
4.4.1. <i>Método Gráfico de Folk & Ward</i>	30
4.4.1.1. Média	30
4.4.1.2. Desvio Padrão.....	31
4.4.1.3. Assimetria	32
4.5. Modelos STA.....	34
4.5.1. <i>Fundamentos dos Modelos de Análise de Tendência Direcional</i>	35
4.5.2. <i>Evolução dos Modelos STA</i>	36
4.5.2.1. Primeiro Modelo de Análise: Modelo de Gao & Collins.....	40
4.5.2.2. Segundo Modelo de Análise: Modelo de Le Roux	44

4.6.	Matéria Orgânica	47
5.	MATERIAIS E MÉTODOS	49
5.1.	Trabalho de Campo e Amostragem	49
5.2.	Análise Laboratorial.....	52
5.2.1.	<i>Determinação da Porcentagem de Matéria Orgânica</i>	54
5.2.2.	<i>Peneiramento Úmido</i>	54
5.2.3.	<i>Peneiramento Seco</i>	56
5.2.4.	<i>Determinação da Distribuição Granulométrica por Difração a Laser</i>	57
5.3.	Pós-Processamento.....	59
5.3.1.	<i>Gradistat</i>	59
5.3.2.	<i>GiSedTrend</i>	60
6.	RESULTADOS.....	62
6.1.	Distribuição dos Parâmetros Estatísticos	63
6.1.1.	<i>Média</i>	63
6.1.2.	<i>Desvio Padrão</i>	68
6.1.3.	<i>Assimetria</i>	69
6.2.	Tendências de Transportes	70
6.2.1.	<i>Caso CB+</i>	70
6.2.2.	<i>Caso FB-</i>	71
6.2.3.	<i>Caso FB+</i>	72
6.2.4.	<i>Caso CB-</i>	73
6.3.	Teores de Matéria Orgânica nos Sedimentos	74
7.	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	76
7.1.	Distribuição dos Parâmetros Granulométricos	76
7.2.	Tendências de Transporte dos Sedimentos.....	80
7.3.	Interface com a Qualidade Ambiental: Quantificação da Matéria Orgânica ...	85
8.	CONCLUSÃO	87
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
10.	ANEXOS	98
	ANEXO 1 – Peso da amostra seca, do material grosso seco e do material fino obtidos através do peneiramento úmido das amostras nas quais foi realizado	98
	ANEXO 2 – Tabela com cada ponto de amostragem, sua localização e os parâmetros granulométricos	99
	ANEXO 3 – Distribuição das classes granulométricas das amostras coletadas.....	102

1. INTRODUÇÃO

As partículas sedimentares apresentam distribuições granulométricas diversificadas de acordo com a variação espacial (GAO & COLLINS, 1994). Segundo Gao & Collins (1991), a partir da análise da distribuição sedimentar, pode-se: 1) identificar os ambientes deposicionais, 2) identificar os diferentes mecanismos controladores do transporte de sedimentos e, através da comparação das características específicas da distribuição sedimentar, 3) delinear os padrões de transporte.

Como uma das principais preocupações no estudo da dinâmica sedimentar dentro de ambientes marinhos consiste no estabelecimento de suas tendências de transporte (POULOS & BALLAY, 2010), diversos programas têm sido desenvolvidos para o seu entendimento, baseando-se nas variações espaciais de três parâmetros estatísticos granulométricos: a média, o desvio padrão e a assimetria. Estes modelos evoluíram de acordo com a complexidade fornecida pelos ambientes estudados, tendo início com o modelo unidimensional de McLaren (1985) e apresentando aperfeiçoamentos, como nos modelos bidimensionais de Gao & Collins (1992) e de Le Roux (1994). O GiSedTrend (POIZOT *et al.*, 2010) foi o programa utilizado neste trabalho e utiliza os dois últimos modelos citados.

De acordo com Lessa & Dias (2010), os sedimentos de superfície de fundo de ambientes subaquáticos refletem a interação entre a energia hidrodinâmica do ambiente, o aporte sedimentar e a natureza do substrato, constituindo uma informação importante para a compreensão dos processos de sedimentação. Desta forma, os parâmetros estatísticos granulométricos das amostras de fundo foram utilizados neste trabalho não apenas para compreender a distribuição espacial dos sedimentos, mas também para auxiliar na determinação dos padrões de transporte capazes de descrever a dinâmica geral da área de estudo.

A área de estudo analisada corresponde ao entorno da Ilha do Fundão, cuja formação ocorreu devido à integração de oito ilhas através de aterros. Sua relevância se deve não apenas pela relação com a comunidade ao redor, mas também por abrigar uma das maiores universidades do país, a Universidade

Federal do Rio de Janeiro e um Parque Tecnológico com centros de pesquisa e empresas de grande porte.

Por estar localizada na Baía de Guanabara, as características e os padrões de circulação hidrodinâmica da Ilha do Fundão encontram-se intimamente relacionados com o estado geral da baía. Circundada pela Região Metropolitana do Rio de Janeiro, a Baía de Guanabara representa o principal sistema estuarino do estado, especialmente pela sua importância econômica, social e ambiental, através de sua localização geográfica estratégica. Seu entorno corresponde a uma área cujo processo de densa urbanização trouxe maior aporte de sedimentos e poluentes para a baía, resultando em assoreamento e em estrangulamentos pontuais que interromperam a circulação das águas em alguns locais (PEREIRA, 2012). Ao longo do tempo, estes processos causaram impactos ambientais negativos, fazendo com que a Baía de Guanabara se tornasse um dos ambientes costeiros mais severamente impactados do país pela combinação da ação de fatores naturais e antropogênicos, dando origem a um processo de degradação progressiva.

Baseando-se na vertente de qualidade ambiental, este trabalho também se propôs a correlacionar o diâmetro médio dos sedimentos com os teores de matéria orgânica. De acordo com Laybauer & Bidone (2001, *apud* GUIMARÃES *et al.*, 2007), o diâmetro médio dos sedimentos determina o comportamento de propriedades físico-químicas e influencia no potencial de adsorção de poluentes, sendo um parâmetro sedimentológico interessante para a análise de compostos voláteis.

Assim, integrando os objetivos propostos, espera-se que este trabalho contribua para futuros projetos no entorno da Ilha do Fundão com o fornecimento de dados e informações para o diagnóstico de eventuais problemas de erosão ou assoreamento, podendo auxiliar também no gerenciamento do estuário e no planejamento de possíveis obras de dragagem.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Caracterizar a dinâmica sedimentar do entorno da Ilha do Fundão a partir da análise de modelos de tendência de transporte.

2.2. Objetivos Específicos

- ♦ Análise da distribuição espacial de sedimentos de fundo do entorno da Ilha do Fundão através de três parâmetros estatísticos granulométricos (média, desvio padrão e assimetria);
- ♦ Análise crítica dos diferentes casos de tendência de transporte do modelo utilizado;
- ♦ Quantificação da matéria orgânica do entorno da Ilha do Fundão como informação ambiental complementar e sua relação com a distribuição de sedimentos.

3. ÁREA DE ESTUDO

São apresentadas no presente capítulo a localização e a descrição da área de estudo, suas principais características, uma perspectiva histórica e um breve panorama da questão ambiental da região, tanto da Baía de Guanabara quanto da Ilha do Fundão.

3.1. Localização Geográfica e Descrição

A região de interesse é a Ilha do Fundão, localizada na margem oeste da Baía de Guanabara, com latitude $22^{\circ}51'27,24''S$ e longitude $43^{\circ}13'49,38''W$, conforme pode ser observado na Figura 1. Esta ilha sedia o principal campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), além do bairro da Cidade Universitária.



Figura 1: Localização geográfica da Baía de Guanabara, com a Ilha do Fundão em destaque (Fonte: modificado de GOOGLE EARTH, obtida em 10/06/2014).

Como a Ilha do Fundão está inserida na Baía de Guanabara, será feita a seguir uma breve descrição deste ambiente.

3.2. Caracterização da Baía de Guanabara

A Baía de Guanabara é uma das mais importantes baías costeiras do Brasil. Localizada na região metropolitana da cidade do Rio de Janeiro, entre as latitudes de 22°40' e 23°00' Sul e longitudes de 43°00' e 43°20' Oeste (MARINO, 2011), a Baía de Guanabara é cercada pelas cidades do Rio de Janeiro, Duque de Caxias, São Gonçalo, Niterói e outros municípios menores.

Com extensão de 28 km no eixo norte-sul e 20 km de largura máxima, a Baía de Guanabara comporta um volume médio de água estimado em torno de 1,8 bilhões de m³ (PELD GUANABARA), com uma superfície de aproximadamente 384 km² de área de espelho d'água, incluindo 59 km² de ilhas (OLIVEIRA, 2009). Possui um perímetro de 131 km, sofrendo um estreitamento em sua barra, entre a Fortaleza de Santa Cruz e o Forte de São João (QUARESMA, 1997 *apud* MARINO, 2011). Sua profundidade varia de 50 m na entrada do canal de ligação com a plataforma interna (de 1,8 km de largura), até menos de 1 m nas áreas internas, próximas às margens (PELD GUANABARA).

3.2.1. Características Hidrológicas

Estuário consiste em um ambiente onde ocorre mistura de água salgada com a água doce oriunda principalmente da drenagem superficial e/ou subterrânea (BURTON, 1976 *apud* MARINO, 2011). A Baía de Guanabara caracteriza-se como um sistema estuarino complexo e constitui-se no maior e mais importante estuário do estado do Rio de Janeiro (CORDEIRO, 2006; KAUFMANN, 2009).

Este sistema estuarino é composto por inúmeros rios e canais de pequeno e médio porte que drenam para a baía mais de 200 mil litros de água a cada segundo, em média. Toda essa água é captada pelas bacias hidrográficas desses rios que, somados, formam a Região Hidrográfica da Baía

da Guanabara – RHBG, que possui uma área continental de 4 mil km² aproximadamente, abrangendo 16 municípios (INSTITUTO BAÍA DE GUANABARA, 2002), como pode ser observado na Figura 2. A bacia de drenagem da Baía de Guanabara apresenta um volume total de água estimado em $2,2 \times 10^9 \text{ m}^3$ (JICA, 1994).

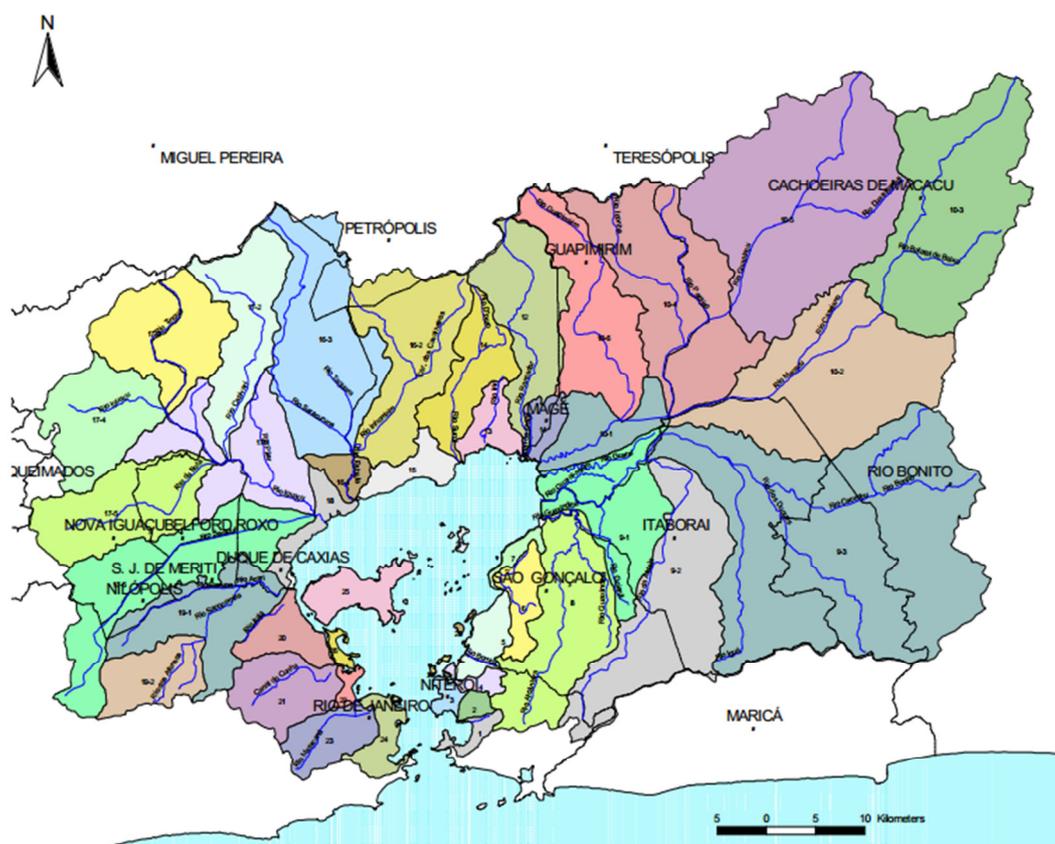


Figura 2: Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara (Fonte: INSTITUTO BAÍA DE GUANABARA, 2002).

A Região Hidrográfica da Baía da Guanabara é dividida em bacias hidrográficas menores, cujos principais cursos d'água que contribuem diretamente para a baía são: Canal do Cunha, Canal do Mangue, Carioca, Maracanã, Faria e Timbó, Irajá, Acari, Pavuna-Meriti, Sarapuí, Iguaçú, Estrela, Saracuruna, Inhomirim, Mutondo, Imboaçú, Guaxindiba, Alcântara, Caceribu, Guapi-Macacu, Magé, Roncador, Iriri, Suruí, Bomba (INSTITUTO BAÍA DE GUANABARA, 2002).

Nas áreas densamente urbanizadas, os rios são quase todos canalizados e em muitos trechos são cobertos, conduzindo águas de péssima qualidade (INSTITUTO BAÍA DE GUANABARA, 2002).

Os rios e canais que compõem a bacia hidrográfica da Baía de Guanabara, dentre os quais muitos se apresentam retificados, deságuam na baía e geram um fluxo médio estimado de aporte de água doce de aproximadamente 100 m³/s. Este fluxo varia entre um limite mínimo de 33 m³/s na estação seca (Junho a Agosto) e um limite máximo em 186 m³/s na estação chuvosa (Dezembro a Abril). Adiciona-se a este volume 25 m³/s de água de origem doméstica descartada pela Companhia Estadual de Água e Esgoto (CEDAE). Dessa forma, o fluxo total estimado de água doce para a Baía de Guanabara gira em torno de aproximadamente 125 m³/s (OLIVEIRA, 2009).

3.2.2. Precipitação Pluviométrica

A precipitação pluviométrica total anual média na região é superior a 2.000 mm no topo da Serra do Mar e oscila entre 1.000 e 1.500 mm na Baixada Fluminense. Durante o verão, chuvas fortes excedem os 10 mm em duas horas, produzindo um intenso processo de alagamento das áreas de baixada (BARRETO, 2004).

3.2.3. Clima

Na região da área de interesse, o clima é quente e úmido, com temperatura média anual de 23,7 °C e umidade relativa do ar média de 78% (BARRETO, 2004). Com uma velocidade média de 3 m/s, os ventos mais frequentes na região são os de leste-nordeste, oriundos do sistema de circulação anticiclone do Atlântico Sul. Esses ventos mantêm as temperaturas elevadas e com forte umidade durante o ano (BARRETO, 2004).

3.2.4. Correntes de Maré

A circulação na Baía de Guanabara sofre uma forte influência do regime de marés, tanto nas oscilações da superfície livre quanto nas correntes (DEFANT, 1960). As correntes de maré da Baía de Guanabara se caracterizam por apresentar marés mistas, mas predominantemente dominadas pelas componentes semidiurnas, com um período de cerca de 12,5 h, apresentando diferenças nas alturas da preamar e baixa-mar, possuindo amplitude máxima de 1,40 m, amplitude média de sizígia de cerca de 1,20 m, amplitude média de quadratura de 80 cm e amplitude mínima de 20 cm (AMADOR, 1997). As oscilações de marés observadas na área têm sua origem ligada à sua conexão com o Oceano Atlântico, repercutindo em oscilações no interior da baía (AMADOR, 1997). A propagação da onda de maré para o interior da baía sofre alterações de fase e amplitude em função da geometria da Baía de Guanabara (BARRETO, 2004).

As direções das correntes de maré são o resultado da combinação da própria força geradora da maré relacionada com a topografia de fundo e a conformação da linha de costa, seguindo predominantemente o alinhamento do canal central da baía e de seus canais secundários (KJERFVE *et al.*, 1997). Nas proximidades da barra de entrada da Baía de Guanabara, o estreitamento morfológico provoca um aumento considerável nas velocidades das correntes de maré (BARRETO, 2004). As marés apresentam direções paralelas às isóbatas locais, sendo que os maiores valores ocorrem na maré enchente, que alcança 156 cm/s na camada superior na margem leste, próximo ao Forte de Gragoatá, e 85 cm/s na margem oposta (oeste), próximo ao Aeroporto Santos Dumont. A partir do alinhamento entre o Aeroporto Santos Dumont e o bairro do Gragoatá a baía sofre um alargamento que se reflete na diminuição das velocidades dessas correntes, que chegam a um máximo de 54 cm/s na maré enchente e 44 cm/s na maré vazante a SE da Ilha do Governador (JICA, 1994). Na área interna da Baía de Guanabara, a velocidade de corrente chega a menos de 0,3 m/s (MAYR *et al.*, 1989).

As correntes de marés são muito eficientes e proporcionam um volume de troca de águas de aproximadamente 108 m³ por ciclo de maré, ou seja, 10% do volume total da Baía (DE LUCA REBELLO *et al.*, 1986 *apud* OLIVEIRA,

2009), com um tempo médio de residência das águas da Baía de Guanabara de 20 ± 5 dias (LIMA, 1996 *apud* OLIVEIRA, 2009). Devido a esse enorme volume de água que entra e sai pela barra da Baía de Guanabara através de seu canal principal a cada fluxo ou refluxo da maré, os ventos não influenciam tanto na direção e na intensidade das correntes quanto as marés (GUIMARÃES *et al.*, 2007). Entretanto, a passagem de frentes frias implica em condições hidrodinâmicas mais energéticas, nas quais a atuação dessas forças soma-se à das correntes de maré (CAMARGO, 2002 *apud* GUIMARÃES *et al.*, 2007). Logo, situações que envolvam a aceleração das correntes de preamar por ventos de S, SW e SE, associadas à ressuspensão de areias médias pelas ondas, determinam cenários de provável mobilização intensa de areias e um transporte sedimentar resultante para o interior da baía (GUIMARÃES *et al.*, 2007).

3.2.5. Salinidade

Considerando seu modelo de circulação, a baía é classificada como um estuário de cunha salina em algumas regiões internas, onde há estratificação máxima. Em outras regiões específicas, é classificado como estuário de águas parcialmente misturadas, caracterizado pela ausência de um gradiente salino bem definido (KJERFVE *et al.*, 1997). Em geral, a salinidade alta que ocorre em determinadas regiões é devida à diminuição das correntes de maré como consequência do alargamento transversal da baía (QUARESMA, 1997 *apud* MARINO, 2011).

3.2.6. Características dos Sedimentos

De um modo geral, a Baía de Guanabara apresenta grande deposição de sedimentos finos a partir da região central até as margens internas, causando o assoreamento da área (MARINO, 2011). Isso ocorre devido a diminuição das correntes de maré devido ao alargamento da Baía nesta região. Por sua vez, os sedimentos arenosos são depositados principalmente na região da boca do estuário, área dominada pelas forças de ondas e marés

(MARINO, 2011). A presença de areia está relacionada ao estreitamento morfológico do local de ocorrência, que permite um aumento da velocidade graças à alta energia das correntes de maré e não favorece a deposição de sedimentos mais finos (BARRETO, 2004). Uma sedimentação mais lamosa, com predominância de argilas, ocorre através da combinação entre diminuição da hidrodinâmica e presença de manguezais, já que eles capturam os sedimentos mais grossos oriundos do continente (BARRETO, 2004).

Os sedimentos da Baía de Guanabara são constituídos principalmente de sedimentos arenosos e lamas sílticas (AMADOR, 1997), como pode ser verificado na Figura 3. Na enseada do Catalão, na Ilha do Fundão, são encontradas ainda lamas silte-arenosas. Nas proximidades da área de interesse, na região noroeste da baía, existe um grande aporte de sedimentos pela grande influência das atividades antrópicas na área, tais como a entrada de esgoto, a canalização de rios, o desmatamento e as atividades agrícolas (OLIVEIRA, 2009).

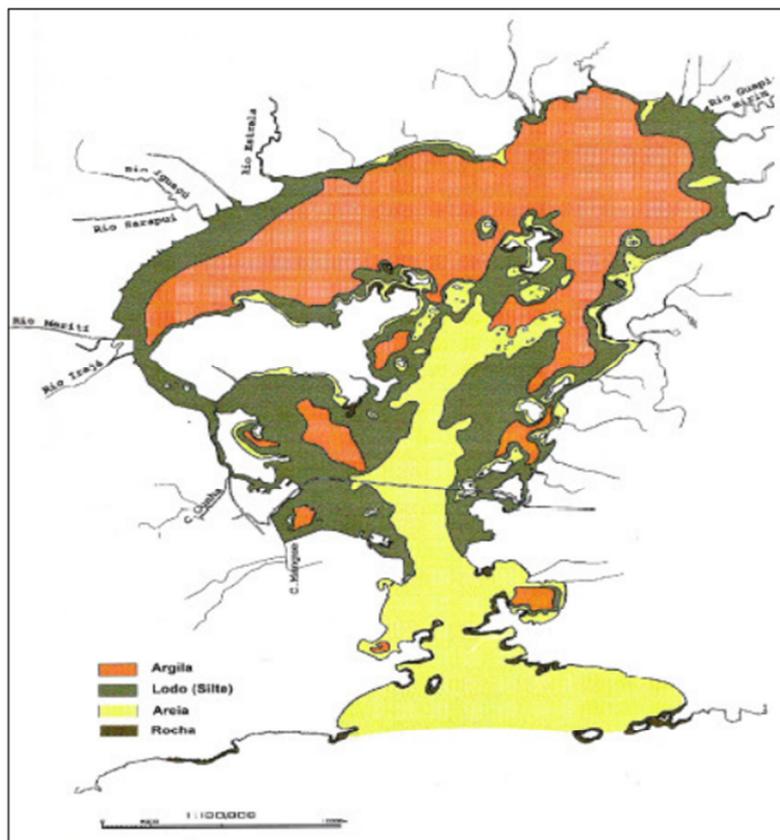


Figura 3: Distribuição granulométrica dos sedimentos da Baía de Guanabara (Fonte: modificado de AMADOR, 1997).

O aumento na descarga sedimentar conduz a elevadas taxas de assoreamento, afetando a qualidade ambiental do estuário já que, além dos sedimentos, vários poluentes industriais e domésticos são despejados diariamente na Baía de Guanabara, tornando-a um dos ambientes mais degradados do litoral brasileiro (MARINO, 2011). Os rios da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara contribuem para o assoreamento da baía em cerca de quatro milhões de toneladas anuais de carga sólida (OLIVEIRA, 2009). Os aterros também são responsáveis pelo assoreamento da baía.

Ao longo do século XX, a taxa de sedimentação da Baía de Guanabara aumentou em 10 vezes a taxa original. Esta mudança está relacionada com a industrialização ocorrida na região, o crescimento da população no entorno da baía, os aterros, a expansão do aeroporto internacional e a construção de vias de transporte rápido. Todas essas transformações aumentaram o fluxo dos rios e o transporte de sedimentos (GODOY *et al.*, 1998 *apud* OLIVEIRA, 2009).

3.2.7. Fontes de Poluição

São identificadas como responsáveis pela contaminação da Baía de Guanabara diversas fontes de poluição, sejam elas pontuais e/ou difusas, em razão do desenvolvimento industrial e da ocupação populacional do seu entorno (OLIVEIRA, 2009).

Efluentes derivados de lixões, de indústrias (petroquímicas, metalúrgicas, alimentícias, etc.), de curtumes e de outras atividades industriais são apontados como as principais fontes pontuais de poluição (OLIVEIRA, 2009). Estes efluentes concentram-se especialmente na região noroeste da baía, ao norte da Ilha do Fundão. Já os esgotos domésticos, os materiais originados das emissões atmosféricas e o óleo derivado das atividades de transporte constituem algumas das principais fontes de poluição difusa (OLIVEIRA, 2009).

Os metais pesados também estão presentes nos sedimentos de fundo da Baía de Guanabara. A principal carga de metais pesados atinge a baía através dos rios situados na região noroeste, nos arredores da área de interesse, em especial os rios Sarapuí, Meriti, Iguçu, Estrela e Irajá

(OLIVEIRA, 2009). As altas concentrações de metais atribuídas a este local se devem à descarga dos rios mais poluídos nesta área e também à proximidade de uma grande refinaria de petróleo (BAPTISTA NETO *et al.*, 2006).

A região ao redor da baía tem sido modificada pelas atividades antrópicas no último século, principalmente pelos desflorestamentos e pelas ocupações descontroladas do solo que aumentaram a carga e o transporte de sedimentos para a Baía de Guanabara (OLIVEIRA, 2009). Este processo de degradação da baía foi intensificado a partir da década de 1950, com o surgimento de um dos maiores pólos industriais da região de sua bacia hidrográfica e pelo elevado crescimento urbano na região devido ao aumento do fluxo migratório (CANAL DO FUNDÃO; COELHO, 2007).

A urbanização extensiva ao redor da Baía de Guanabara durante as últimas décadas conduziu a uma intensa erosão do terreno circunvizinho, com um conseqüente maior aporte de sedimentos, areia e lixo para a baía. Os aterros e a retificação de rios e canais foram a solução encontrada para iniciar o saneamento da Baixada Fluminense, mas propiciaram maior assoreamento da região (CANAL DO FUNDÃO).

Por tornarem a circulação das águas deficiente, os aterros constantes também aumentaram a degradação dessa área. A destruição dos manguezais e a canalização de rios realizados durante o processo de industrialização do século XX também transformaram o ambiente desta região (CANAL DO FUNDÃO). Outras obras, como a construção de pontes, vias de acesso, aeroportos e fábricas, além do surgimento de comunidades, foram igualmente responsáveis pela estagnação hídrica da região (KAUFMANN, 2009).

Toda essa ocupação do entorno da Baía de Guanabara não foi acompanhada por uma infraestrutura urbana. Sem apoio público, o esgoto doméstico *in natura* e o lixo produzido nas comunidades eram despejados por ligações clandestinas nos rios adjacentes, nas galerias das ruas próximas ou diretamente na Baía de Guanabara (CANAL DO FUNDÃO). A bacia do Canal do Cunha é uma das que mais contribuíram com o lançamento de grande parte do volume de lixo e esgoto para a Baía de Guanabara (KAUFMANN, 2009).

Os lançamentos da carga de efluentes brutos ou parcialmente tratados têm como origem principal os domicílios de cerca de 10 milhões de habitantes e os efluentes industriais de mais de 12 mil indústrias, além da carga de dois

aeroportos, do maior porto do estado e dos 12 km da Ponte Rio-Niterói, usada por milhares de automóveis diariamente (BAPTISTA NETO *et al.*, 2006).

O despejo de efluentes industriais são responsáveis por quase toda poluição química por substâncias tóxicas e metais pesados que se acumulam nos sedimentos de fundo da baía (LIMA, 2006 *apud* OLIVEIRA, 2009). Além disso, as diversas indústrias de todos os portos instaladas no entorno da Baía de Guanabara, como a altamente poluidora Refinaria de Manguinhos, formaram um “cinturão industrial”, contribuindo ainda mais para esse quadro (CANAL DO FUNDÃO).

A Baía de Guanabara não recebe apenas consideráveis quantidades de efluentes sanitários, descargas industriais, urbanas e agrícolas, mas também muita poeira atmosférica. E todos estes poluentes chegam à baía combinados ao escoamento dos rios (OLIVEIRA, 2009). Nos pontos mais críticos, a qualidade da água é similar a dos esgotos sanitários parcialmente tratados, sendo os problemas de odor também bastante significativos (KAUFMANN, 2009).

Em função da forte ação das correntes de maré, o tempo médio de renovação de 50% das águas da baía é de aproximadamente 11,4 dias (KJERFVE *et al.*, 1997), o que explica a qualidade relativamente boa da água na metade distal da baía. Para o interior da baía, este tempo de renovação é mais longo e o grande aporte de poluentes, principalmente na metade oeste da baía (MAYR *et al.*, 1989), cria zonas altamente poluídas.

Diversos estudos foram elaborados desde a década de 1940 e várias medidas de controle foram tomadas, mas nenhuma foi capaz de reverter o processo geral de poluição e contaminação da Baía de Guanabara (COELHO, 2007), tais como a criação de algumas estações de tratamento de efluentes desde a década de 1970 que não foram suficientes para tratar a grande quantidade de resíduos lançados na baía (OLIVEIRA, 2009).

Sua situação de qualidade da água é crítica, apesar dos projetos de despoluição previstos (OLIVEIRA, 2009), como o Programa de Despoluição da Baía de Guanabara (PDBG) que foi criado no início da década de 90 com a finalidade de planejar e coordenar um conjunto de ações visando a despoluição das águas da baía (PROGRAMA DE DESPOLUIÇÃO DA BAÍA DE GUANABARA), mas que ainda não chegou a ser finalizado. De um modo geral,

as obras de esgotamento sanitário ainda não surtiram os efeitos desejados porque a vazão de esgotos domésticos que chega às estações é muito menor do que a planejada (KAUFMANN, 2009).

Mesmo sendo um ambiente muito estudado atualmente, ainda não se conhece totalmente o nível de contaminação da Baía de Guanabara por alguns compostos de origem antropogênica (ALMEIDA, 2003).

3.3. Perspectiva Histórica e Ambiental da Ilha do Fundão

O histórico de intervenções na região tem seu início em 1949 com a criação da Ilha do Fundão (KAUFMANN, 2009). A ideia de se construir uma área para agregar as unidades da Universidade Federal do Rio de Janeiro era estudada desde 1935. Vários locais foram cogitados para abrigar a Cidade Universitária, mas após muitos estudos, venceu o projeto que previa a integração através de aterro de um arquipélago formado por oito pequenas ilhas da Baía da Guanabara: Baiacu, Bom Jesus ou Caqueirada, Cabras, Catalão, Fundão, Pindaí do Ferreira, Pindaí do França e Sapucaia, a maior das nove ilhas da Enseada de Inhaúma, que durante anos funcionou como um depósito de lixo, recebendo e acumulando detritos e entulhos de vários bairros da cidade do Rio de Janeiro (CANAL DO FUNDÃO). A disposição inicial das ilhas e a configuração posterior ao aterramento podem ser observadas na Figura 4.

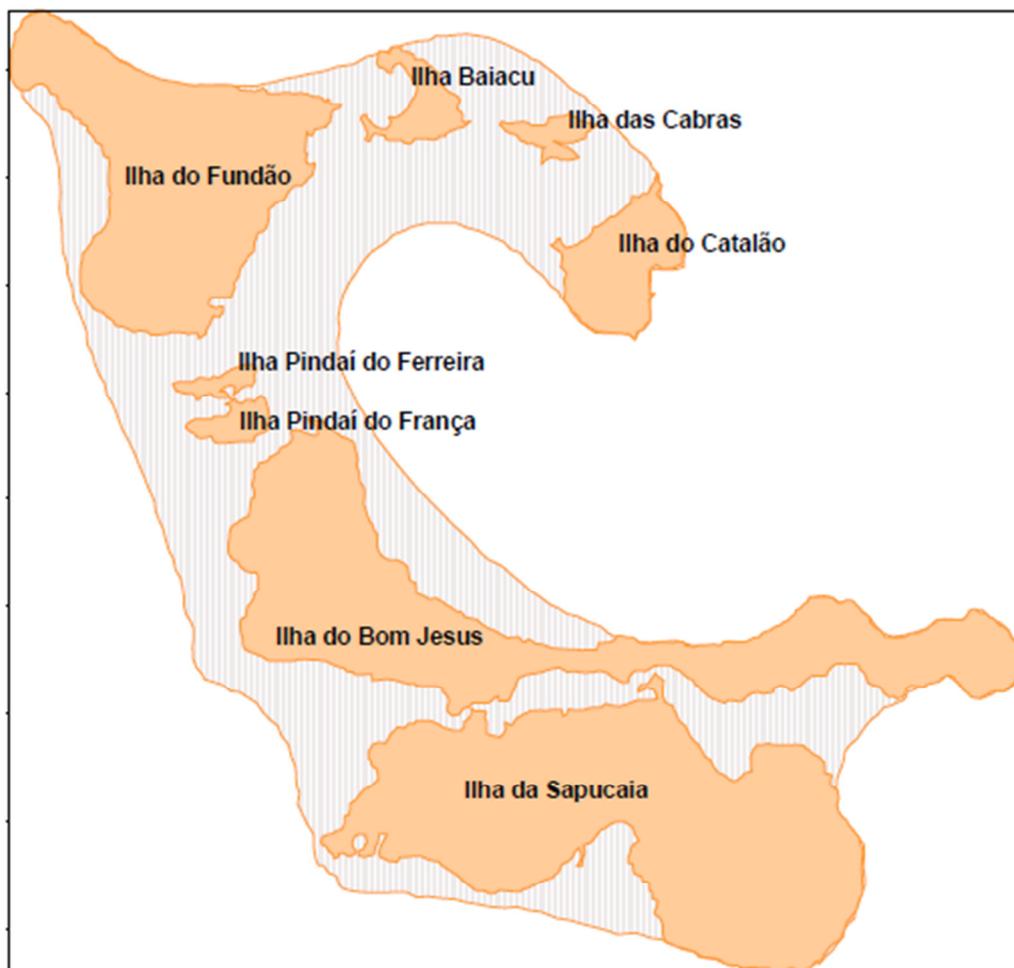


Figura 4: Projeto de criação da Ilha do Fundão, com a fusão do arquipélago formado por oito ilhas (Fonte: KAUFMANN, 2009).

A nona ilha da Enseada de Inhaúma, a Ilha do Pinheiro, situada em frente ao antigo Porto de Inhaúma, acabou sendo anexada ao continente por aterro (CANAL DO FUNDÃO). Os aterros realizados na região da Enseada de Inhaúma podem ser melhor observados na Figura 5 a seguir.

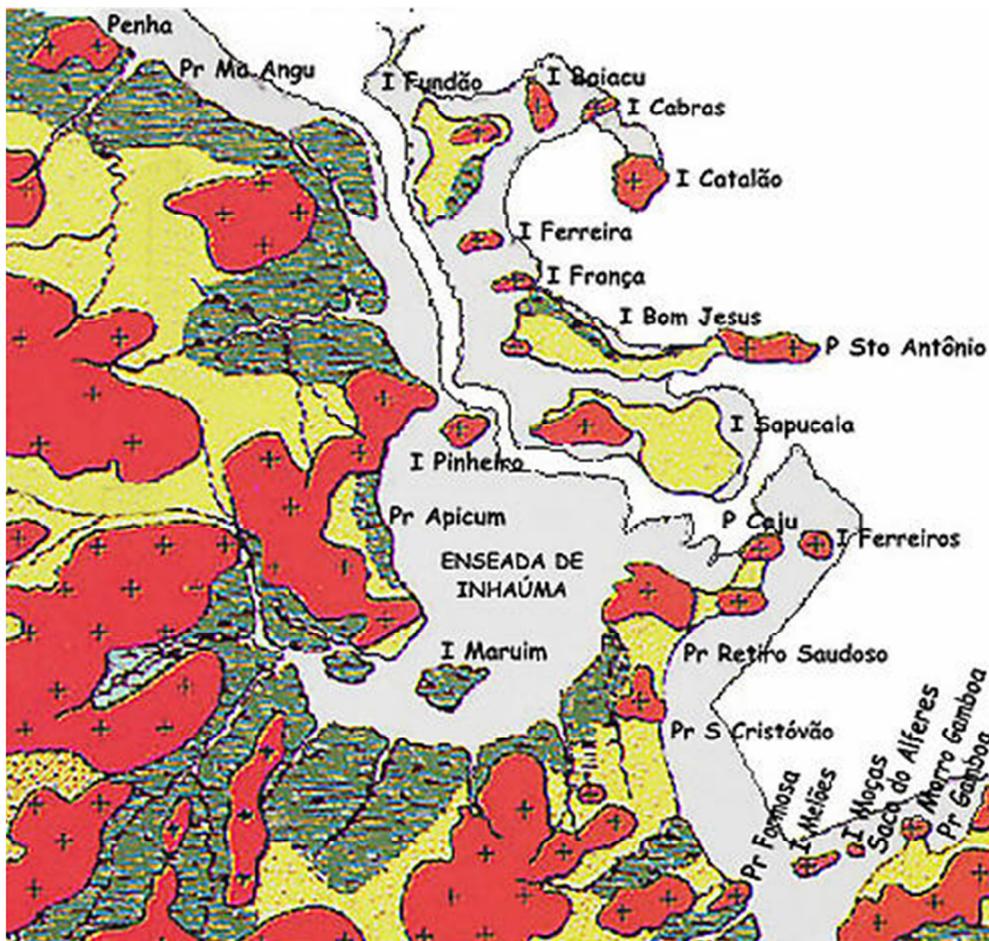


Figura 5: Aterros na região da Enseada de Inhaúma (Fonte: MAPAS ANTIGOS, HISTÓRIAS CURIOSAS, Mapa – Aterramento da orla da Baía de Guanabara na Zona Norte, 2000).

Estes aterros foram realizados através do desmonte do relevo das ilhas originais, antes bastante acidentado, nivelando a superfície e integrando as ilhas. As Ilhas do Fundão, Sapucaia e Bom Jesus possuíam altas colinas, inclusive com farta vegetação, as quais foram completamente aplainadas, resultando na árida paisagem de hoje (FOI UM RIO QUE PASSOU).

A ilha artificial, situada no estuário de Manguinhos, Enseada de Inhaúma, formada pelos rios Jacaré, Farias e Timbó, foi construída a partir do alargamento em 3 km² de área efetiva da Ilha do Fundão original (CANAL DO FUNDÃO), totalizando uma superfície de aproximadamente 5,9 km². A circulação das águas, que anteriormente era feita por oito canais com largura aproximada de 1.600 m, já em 1957 passou a ser realizada por apenas dois canais, o do Fundão e o da Ilha dos Pinheiros, com largura total inferior a 500 m (COELHO, 2007). Os canais de correntes de maré que passavam entre as

ilhas e permitiam a renovação da água e a manutenção de um fundo arenoso foram bloqueados, tornando a área crítica em circulação e poluição (AMADOR, 1997). Esses canais que passavam entre as ilhas antes do aterramento podem ser observados na Figura 6.

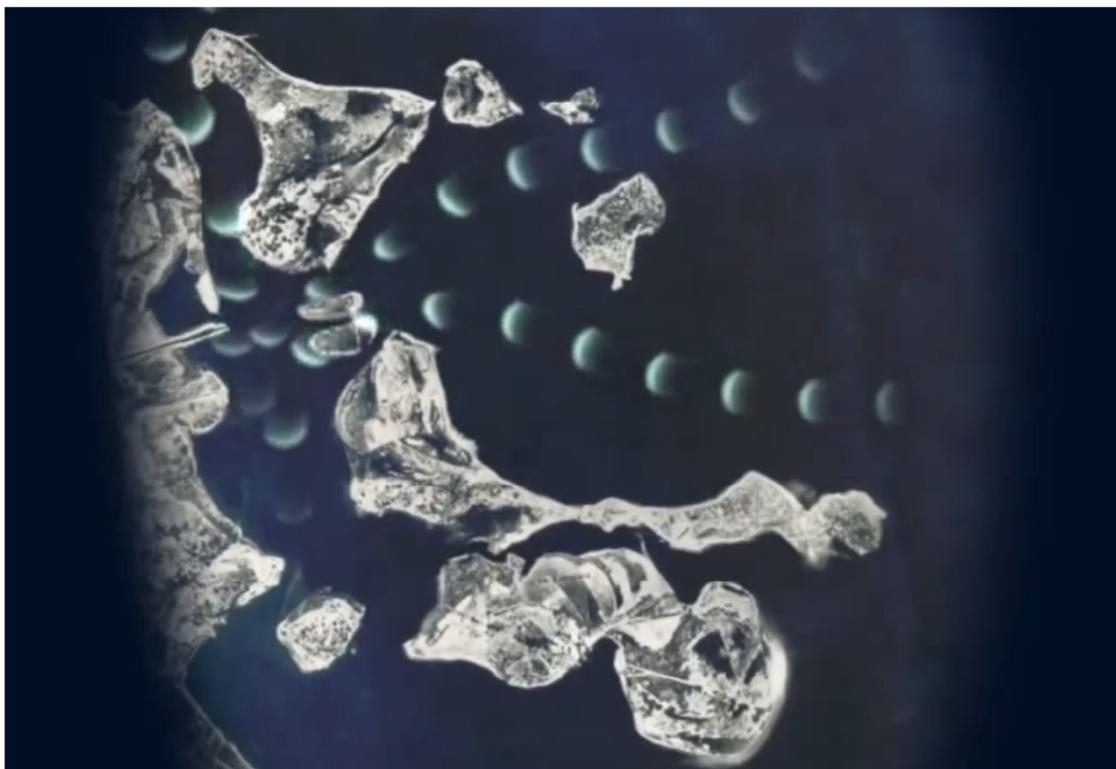


Figura 6: Simulação da circulação das águas antes do aterro para a formação da Ilha do Fundão (Fonte: GF DESIGN para SEA, captura de tela do vídeo institucional “Revitalização do Canal do Fundão”, 2011).

O aterramento dessas ilhas para a formação da Ilha do Fundão deu origem à margem leste do Canal do Fundão. Já a história da margem oeste do canal começa quando moradores construíram suas casas em uma faixa de areia junto ao mar. Na ausência de qualquer política pública, os próprios moradores jogavam terra e empurravam o mar para lhes servir de chão. Cada morador aterrava o seu próprio terreno, com um volume de terra tal que a água da maré não pudesse desmanchar. Os aterros iam unindo vizinhos, até que seus terrenos ficassem firmes (GF DESIGN para SEA, transcrição do áudio do vídeo institucional “Revitalização do Canal do Fundão”, 2011). Nascia assim o Complexo da Maré, hoje com cerca de 130 mil habitantes, segundo o censo de

2010 do IBGE. Mas todo esse processo de aterramento de ambas as margens acabou causando grande alteração na circulação das águas da Baía da Guanabara.

Às margens do Canal do Fundão passam a Linha Vermelha e a Linha Amarela, duas das principais vias de acesso à cidade do Rio de Janeiro. A construção dessas vias estreitou ainda mais esse canal, que já vinha há décadas sofrendo com os aterramentos e com o consequente assoreamento. Além disso, cada vez mais efluentes industriais, lixo e esgoto doméstico são trazidos por rios e canais que desembocam na Baía de Guanabara, reduzindo a profundidade original do Canal do Fundão de 14 metros para apenas 40 centímetros (GF DESIGN para SEA, transcrição do áudio do vídeo institucional “Revitalização do Canal do Fundão”, 2011).

Como forma de amenizar esse problema, entre maio de 2009 e dezembro de 2012 foi realizada a dragagem e a recuperação ambiental do Canal do Fundão e de seu entorno. Este processo compreendeu a dragagem de 3.000.000 m³ de sedimentos ao longo de 7 km de extensão do canal (AQUAFLUXUS, 2012), que passou a ter uma largura média de 70 metros e uma calha central de 4 metros de profundidade, permitindo a passagem de embarcações médias (GF DESIGN para SEA, transcrição do áudio do vídeo institucional “Revitalização do Canal do Fundão”, 2011).

A região do entorno da Ilha do Fundão apresenta-se muito deteriorada devido ao aporte de várias fontes de poluição. Mudanças como a junção dos canais de Benfica e Manguinhos em uma única saída para a Baía de Guanabara dando origem ao Canal do Cunha, trouxeram mais lixo e causaram maior assoreamento no local (CANAL DO FUNDÃO). Diversos estudos apontam o problema do assoreamento dos canais como a grande causa para a degradação da região graças à deficiência da circulação hidrodinâmica (KAUFMANN, 2009). Esse assoreamento contribuiu especialmente para o estreitamento e a perda de profundidade do Canal do Fundão, já que suas águas passaram a circular cada vez menos, transformando-o em um grande reservatório de poluição proveniente do Canal do Cunha (KAUFMANN, 2009) e provocando a redução da biodiversidade local (CANAL DO FUNDÃO). A influência do movimento de maré é limitada nessa área do Canal do Fundão,

uma vez que a deposição de sedimentos reduziu as seções transversais do canal (KAUFMANN, 2009).

As obras realizadas no entorno da Baía de Guanabara ocasionaram estrangulamentos pontuais nos canais do entorno, reduzindo sua seção hidráulica efetiva, especialmente aqueles causados pelas pontes de acesso à Ilha do Fundão e pela ponte Oswaldo Cruz (KAUFMANN, 2009), conforme pode ser observado na Figura 7. Antes da dragagem para a revitalização ambiental da região, o trecho entre a embocadura do canal do Cunha e a ponte Oswaldo Cruz apresentava-se extremamente assoreado, onde nas situações de baixa-mar exibia bancos de vaza negra, sem qualquer circulação hídrica aparente. (LACERDA & ROSMAN, 1998 *apud* KAUFMANN, 2009).



Figura 7: Identificação das três pontes que transpassam o Canal do Fundão (Fonte: KAUFMANN, 2009).

Segundo os últimos boletins consolidados de qualidade das águas da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara divulgados pelo INEA, a área que apresenta água de pior qualidade e que representa uma das mais poluídas da

baía está localizada no canal entre as Ilhas do Governador e do Fundão e o continente, apresentando baixos níveis de Oxigênio Dissolvido e níveis elevados de DBO, de nutrientes (tais como Nitrogênio e Fósforo) e de Coliformes Fecais (KAUFMANN, 2009). Essa região próxima à Ilha do Governador e à Ilha do Fundão recebe uma carga poluidora considerável, principalmente em termos de poluição orgânica (COELHO, 2007), proveniente das indústrias e das novas áreas residenciais da Baixada Fluminense, compreendendo os municípios de Duque de Caxias, São João de Meriti, Belford Roxo, Nilópolis e Nova Iguaçu (KAUFMANN, 2009). Por essa razão, é necessário ampliar a cobertura do sistema de esgotamento sanitário nas bacias da região oeste, que incluem as regiões de Pavuna, Acari, Bangu e Sarapuí (COELHO, 2007), especialmente nos canais entre o continente e as ilhas do Governador e do Fundão.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Ambiente Estuarino

Dyer (1997) definiu que estuário é um corpo de água costeiro semifechado, com interligação livre com o oceano aberto, estendendo-se rio acima até o limite da influência da maré, sendo que em seu interior a água do mar é mensuravelmente diluída pela água doce oriunda da drenagem continental.

As definições de estuário dependem do tipo de abordagem requerida. Mas como no presente estudo os aspectos relacionados à sedimentação assumem grande importância, a definição mais apropriada talvez seja a de Dalrymple *et al.* (1992), como sendo a parte voltada para o mar de um sistema de vales inundados, os quais recebem sedimentos de fontes fluviais e marinhas, contendo fácies influenciadas pela maré, ondas e processos fluviais. Considera-se que o estuário se estende desde o limite interno das fácies de maré, até o limite oceânico das fácies costeiras na entrada.

Entretanto, o termo sistema estuarino possui uma definição mais abrangente e pode ser aplicado a diversos ambientes costeiros de transição sob influência da descarga fluvial e da maré (GEOPHYSICS STUDY COMMITTEE, 1977 *apud* DIAS, 2005).

Um estuário pode ser dividido em três zonas distintas, como mostrado na Figura 8, sendo levados em consideração a gênese geológica e os processos regionais que contribuem para a formação desses ambientes (KJERFVE, 1987 *apud* MIRANDA *et al.*, 2002):

1. Zona de Maré do Rio (ZR) – é a parte fluvial do estuário, com salinidade praticamente igual a zero, mas ainda sujeita à influência da maré;
2. Zona de Mistura (ZM) – corresponde ao estuário propriamente dito e é definida como a região onde ocorre a mistura da água doce proveniente do aporte fluvial gerado pela drenagem continental com a água do mar;

3. Zona Costeira (ZC) – trata-se da região costeira adjacente que se estende até a frente da pluma estuarina de maré vazante, cuja extensão delimita a Camada Limite Costeira (CLC), sendo esta caracterizada por águas mais turvas que as do oceano aberto.

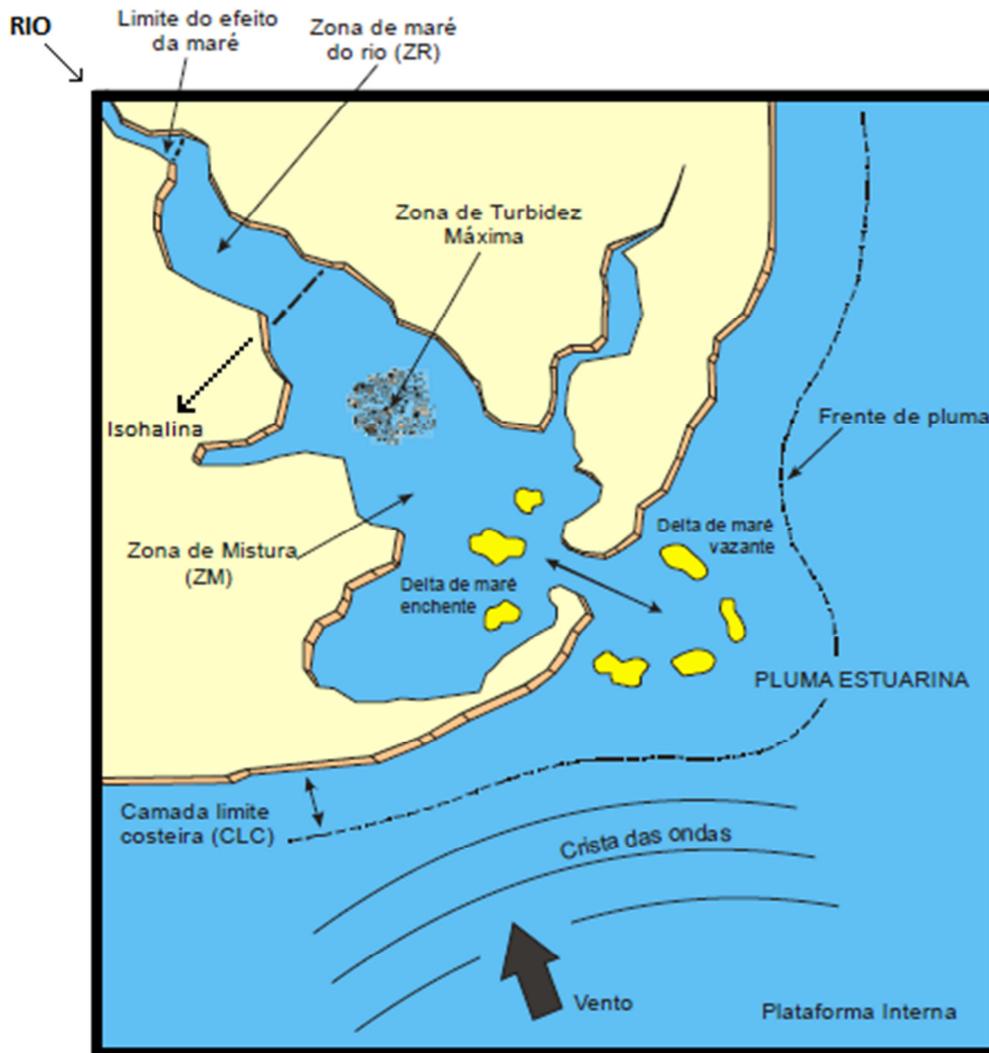


Figura 8: Diagrama esquemático das regiões funcionais de um estuário: Zona de Maré do Rio (ZR), Zona de Mistura (ZM) e Zona Costeira (ZC), juntamente com a delimitação funcional de um sistema estuarino hipotético (Fonte: modificado de MIRANDA *et al.*, 2002).

As características sedimentológicas de um estuário são determinadas principalmente pelas áreas-fonte dos sedimentos. Os sedimentos de origem continental, transportados pelos rios, são originados dos processos de intemperismo das rochas, erosão e lixiviação do solo (GIANNINI & RICCOMINI, 2000 *apud* CARNEIRO, 2010). Já os sedimentos marinhos, transportados

pelas correntes marinhas, litorâneas e de maré, provêm geralmente de depósitos de sedimentos da plataforma continental adjacente (AMADOR, 1992 *apud* CARNEIRO, 2010), sendo relevantes para os processos de troca da salinidade, de erosão, de circulação e de deposição dos sedimentos carreados pelo aporte fluvial. A hidrodinâmica estuarina produz mudanças na descarga dos rios, afetando as características do transporte dos sedimentos e outras substâncias orgânicas, bem como as condições de vida da biota (DALRYMPLE *et al.*, 1992).

Com uma produção primária de cerca de 10 kcal/m² anuais de matéria orgânica, comparada a menos de 1 kcal/m² por ano em oceano aberto, os estuários estão entre as áreas mais produtivas da Terra (KENNISH, 1991 *apud* CORDEIRO, 2006). Essa elevada produtividade dos ecossistemas estuarinos deve-se aos nutrientes carreados pelos rios e pela influência periódica tanto de água doce quanto de água salgada (MELO-MAGALHÃES *et al.*, 1996).

Os impactos antropogênicos sofridos por estes ambientes têm consequências importantes na manutenção da vida por serem ocupados por fauna e flora diversas (CORDEIRO, 2006). Também desempenham um papel importante para a população instalada no seu entorno, que utilizam os estuários como fonte de sustento, seja para pesca, cultivo, recreação ou como porto.

Os estuários agem como uma zona de transição, na qual os contaminantes são transportados dos rios para o oceano. Como são, na maioria das vezes, áreas biologicamente ativas, que recebem consideráveis entradas de poluentes de regiões costeiras via aporte fluvial ou lançamento de esgotos, os estuários acabam se transformando em importantes reservatórios para contaminantes hidrofóbicos (KAAG *et al.*, 1998; MASKAOUI *et al.*, 2001 *apud* LUZ, 2007).

Até a metade do século XIX, a influência da atividade do homem sobre os estuários não era reconhecida como importante e os principais impactos estavam limitados às descargas de efluentes domésticos, juntamente à erosão nas áreas agrícolas, que ocasionava um maior transporte de sedimento para os rios. Este quadro passou a ser modificado a partir de meados do século XX, quando houve uma enorme expansão das atividades em complexos industriais instalados próximos aos estuários (MIRANDA *et al.*, 2002).

4.2. Transporte de Sedimentos

Segundo Gao *et al.* (1994), o termo “transporte de sedimentos” refere-se a qualquer taxa líquida de transporte de sedimentos, incluindo a magnitude e a direção. Em outras palavras, representa o vetor médio de uma taxa instantânea de transporte em um determinado local ou a dispersão de uma parcela específica de sedimento. De acordo com estes autores, qualquer tendência de transporte de sedimentos que possui uma probabilidade significativamente mais alta na direção do transporte líquido do que em qualquer outra direção contém informações sobre este e pode ser usado para determinar um padrão de transporte.

Friedman (1979, *apud* GAO, 1996) explica que há variações espaciais nos parâmetros granulométricos em diferentes ambientes, tais como praias, rios e áreas costeiras. Segundo Gao (1996) estas mudanças também ocorrem dentro de um mesmo ambiente como resposta aos processos de transporte de sedimentos e são conhecidas como tendências granulométricas. Baseando-se nestas tendências, muitos programas surgiram com a finalidade de associá-las aos padrões de transporte em diversos ambientes deposicionais.

Os principais mecanismos que causam alterações nos parâmetros dos sedimentos durante o curso de transporte incluem a abrasão, o transporte seletivo e a mistura de sedimentos de várias fontes (RUSSELL, 1939 *apud* GAO & COLLINS, 1994). Ao longo da trajetória do transporte, a abrasão torna as partículas sedimentares mais finas, o transporte seletivo causa o afinamento ou engrossamento dos sedimentos e a mistura do material a partir de diversas fontes pode destruir quaisquer padrões de granulometria produzidos por outros mecanismos de transporte (GAO & COLLINS, 1994).

De acordo com Carmo (2006), os processos físicos que ocorrem junto ao fundo são os mais significantes quando se trata de transporte de sedimentos. Segundo Leeder (1982, *apud* CARMO, 2006), o fluido no qual se encontra o sedimento exerce basicamente duas forças nos grãos: a força de arrasto, devido ao gradiente de velocidade do fluxo, que tende a movimentar o grão horizontalmente, e a força de empuxo, que tende a mover o grão no sentido vertical.

Baseando-se no conceito da tensão crítica de arrastamento, a caracterização do movimento incipiente parte do princípio que as partículas da superfície do fundo de um canal estão sujeitas à ação de forças hidrodinâmicas devido ao escoamento e à ação de forças resistentes devido ao seu peso submerso. Deste modo, uma partícula entra em movimento quando as ações solicitadoras superam as ações resistentes. No movimento incipiente, as ações solicitadoras e resistentes que agem sobre a partícula são praticamente iguais, mantendo-se, assim, o equilíbrio estático (CARDOSO, 1998 *apud* PORTUGUÊS, 2008).

Dolvitsch (2013) explica que o transporte de sedimentos pode ocorrer através de diferentes mecanismos, sendo que as cargas de sedimentos podem ser divididas em dois grandes grupos: a carga de arraste, também conhecida como carga de fundo, que engloba partículas que são mobilizadas por deslizamento, rolamento ou saltação, e a carga total em suspensão, que engloba partículas transportadas por suspensão ou turbidez. Ainda segundo Dolvitsch (2013), no deslizamento, as partículas, geralmente na forma lamelar, deslizam sem perder o contato com o leito do rio, enquanto no rolamento, as partículas possuem forma arredondada, movimentando-se sobre o leito sem perder o contato com este. Segundo Costa (2009), na saltação, as partículas podem momentaneamente perder o contato com o fundo, mas não ultrapassam uma altura maior que o diâmetro de alguns poucos grãos. Já na turbidez, as partículas estão dispersas no fluido, e no transporte em suspensão, a magnitude da componente vertical da velocidade turbulenta é maior que a velocidade de decantação do grão.

De acordo com Cardoso (1998 *apud* PORTUGUÊS, 2008), após o início do movimento do material sólido, há aumento da capacidade de transporte, propiciando que um volume crescente de partículas role e escorregue umas sobre as outras, ou que passem a se movimentar através de pequenos saltos, revezados com repouso ou com movimentos em que haja contato com o fundo, permitindo que partículas mais finas permaneçam em suspensão devido à turbulência, sendo transportadas no seio do escoamento. Assim, por ordem decrescente de tamanho das partículas, ocorre simultaneamente transporte sólido por arrastamento, por saltação e transporte sólido em suspensão.

4.3. Análise Granulométrica

A análise granulométrica consiste na determinação das dimensões das partículas que integram as amostras, presumivelmente representativas dos sedimentos, e no tratamento estatístico dessa informação. Esta análise determina as dimensões das partículas individuais e estuda a sua distribuição, pelo peso de cada classe dimensional considerada, pelo seu volume, ou ainda pelo número de partículas integradas em cada classe. Neste sentido, quanto menor for a amplitude das classes dimensionais, melhor será a caracterização da variabilidade dimensional das partículas que constituem o sedimento (DIAS, 2004).

A distribuição pode ser feita através de frequências parciais ou acumuladas. Na curva parcial (Figura 9a), os volumes referentes de cada classe granulométrica representam uma porcentagem individual de cada intervalo de diâmetro. A curva cumulativa (Figura 9b) representa o somatório dos volumes anteriores até o volume referente à última classe. Neste caso, a curva cresce ao longo do eixo que representa o diâmetro das partículas (eixo X), de acordo com a soma de cada novo ponto no eixo que representa o volume de partículas (eixo Y).

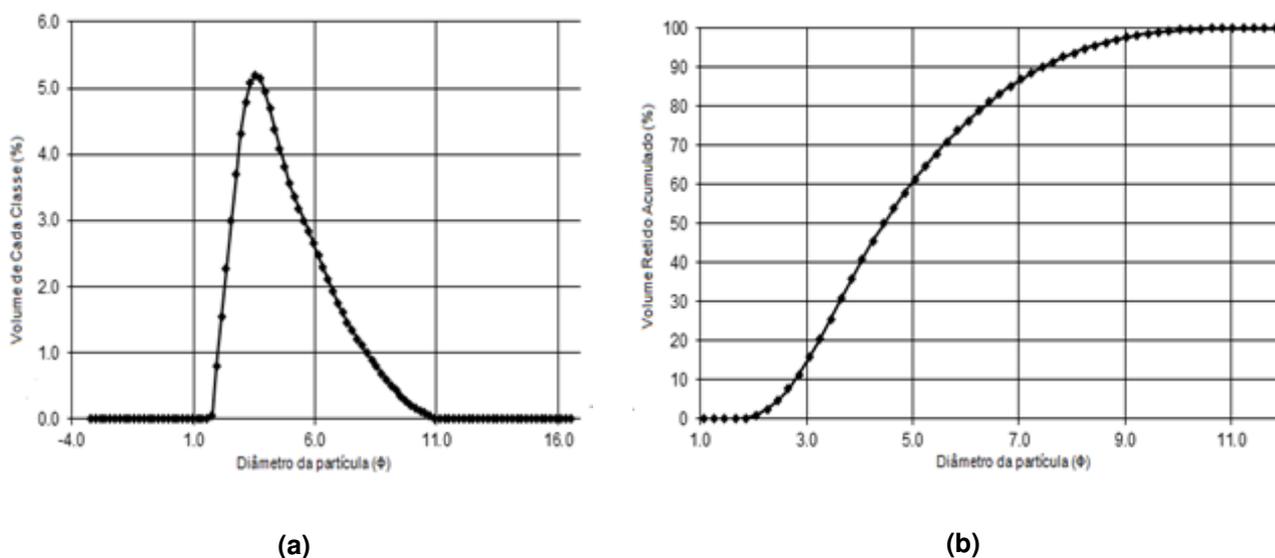


Figura 9: Exemplo de curva de frequência (a) simples e (b) cumulativa na escala ϕ :
Distribuição da amostra 7 do presente trabalho.

Devido à crescente importância em torno do entendimento das distribuições granulométricas, diversos tipos de técnicas foram desenvolvidos, tais como: peneiramento, microscopia quantitativa, espalhamento de luz, contadores ópticos de partículas, velocimetria, espalhamento de nêutrons / raios X, cromatografia por exclusão de tamanho, cromatografia hidrodinâmica, fracionamento de campo de fluxo (FFF), fracionamento de campo de fluxo elétrico, fracionamento de campo de fluxo por sedimentação, sensoriamento de zona elétrica, centrifugação / ultra centrifugação / sedimentação, tempo de voo aerodinâmico, entre outros (IACOCCA & GERMAN, 1997 apud PAPINI, 2003).

Cada uma dessas técnicas possui vantagens e desvantagens, sendo necessário que cada processo seja escolhido conforme as necessidades dos resultados requeridos. Neste trabalho, os métodos utilizados foram: Peneiramento, para a fração grossa das amostras e Difração a Laser, para a fração fina das amostras.

4.3.1. Método de Análise: Análise Granulométrica por Peneiramento

Existem dois tipos de peneiramento: o úmido e o seco. No peneiramento seco, uma série de peneiras de malhas padronizadas é utilizada, sendo mais comum as da série de *Tyler*. As peneiras são empilhadas, colocando-se no topo, a peneira de maior diâmetro de malha e no fundo, a de menor diâmetro de malha, acoplando-as a um recipiente final (prato de fundo), o qual recebe a fração fina da última peneira. O conjunto de peneiras pode ser agitado manualmente, mas devido ao peso do conjunto, convém que seja acoplado a um vibrador de peneiras que o agita mecanicamente. Já no peneiramento úmido, a amostra é colocada na peneira superior, adicionando-se água corrente para forçar as partículas mais finas a passarem pelas malhas (CARVALHO *et al.*, 2000).

4.3.2. Método de Análise: Análise Granulométrica por Difração a Laser

Nesta técnica, as partículas se encontram em um meio líquido e passam através de um feixe laser. Detectores medem a intensidade e o ângulo do feixe

espalhado, ou, a razão entre as intensidades da luz espalhada em ângulos fixos em relação à direção do feixe incidente. O sinal proveniente dos detectores é então, convertido por meio de algoritmos em informação sobre a distribuição de tamanho de partícula (IACOCCA & GERMAN, 1997; ONODA JR & HENCH, 1978 *apud* ROCHA, 2001).

De acordo com o Guia de Caracterização das Partículas da Malvern® (2012), as distribuições de tamanho das partículas são medidas através da variação angular da intensidade da luz difundida como um feixe de luz quando o laser passa através de uma amostra de partículas dispersas. Grandes partículas dispersam a luz em pequenos ângulos em relação ao feixe de laser e pequenas partículas dispersam a luz em ângulos grandes, conforme ilustrado na Figura 10.

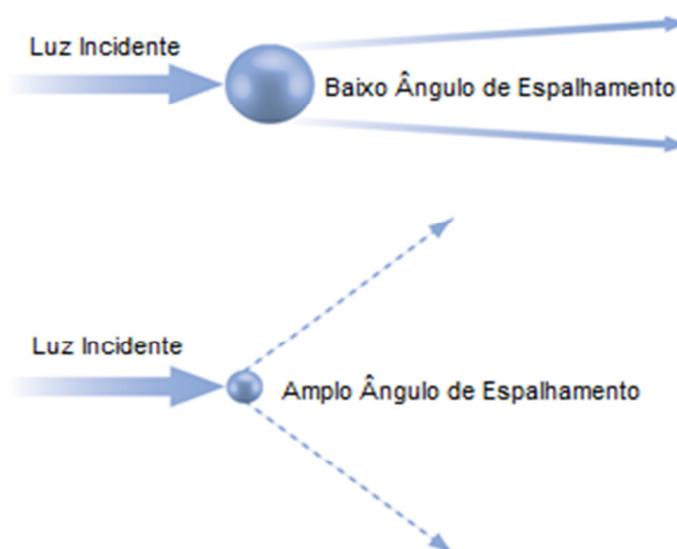


Figura 10: Representação do ângulo de espalhamento de pequenas e grandes partículas
(Fonte: modificado de MALVERN INSTRUMENTS WORLDWIDE, 2012).

Para a determinação da melhor curva de distribuição por difração a laser podem ser usadas duas teorias, denominadas teorias de Mie e Fraunhofer.

A teoria de Mie descreve a medida de tamanho de partícula por esferas homogêneas de tamanho arbitrário. Para partículas não esféricas, a teoria de Mie considera o diâmetro esférico equivalente por volume-peso. Esta teoria requer o conhecimento das propriedades ópticas (índice de refração e

componente imaginária) tanto do agente dispersante como da amostra que será medida (MALVERN INSTRUMENTS WORLDWIDE, 2012).

A teoria de Mie fornece a previsão mais rigorosa e abrangente do comportamento de espalhamento de luz das partículas, sendo recomendada para a medição de partículas abaixo de 50 μm , porém pode ser aplicada em toda a faixa de medição de tamanhos de partículas (JONES, 2003).

Uma abordagem simplificada é a teoria de Fraunhofer, a qual consiste na aproximação da teoria de Mie. Esta teoria não requer a introdução das propriedades ópticas da amostra. No entanto, possui limitações de uso para partículas inferiores a 50 μm ou para as partículas que sejam relativamente transparentes (MALVERN INSTRUMENTS WORLDWIDE, 2012).

4.4. Parâmetros Granulométricos: Princípios dos Modelos de Tendência

Os modelos STA (*Sediment Trend Analysis*) se baseiam em três parâmetros estatísticos: a média, a assimetria e o desvio padrão. Para facilitar manipulação estatística dos dados, utilizou-se a notação adimensional Φ (phi) criada por Krumbein, em 1934, através da Equação 1:

$$\Phi = \log_2 d \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde: d é o diâmetro do grão em milímetros.

De acordo com Dias (2004), esta representação corresponde a uma modificação na escala de Udden-Wentworth (1922), com o objetivo principal de facilitar a aplicação dos métodos estatísticos convencionais à sedimentologia. Além disso, segundo Azevedo (2006), a utilização dos números inteiros obtidos pela notação Φ (phi) para a representação das classes permite a simplificação dos cálculos das medidas estatísticas. Estas classes são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1: Classes de tamanho estabelecidas por Udden-Wentworth, de -1 a 10 Φ (Fonte: UDDEN-WENTWORTH, 1922).

CLASSIFICAÇÃO	Φ	d (mm)
Cascalho	< -1	> 2
Areia Muito Grossa	-1 a 0	2 a 1
Areia Grossa	0 a 1	1 a 0,5
Areia Média	1 a 2	0,5 a 0,25
Areia Fina	2 a 3	0,25 a 0,125
Areia Muito Fina	3 a 4	0,125 a 0,0625
Silte Grosso	4 a 5	0,0625 a 0,0312
Silte Médio	5 a 6	0,0312 a 0,0156
Silte Fino	6 a 7	0,0156 a 0,0078
Silte Muito Fino	7 a 8	0,0078 a 0,0039
Argila Grossa	8 a 9	0,0039 a 0,00195
Argila Média	9 a 10	0,00195 a 0,00098

4.4.1. Método Gráfico de Folk & Ward

O método gráfico consiste na leitura através da curva granulométrica (em escala aritmética ou de probabilidade) dos valores dos diâmetros correspondentes a determinados percentuais, com os quais é possível calcular os descritores estatísticos da distribuição (VELOSO, 2001). O método descrito por Folk & Ward (1957) representa o método mais empregado para o cálculo dos parâmetros estatísticos de uma distribuição granulométrica (FERREIRA, 2010).

Desta forma, esse foi o método escolhido neste trabalho, facilitando estabelecer comparações com referências anteriores.

4.4.1.1. Média

A média consiste no diâmetro médio (μ) dos sedimentos pertencentes a uma amostra. Segundo Dias (2004), como a média é um tipo de medida de tendência central, através deste parâmetro, sabe-se, se as partículas que constituem uma distribuição são mais ou menos grosseiras do que as de outra distribuição. Ainda segundo este autor, frequentemente a média está relacionada com a intensidade do agente de transporte e/ou com os níveis

energéticos do ambiente deposicional. A formulação matemática para o cálculo deste parâmetro é obtida através da Equação 2:

$$\mu = \frac{\Phi 16 + \Phi 50 + \Phi 84}{3} \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde: $\Phi 50$ representa a média da amostra total, $\Phi 16$ pode ser considerado como a média dos sedimentos 1/3 mais grossos da amostra, enquanto $\Phi 84$ indica a média dos sedimentos 1/3 mais finos (FOLK & WARD, 1957).

De acordo com Veloso (2001), a adição do percentual 50 na fórmula fornece um peso maior para a porção central da curva. Desse modo, essa equação apresenta boa acurácia em amostras bimodais ou com forte assimetria.

Embora não seja um dos parâmetros utilizados nos modelos STA, a mediana consiste em uma medida de tendência central largamente utilizada, sendo feita aqui uma breve descrição.

Segundo Dias (2004), a mediana corresponde ao diâmetro que divide a distribuição em duas metades com pesos iguais. Uma metade é constituída por partículas mais grosseiras, enquanto a outra é formada por partículas mais finas. Este parâmetro corresponde ao percentual $\Phi 50$ da Equação 2, representando exatamente o diâmetro central da curva granulométrica das partículas.

4.4.1.2. Desvio Padrão

O desvio padrão (σ) é um indicador de variabilidade estável e representa o nível de espalhamento dos valores dos dados em torno da média, representando o grau de seleção dos grãos neste trabalho, conforme pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2: Classificação das amostras pelo desvio padrão pelo Método Gráfico (Fonte: FOLK & WARD, 1957).

CLASSIFICAÇÃO	DESVIO PADRÃO
Muito Bem Seleccionada	< 0,35
Bem Seleccionada	0,35 a 0,50
Moderadamente Bem Seleccionada	0,50 a 0,71
Moderadamente Seleccionada	0,71 a 1,0
Mal Seleccionada	1,0 a 2,0
Muito Mal Seleccionada	2,0 a 4,0
Extremamente Mal Seleccionada	> 4,0

De acordo com Dias (2004), por se se tratar de uma medida de dispersão, o desvio padrão traduz a constância ou a irregularidade dos níveis energéticos. A representação matemática para seu cálculo é dada pela Equação 3:

$$\sigma = \frac{\Phi 84 - \Phi 16}{4} + \frac{\Phi 95 - \Phi 5}{6,6} \quad \text{Eq. (3)}$$

Esta fórmula pondera o valor do desvio padrão obtido considerando os percentis 16 e 84 (os quais indicam que 68% da porção central da curva é considerada), com o valor do desvio obtido utilizando os percentis 5 e 95 (os quais indicam que 90% da curva é considerada).

4.4.1.3. Assimetria

A assimetria indica o grau de desvio do pico do gráfico de frequência em relação à média, ou seja, indica a predominância da fração fina ou grossa em relação à porção central. As classificações quanto à assimetria são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Classificação das amostras pela assimetria pelo Método Gráfico (Fonte: FOLK & WARD, 1957).

CLASSIFICAÇÃO	ASSIMETRIA
Assimetria Muito Positiva	1,0 a 0,3
Assimetria Positiva	0,3 a 0,1
Quase Simétrica	0,1 a -0,1
Assimetria Negativa	-0,1 a -0,3
Assimetria Muito Negativa	-0,3 a -1,0

A fórmula que define a assimetria gráfica é dada pela Equação 4:

$$v = \frac{\Phi 16 + \Phi 84 - 2. \Phi 50}{2. (\Phi 84 - \Phi 16)} + \frac{\Phi 5 + \Phi 95 - 2. \Phi 50}{2. (\Phi 95 - \Phi 5)} \quad \text{Eq. (4)}$$

Quando a curva é normal, os valores da média e da mediana são coincidentes e, conseqüentemente, a assimetria é igual a zero (Figura 11A). Valores de assimetria não nulos informam que uma das caudas da distribuição tem mais expressão que a outra. Se esse valor é positivo, significa que há um valor maior do somatório das distâncias à direita da média e, conseqüentemente, um enriquecimento em partículas finas, principalmente nesse extremo da distribuição (Figura 11B). Analogamente, se a assimetria for menor que zero, existe um enriquecimento em partículas grosseiras (Figura 11C) (DIAS, 2004).

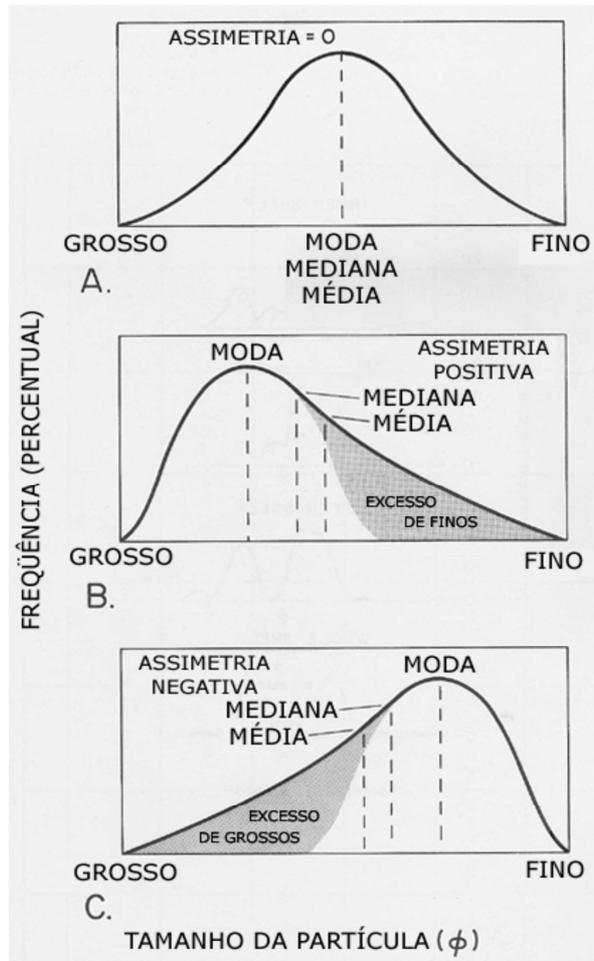


Figura 11: Curvas de distribuição de frequência mostrando a influência das caudas nos valores de assimetria (Fonte: modificado de FRIEDMAN & SANDERS, 1978 *apud* AZEVEDO, 2006).

4.5. Modelos STA

Neste capítulo, primeiramente introduziremos os aspectos comuns aos modelos STA, em seguida será apresentada uma evolução dos modelos, começando pelo modelo unidimensional de McLaren (1981), seguindo para as alterações deste último no modelo McLaren & Bowles (1985), além de apresentar o modelo bidimensional de Gao & Collins (1991) e de Le Roux (1994).

Neste trabalho, foi utilizado o programa GiSedTrend para a obtenção das tendências de transporte, no qual os modelos de Gao & Collins e de Le Roux são utilizados. Desta forma, o princípio de funcionamento dos modelos apenas destes dois autores serão descritos com maiores detalhes.

4.5.1. Fundamentos dos Modelos de Análise de Tendência Direcional

Todos os modelos são baseados na premissa básica de que os processos de sedimentação produzem alterações nos parâmetros estatísticos granulométricos (média, desvio padrão e assimetria) na direção de transporte, de modo que estas modificações podem ser usadas para determinar a dispersão dos sedimentos (LE ROUX *et al.* 2002).

Segundo Poizot *et al.* (2008), todos os modelos STA desenvolvidos são baseados em quatro fases: coleta de dados, seleção dos casos de transporte a serem usados na análise, obtenção dos vetores de tendência e realização do teste de significância dos vetores de transporte obtidos. Esses passos são seguidos tanto por modelos unidimensionais quanto bidimensionais, com a diferença que estes últimos realizam a média dos vetores, constituindo uma etapa adicional do procedimento, como pode ser visto no fluxograma da Figura 12.

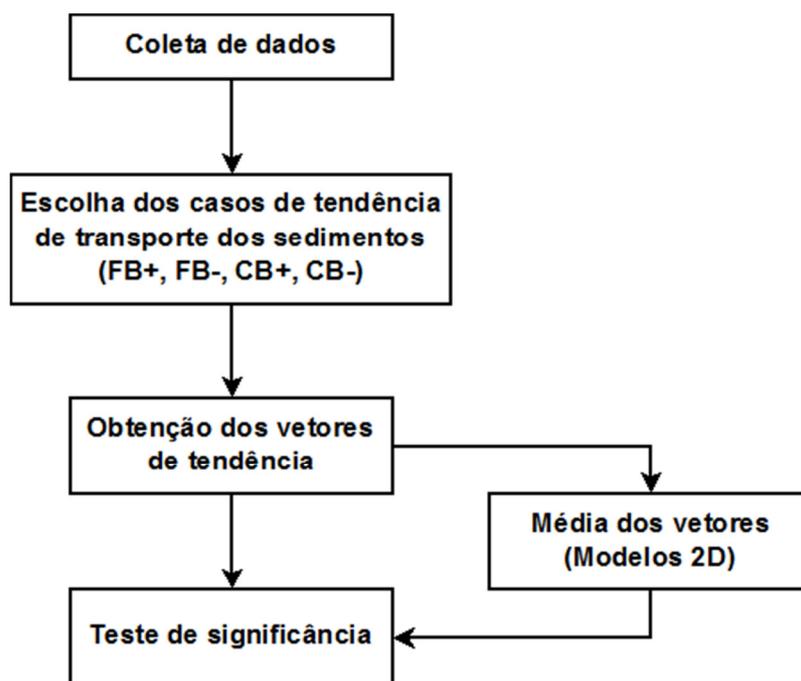


Figura 12: Esquema geral das etapas de funcionamento de modelos STA (Fonte: modificado de POIZOT *et al.*, 2008).

Quanto aos tipos de casos de transporte, baseados na combinação da média, do desvio padrão e da assimetria, existem oito casos de tendência de

transporte de sedimentos os quais os modelos STA podem utilizar, como pode ser constatado na Tabela 4. É possível observar que, de uma estação para a outra, o depósito final pode se tornar mais fino (F) ou mais grosso (C) (relacionado à média), melhor selecionado (B) ou pior selecionado (P) (relacionado ao desvio padrão), positivo (+) ou negativo (-) (relacionado à assimetria).

Tabela 4: Representação dos oito casos de tendência de transporte, através da combinação dos parâmetros granulométricos (na escala ϕ): desvio padrão, assimetria e média, onde os subscritos 1 e 2 representam duas amostras ordenadas, na qual a amostra 2 está ao longo da trajetória da amostra 1 (Fonte: modificado de GAO, 1996).

Casos de Transporte	Desvio Padrão (σ)	Assimetria (v)	Média (μ)
FP-	$\sigma_2 > \sigma_1$	$v_2 < v_1$	$\mu_2 > \mu_1$
CP+	$\sigma_2 > \sigma_1$	$v_2 > v_1$	$\mu_2 < \mu_1$
FP+	$\sigma_2 > \sigma_1$	$v_2 > v_1$	$\mu_2 > \mu_1$
CP-	$\sigma_2 > \sigma_1$	$v_2 < v_1$	$\mu_2 < \mu_1$
FB-	$\sigma_2 < \sigma_1$	$v_2 < v_1$	$\mu_2 > \mu_1$
CB+	$\sigma_2 < \sigma_1$	$v_2 > v_1$	$\mu_2 < \mu_1$
FB+	$\sigma_2 < \sigma_1$	$v_2 > v_1$	$\mu_2 > \mu_1$
CB-	$\sigma_2 < \sigma_1$	$v_2 < v_1$	$\mu_2 < \mu_1$

Apesar da existência dos oito casos apresentados na tabela acima, nem todos eles são utilizados nos modelos STA. Segundo Le Roux & Rojas (2007), quatro casos parecem dominar na natureza: FB-, FB+, CB- e CB+. Cada autor considera o caso (ou os casos) que melhor represente suas áreas de estudo, assim como o seu teste de significância.

4.5.2. Evolução dos Modelos STA

Os modelos de análise de tendência espacial utilizados para inferir o transporte líquido de sedimentos têm sido amplamente aplicados em vários ambientes deposicionais. A teoria original utilizada para prever a direção de transporte de sedimentos com base na mudança relativa da distribuição granulométrica foi determinada por Sunamura & Horikawa (1971) (SÁNCHEZ & CARRIQUIRY, 2011).

McLaren (1981) foi o primeiro a desenvolver um modelo de transporte de sedimento baseado no estudo da combinação de parâmetros estatísticos (POIZOT *et al.*, 2008). Segundo Gao & Collins (1991), McLaren associou padrões de transporte de sedimentos às mudanças espaciais da média, do desvio padrão e da assimetria da distribuição.

O Modelo de McLaren determina a direção de transporte ao longo de uma faixa de amostragem por meio da comparação dos parâmetros sedimentológicos de todos os possíveis pares de amostras na linha de amostragem, resultando em um modelo de transporte de sedimentos unidimensional (RÍOS *et al.*, 2002). Em seu estudo, McLaren (1981), considerou apenas os casos FB-, CB+ e FB+ e CB+, os quais denominou de Caso I, Caso II, Caso III A e Caso III B respectivamente.

Analisando as mudanças estruturais entre os sedimentos dos depósitos e suas fontes, McLaren (1981) considerou três preceitos:

1. O depósito é produto de uma única fonte de sedimento;
2. A probabilidade dos processos de transporte de grãos moverem grãos finos é maior que a probabilidade de moverem grãos grossos;
3. Há uma grande possibilidade de que grãos grossos sejam depositados antes dos grãos finos durante o transporte.

Este modelo foi testado em muitos ambientes naturais por diferentes autores, com a obtenção de resultados que concordam com a interpretação do transporte de sedimentos nesses ambientes (RÍOS *et al.*, 2002). No entanto, segundo Sorooshian (1991 *apud* POIZOT *et al.*, 2008), este método tende a incluir uma descrição geral dos processos de sedimentação, sem considerar os detalhes específicos de interações entre processos. Desta forma, novos modelos surgiram com modificações, para que os resultados se tornassem mais realistas e confiáveis.

Assim, McLaren & Bowles (1985) aprimoraram-no utilizando um teste de significância. O teste de hipótese com Score Z (SPIEGEL, 1961), de acordo com McLaren (1993, *apud* POIZOT *et al.*, 2008), passou a ser usado para determinar uma direção preferencial de transporte e validá-lo. A aceitação final de uma tendência de sedimentos passou a ser realizada através da avaliação

qualitativa de um coeficiente múltiplo de correlação entre os parâmetros granulométricos estudados de cada amostra contida na linha de amostragem.

Dentre os oito casos possíveis, McLaren e Bowles (1985) consideraram apenas dois casos de transporte: CB+ e FB-. (POIZOT *et al.*, 2008). Este método, assim como o método de McLaren (1981) é unidimensional, sendo o princípio de básico de funcionamento destes modelos unidimensionais mostrado na Figura 13.

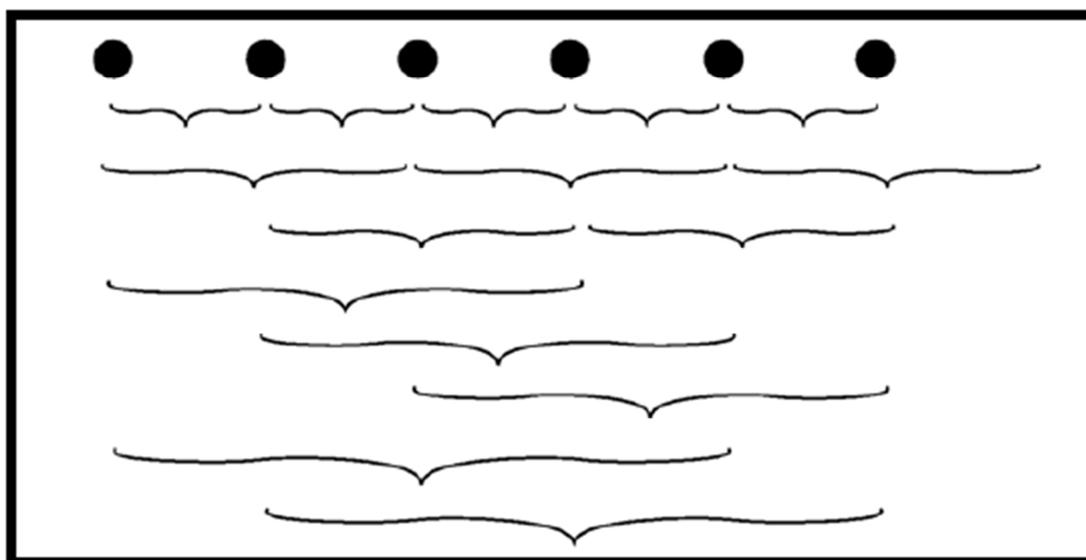


Figura 13: Os modelos 1D comparam todos os possíveis pares de amostras localizados ao longo das linhas de amostragem; comparando os pontos que estão lado a lado e em seguida, alternando a combinação dos pontos com outros que estejam em locais mais distantes ao longo da linha. As tendências são estatisticamente analisadas para determinar a direção dominante ao longo de cada linha de análise (Fonte: modificado de POIZOT *et al.*, 2008).

Gao & Collins (1991) atestaram que um tratamento bidimensional dos parâmetros granulométricos das amostras poderia produzir um resultado mais significativo. Nessa aproximação bidimensional, cada amostra é comparada com as amostras vizinhas, através de seus parâmetros granulométricos: média, desvio padrão e assimetria. A vizinhança de cada amostra é determinada por uma distância característica (D_{cr}), que é o intervalo espacial máximo.

Sempre que uma tendência é identificada entre dois pontos, um vetor direcional adimensional é registrado nesta direção. Os vetores direcionais em cada ponto são somados para produzir um único vetor resultante para cada

tendência. Finalmente, uma técnica de suavização (filtragem) é aplicada para remover vetores que não estejam indicando tendências válidas (RIBEIRO *et al.*, 2000).

Quanto à escolha dos casos de transporte, para seu estudo em particular, Gao (1996) indicou que a combinação entre os casos CB+ e FB- foi a mais adequada para a análise de tendência de transporte de sedimentos.

A principal desvantagem deste procedimento é que apenas dois locais de amostragem são comparados ao mesmo tempo, não considerando o fato de que o transporte de sedimentos provavelmente ocorre dentro de zonas e não “ponto-a-ponto”. (LE ROUX, 1994a *apud* RÍOS *et al.*, 2002).

Desta forma, Le Roux (1994) aprimorou o modelo anterior, baseando-se no fato de que o transporte de sedimentos ocorre através de amplas frentes unidirecionais. Neste método, grupos de cinco estações são utilizados para determinar a magnitude e a direção do vetor médio dos caminhos de transporte, onde os parâmetros granulométricos dos sedimentos de cada estação de amostragem são combinados em um único valor adimensional, com cada parâmetro sendo considerado de igual importância (POIZOT *et al.*, 2008).

Segundo Le Roux *et al.* (2002), deve-se estudar os casos CB+, CB-, FB+ e FB- separadamente e também realizar uma combinação destes quatro casos em quaisquer áreas de estudo.

Como a área analisada neste trabalho representa um ambiente estuarino, na Tabela 5 são apresentados os estudos de outros autores em estuários, seguidos do modelo utilizado e dos casos que ofereceram resultados mais compatíveis com o que ocorre nas regiões dos respectivos estudos.

Tabela 5: Listagem de estudos sobre modelos STA aplicados em estuários, com seus respectivos autores, modelos utilizados e melhores casos adotados (Fonte: modificado de POIZOT *et al.*, 2008).

AUTOR	MODELO UTILIZADO	AMBIENTE	CASOS ANALISADOS	TENDÊNCIAS VÁLIDAS
Wu & Shena (1999)	McLaren & Bowles (1985)	Estuário	CB+ e FB- (separadamente)	CB+ e FB-
Mc Laren <i>et al.</i> (1993)	McLaren & Bowles (1985)	Estuário	CB+ e FB- (separadamente)	CB+ e FB-
Mallet <i>et al.</i> (2000b)	Gao & Collins (1992)	Estuário	CB+ e FB- (combinados)	CB+ e FB- (combinados)
Duck <i>et al.</i> (2001)	McLaren & Bowles (1985)	Estuário	CB+ e FB- (separadamente)	FB-
Van de Kreeke & Robaczewska (1993)	McLaren & Bowles (1985)	Estuário	CB+ e FB- (separadamente)	Desconhecido
Pascoe <i>et al.</i> (2002)	McLaren & Bowles (1985)	Estuário	CB+ e FB- (separadamente)	Desconhecido

4.5.2.1. Primeiro Modelo de Análise: Modelo de Gao & Collins

Este modelo é caracterizado como bidimensional ponto a ponto, onde um vetor de direção de transporte residual é definido através da comparação dos parâmetros estatísticos granulométricos de amostras vizinhas (POIZOT *et al.*, 2008). Segundo Gao (1996), para realizar este tipo de análise de tendência, o intervalo de amostragem deve ser pequeno quando comparado com a dimensão do ambiente sedimentar analisado.

De acordo com Gao & Collins (1992), em muitos casos, os sedimentos na direção do transporte podem se tornar mais finos, sem aumento da assimetria (FB-), ou mais grossos, sem diminuição da assimetria (CB+).

Segundo Gao (1996), os procedimentos analíticos para determinar as tendências são feitos nas seguintes etapas:

Etapa 1. Os parâmetros granulométricos de cada estação são comparados com os das estações vizinhas. Se as tendências CB+ ou FB- ocorrerem entre uma estação central e qualquer uma das estações vizinhas, um vetor de tendência adimensional é definido para a estação central (Figura 14a). Para identificar a validade da estação vizinha, uma distância característica (D_{cr}), que representa a escala da malha amostral é especificada. Se a distância entre duas estações for menor que D_{cr} , estas serão consideradas vizinhas e os parâmetros granulométricos serão comparados.

Etapa 2. Os vetores de tendência são somados para produzir um único vetor para cada estação de amostragem com mais de um vetor de tendência de transporte identificado na etapa anterior (Figura 14b). Pode-se traduzir esse passo matematicamente conforme a Equação 5:

$$\vec{R}(x, y) = \sum_1^n \vec{r}(x, y)_i \quad \text{Eq. (5)}$$

Onde: \vec{R} representa a soma dos vetores de tendência, n representa o número de vetores da estação analisada e \vec{r} representa um vetor de tendência.

Etapa 3. Uma operação de filtragem é então aplicada para reduzir algum ruído remanescente (qualquer vetor que não seja consistente com os padrões de transporte, em termos de direção, é considerado um ruído) (Figura 14c). Novamente, as estações vizinhas são identificadas pela distância característica (Dcr) para realizar a filtragem. A expressão matemática que traduz a operação de filtragem corresponde à Equação 6:

$$\vec{R}_{av}(x, y) = \frac{1}{k + 1} \cdot \left[\vec{R}(x, y) + \sum_1^k \vec{R}_j \right] \quad \text{Eq. (6)}$$

Onde: k representa o número total de estações vizinhas, $\vec{R}_{av}(x, y)$ representa os vetores finais, indicando o transporte líquido e \vec{R}_j representa o vetor resultante da Etapa 2.

Na Figura 14 a seguir é apresentada uma representação esquemática do funcionamento do modelo de Gao & Collins.

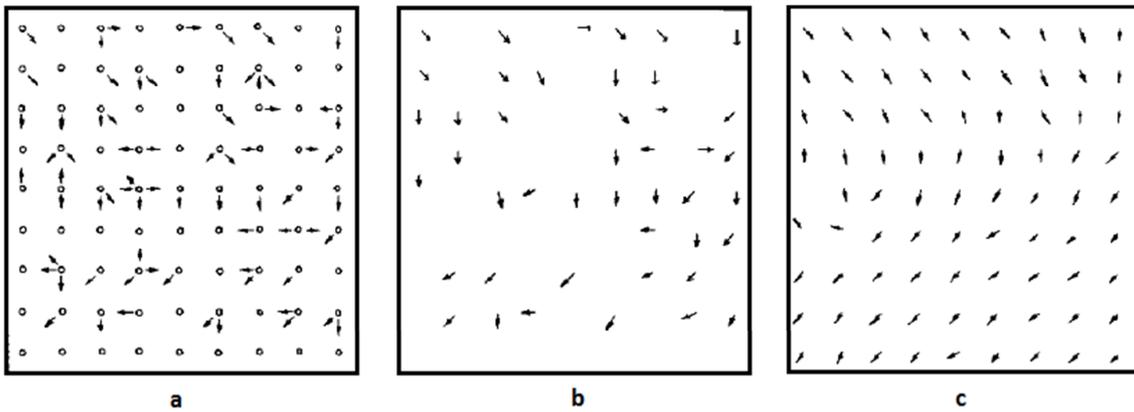


Figura 14: Procedimento esquemático sugerido para o tratamento dos dados em 2D: a) Vetores de tendência obtidos da análise das características granulométricas; b) Resultado da soma vetorial (vetores resultantes); c) Filtragem ou suavização, com obtenção dos vetores residuais; Os círculos representam o posicionamento das estações (Fonte: modificado de GAO & COLLINS, 1991).

De acordo com Gao & Collins (1992), se uma grade fosse composta apenas por ruídos, não haveria uma tendência direcional definida, com vetores de tendência relativamente curtos. Desta forma, eles propuseram um teste de significância, baseado no comprimento médio dos vetores de transporte residuais, também conhecido como comprimento do vetor característico. Este comprimento é dado pela formulação matemática expressa pela Equação 7:

$$L = \sum_{i=1}^N |\vec{R}_{av}(x, y)_i| \quad \text{Eq. (7)}$$

Onde: N representa o número total de estações.

Para avaliar se o comprimento médio é significativo, um comprimento crítico com um determinado nível de confiança é necessário para o teste de significância. Tal comprimento deve ser obtido considerando a situação em que cada vetor de tendência seja produto de ruído. Iterações de rearranjos aleatórios das amostras são repetidas várias vezes, para a obtenção de uma série de comprimentos dos vetores característicos até que seja suficiente para estabelecer uma curva de distribuição de frequência. A partir desta curva, o

valor crítico é retirado. Este valor crítico possui 99% de confiança, de forma que:

- Se $L > L_{99}$, a tendência é considerada significativa;
- Se $L < L_{99}$, a tendência não é considerada significativa.

Na primeira situação, a tendência identificada representa o padrão de transporte sedimentar líquido com um alto nível de confiança. Por outro lado, a segunda situação indica que o padrão de transporte líquido não pode ser identificado através da análise da tendência granulométrica.

Três questões devem ser analisadas para a obtenção de resultados de tendência com maior ou menor grau de consistência. A primeira questão abordada por Poizot *et al.* (2006) trata da regularidade das grades amostrais. Segundo ele, ao se comparar os resultados de uma grade amostral regular e outra irregular, percebeu-se que a irregularidade na forma conduziu a um aumento dos efeitos de borda. Nas grades regulares, como menos efeitos de borda são evidentes, estes desempenham um papel reduzido na análise do vetor, diminuindo assim alterações erráticas. Segundo Poizot *et al.* (2008), se um sistema de amostragem irregular é utilizado, uma grade regular pode ser criada através de uma interpolação do conjunto de dados. Porém, de acordo com Le Roux *et al.* (2002) a interpolação altera a distribuição de dados originais e diminui a confiabilidade dos métodos, da mesma maneira que a filtragem, podendo até distorcer os resultados.

A segunda questão considerada de fundamental importância trata da escolha da distância característica. De acordo com Poizot *et al.* (2008), esta distância é o parâmetro chave para a computação dos vetores de tendência. Vários autores (GAO, 1996; GAO & COLLINS, 1991; LE ROUX & ROJAS, 2004, DUC *et al.*, 2007) a definem como sendo o intervalo de amostragem máxima. No entanto, para Poizot *et al.* (2008), parece necessário considerar a distância característica em função das características geológicas em vez de um parâmetro em função da escala de amostragem espacial.

A terceira questão trata da filtragem dos dados. Poizot *et al.* (2006) realizou um teste comparando o mesmo conjunto amostral com amostras filtradas e não filtradas, considerando a mesma distância característica. O

resultado das amostras não filtradas apresentou uma grande quantidade de "buracos", indicando que não houve transporte de sedimentos discernível nestas áreas. No entanto, com a filtragem, houve preenchimento dessas áreas com novos vetores que não têm relevância para os dados, mas são artefatos. A filtragem adicionou novos vetores particularmente perto de bordas e, portanto, são considerados incertos, de onde se pode concluir que a filtragem não é um passo confiável. Asselman (1999) em seu estudo também decidiu não utilizar a operação de filtragem, pois segundo este autor, a filtragem reduz a resolução espacial, especialmente quando as células da grade aplicadas são grandes em comparação com a variabilidade espacial das direções de transporte. Embora a filtragem seja eficiente para remoção de ruídos remanescentes, esta operação acaba resultando em perdas de informação.

4.5.2.2. Segundo Modelo de Análise: Modelo de Le Roux

O modelo de Le Roux (1994b) emprega uma estação de amostragem central e quatro estações satélites (estações mais próximas), que estejam localizadas dentro ou perto dos quadrantes Norte, Sul, Leste e Oeste, como observado na Figura 15. O tamanho médio, o desvio padrão e a assimetria dos sedimentos de cada estação são então integrados em um único valor adimensional. Neste modelo, uma técnica trigonométrica iterativa é usada para determinar os parâmetros de dimensão de grãos que estejam distribuídos em grades amostrais regulares ou irregulares (LE ROUX *et al.*, 2002).

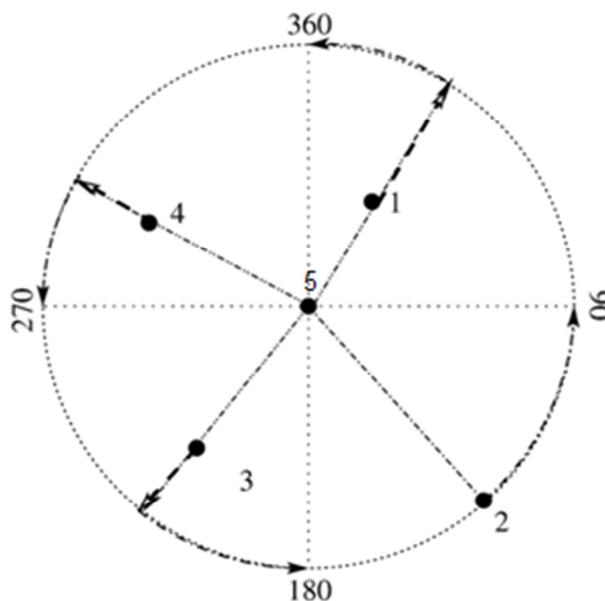


Figura 15: A estação central (ponto 5) é comparada com as quatro estações mais próximas (denominadas de estações satélites), as quais devem estar equidistantes do centro (da estação central). Quando as estações estão localizadas em uma grade irregular, uma técnica trigonométrica iterativa é usada para modificar os valores iniciais dos parâmetros, para levar em consideração a translação e a rotação das estações satélites (Fonte: modificado de LE ROUX, 1994a *apud* POIZOT *et al.*, 2008).

Segundo Sánchez & Carriquiry (2011), as considerações gerais do modelo são: (1) as tendências granulométricas resultam das condições hidrodinâmicas do meio ambiente, (2) é aplicável na zona costeira e em plataformas onde o transporte de sedimentos é unidirecional, (3) o gradiente entre os parâmetros é constante na área em que as cinco estações de amostragem são comparadas, (4) os parâmetros no modelo têm o mesmo peso e importância, e (5) a distância entre as cinco estações não é fundamental (crítica).

De acordo com Le Roux & Rojas (2007), as principais diferenças deste método com relação ao método de Gao & Collins (1991) são:

- ♦ Como o método é aplicável a distribuições regulares ou irregulares de estações de amostragem, a interpolação não é necessária e, portanto, nenhuma informação é perdida ou alterada;

- ♦ Como grupos de cinco estações são considerados por vez, os problemas associados com uma comparação ponto-a-ponto são eliminados;
- ♦ Os casos FB+, CB+, FB- e CB- são analisados em conjunto ou individualmente, aplicando o teste de Watson para avaliar a validade estatística das tendências.

Le Roux *et al.* (2002) propôs o programa TRANSVEC em plataforma Excel-VBA, em que o procedimento analítico segundo Veiga *et al.* (2005) segue as seguintes etapas:

1. Os dados são selecionados automaticamente com opção de escolher a distância máxima entre o ponto central e os satélites;
2. O peso de cada parâmetro granulométrico pode ser alterado;
3. Os quatro tipos de tendência de transporte principais são considerados: FB+, CB+, FB- e CB-, podendo extrair o de maior magnitude ou analisá-los separadamente;
4. Os vetores resultantes com uma filtragem de 20, 40, 60 e 80% da magnitude maior podem ser plotados;
5. A homogeneização dos vetores resultantes pode ser realizada;
6. A distribuição dos dados vetoriais é analisada utilizando-se o teste não paramétrico de Watson (1966) que verifica se a tendência é preferencial ou uniforme.

Segundo Le Roux *et al.* (2002), a formulação estatística é a seguinte:

$$u^2 = \left(u^{*2} + \frac{0,1}{n^2} - \frac{0,1}{n} \right) \cdot \left(1 + \frac{0,8}{n} \right) \quad \text{Eq. (8)}$$

Onde:

$$u^{*2} = \sum \left(\frac{\theta_i}{360} \right)^2 - \frac{2}{n} \sum \frac{i \cdot \theta_i}{360} + \frac{1}{n} \sum \frac{\theta_i}{360} + n \cdot \left\{ \frac{1}{n} \sum \frac{\theta_i}{360} - \left[\frac{1}{n} \sum \left(\frac{\theta_i}{360} \right) \right]^2 + \frac{1}{12} \right\}$$

Eq. (9)

Se u^{*2} é inferior a u^2 , com u^2 maior que 0,187 para um nível de confiança de 95% e maior que 0,267 para 99% de nível de confiança, a hipótese nula pode ser rejeitada e a hipótese alternativa, ou seja, a distribuição não ser aleatória, pode ser aceita.

4.6. Matéria Orgânica

A matéria orgânica constitui uma ferramenta importante na análise de poluentes de um determinado ambiente (MARINO, 2011), sendo um ótimo indicador da dinâmica de fundo em baías (TUCKER, 1991 *apud* GUIMARÃES *et al.*, 2007), visto que grande parte da contaminação causada por compostos orgânicos e inorgânicos está associada aos sedimentos menores que 63 μm (LAYBAUER & BIDONE, 2001 *apud* VIEIRA *et al.*, 2008). Em função disto, as partículas lamosas ricas em matéria orgânica são responsáveis pelo aporte e retenção de uma parcela significativa de poluentes.

Altos teores de matéria orgânica no sedimento indicam ambientes redutores ou de baixa degradação de matéria orgânica, quer dizer, ambientes de águas calmas e de correntes de baixa velocidade. Já quando as correntes são mais fortes, há uma maior oxigenação na área, permitindo condições para oxidação da matéria orgânica e, conseqüentemente, reduzindo sua porcentagem no sedimento (GUIMARÃES *et al.*, 2007).

De uma maneira geral, as concentrações de matéria orgânica variam inversamente com o percentual de areia, pois onde este tende a diminuir (no sentido do interior da baía), o percentual de material orgânico tende a aumentar (GUIMARÃES *et al.*, 2007). Já em locais de maior energia e de sedimentação predominantemente arenosa, é possível observar concentrações menores de matéria orgânica devido à forte influência das correntes de maré. Isto ocorre porque os sedimentos de granulometria mais fina, geralmente argilominerais, tendem a adsorver em sua superfície as partículas de matéria orgânica neles contidas. (PEREIRA *et al.*, 2003).

A composição da matéria orgânica nos estuários resulta da contribuição de diferentes fontes: a que é produzida dentro do próprio ambiente (autóctone), a que é produzida nos ecossistemas continentais, terrestres e aquáticos, e

carreada até os estuários através da descarga fluvial (alóctone) e os fitoplânctons marinhos, que chegam aos estuários devido à ação das marés (HEDGES *et al.*, 1984 *apud* MARINO, 2011). A matéria orgânica presente nos sedimentos é formada tanto pelas substâncias resultantes da decomposição de animais e vegetais, quanto pelas substâncias resultantes de processos físicos, químicos e biológicos associados a esta decomposição (HEINRICH, 2011). Por ser altamente hidrofílica (ou seja, com capacidade de absorção de água) e por apresentar elevada capacidade de complexar e trocar íons, a matéria orgânica possui uma elevada capacidade de reter substâncias químicas nos sedimentos (CASTIGLIA, 2006 *apud* HEINRICH, 2011).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. Trabalho de Campo e Amostragem

A medição da batimetria foi realizada nas proximidades da Ilha do Fundão, considerando o Canal do Fundão, a enseada da antiga Ilha de Bom Jesus e toda área do entorno, permitindo a confecção de um mapa com as profundidades de cada região da área de estudo (Figura 16). Tal medição foi feita através de um ecobatímetro (Ecosonda Garmin 517S), o mesmo utilizado por embarcações de navegação simples, usando uma frequência de 200 kHz.

O mapa com a batimetria do entorno da Ilha do Fundão foi plotado no programa ArcGIS 10.1, assim como os demais mapas que serão apresentados ao longo do trabalho.

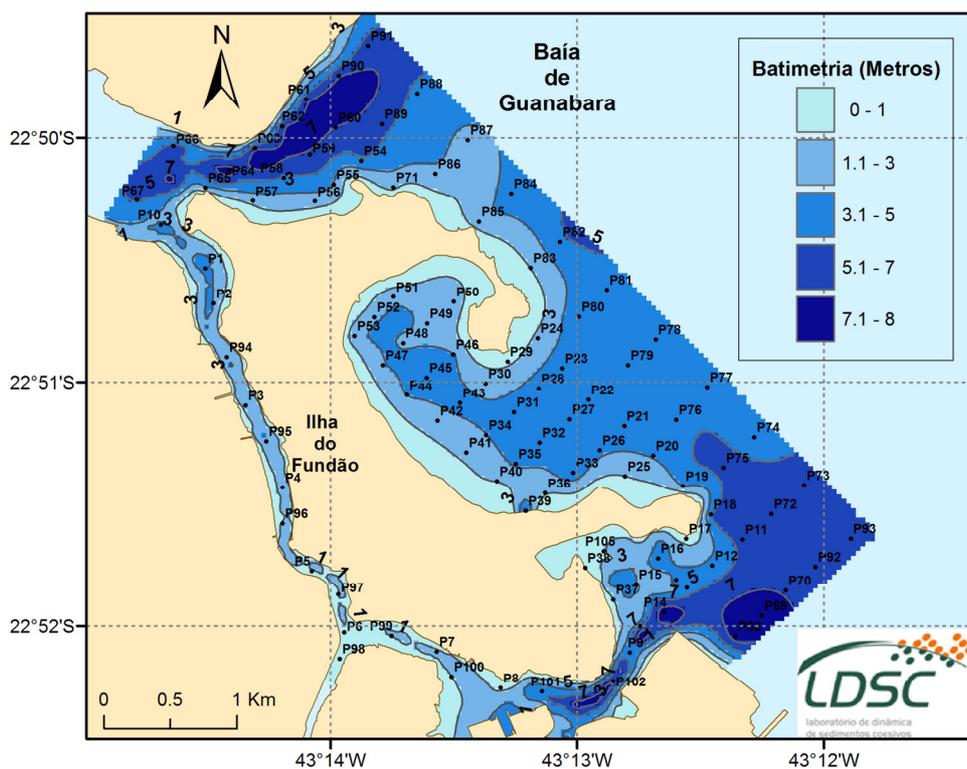


Figura 16: Batimetria do entorno da Ilha do Fundão medida através da ecosonda.

Para a confecção da grade original de amostragem usada nas campanhas mostrada na Figura 17, foram utilizados dados de longitude e latitude, mantendo-se um espaçamento constante de 200 m entre cada

estação, totalizando 105 pontos. Em cada ponto, foram coletadas somente amostras de fundo.

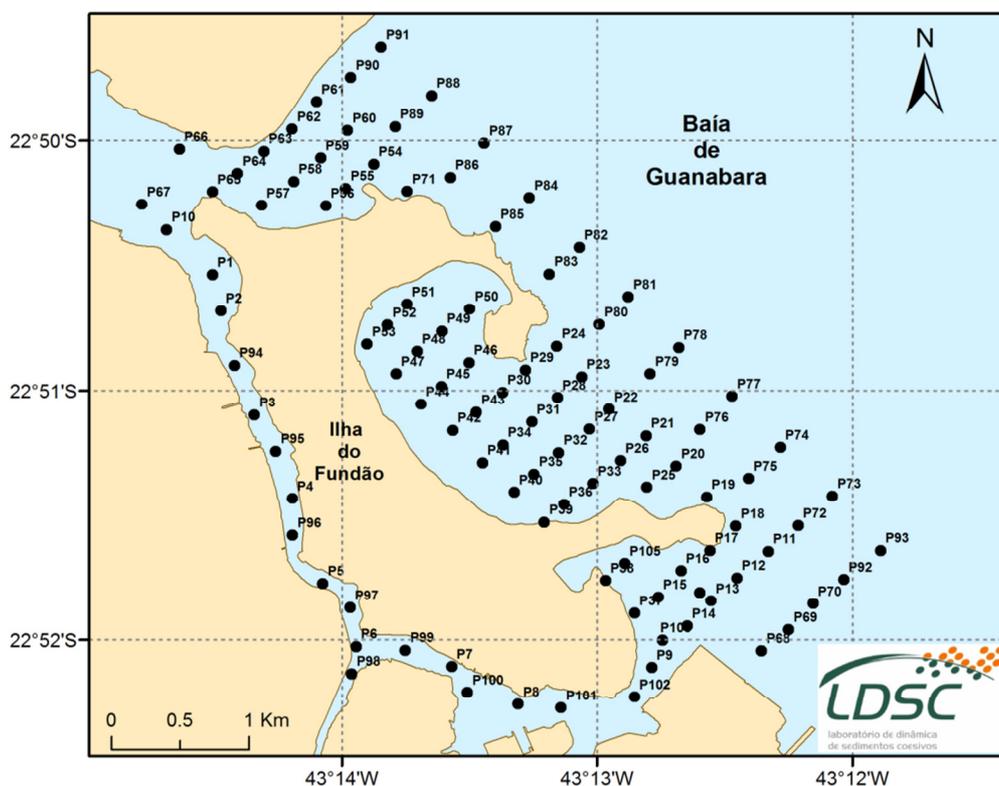


Figura 17: Mapa com a grade amostral completa, contendo os 105 pontos no entorno da Ilha do Fundão, equidistantes 200 metros.

A coleta dos pontos foi realizada em duas campanhas. A primeira foi realizada no dia 25 de Fevereiro de 2014, sendo coletadas 39 amostras, enquanto a segunda foi realizada no dia 27 de Maio de 2014, com 64 amostras coletadas.

Dois pontos pertencentes à grade amostral inicial não puderam ser coletados: os pontos 37 e 70. Isto se deve ao fato de que, no momento da coleta, as regiões de acesso a esses pontos estavam indisponíveis, dificultando o procedimento de amostragem.

Na Figura 18, é apresentado o mapa com os pontos amostrais referentes às duas campanhas, assim como os pontos que não foram coletados (37 e 70), com o objetivo de facilitar sua visualização.

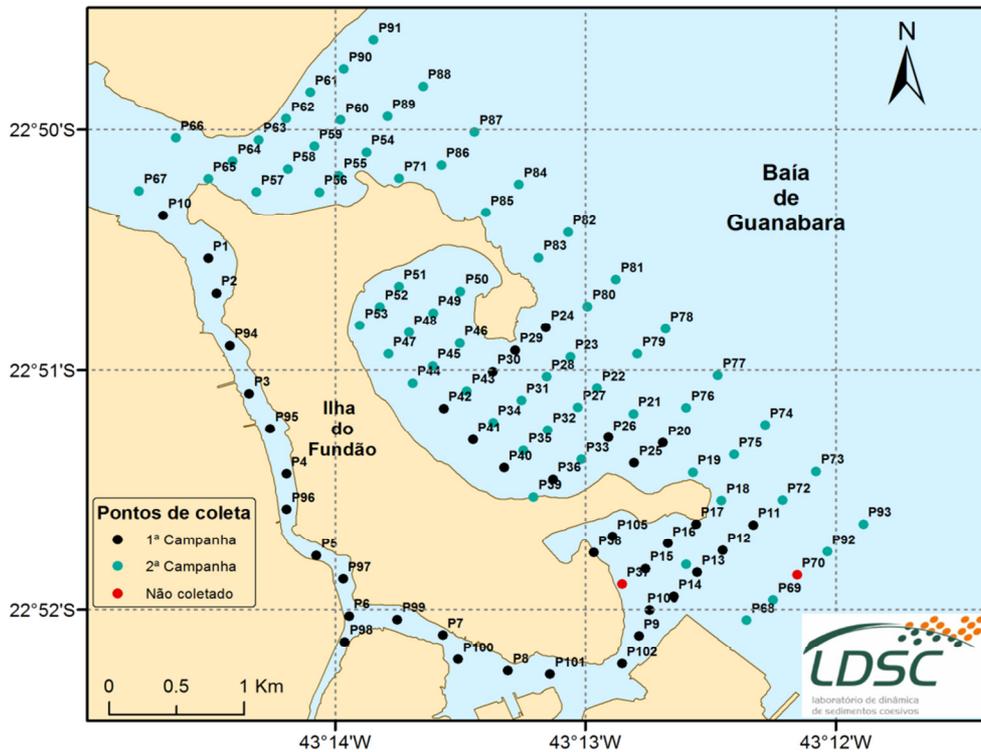


Figura 18: Pontos de coleta das duas campanhas. Os pontos na cor preta foram coletados na primeira campanha, os pontos na cor verde na segunda campanha, e os pontos na cor vermelha foram pontos onde não foi possível realizar a coleta.

As coletas foram realizadas com o auxílio de três equipamentos: um amostrador Petersen (Figura 19a), também chamado de busca-fundo, um tubo (Figura 19b) e um instrumento de arraste.



(a)



(b)

Figura 19: (a) Amostrador Petersen – equipamento utilizado para a amostragem em maiores profundidades. (b) Tubo – equipamento utilizado para a amostragem em profundidade de até 2 metros.

O busca-fundo é um amostrador de penetração vertical, tendo duas partes em caçambas do tipo draga com dispositivo em alavanca, com braço móvel, que dispara ao tocar o leito (CARVALHO *et al.*, 2000). A draga foi utilizada principalmente para locais com profundidades maiores que 2 metros, mostrando-se muito eficiente para coleta de lama e apresentando dificuldades para a coleta de material arenoso. Já o tubo consiste em um equipamento formado por dois canos, um interior e outro exterior, com uma borracha lacrando o tubo interior, funcionando, assim, por meio de sucção. Este equipamento, por conter 2 metros, foi utilizado para profundidades menores.

Para a coleta de amostras arenosas em maiores profundidades, foi utilizado um coletor de fundo que opera através de arraste. Este coletor consiste em um tubo de ferro preso por meio de uma abraçadeira metálica a um saco feito de material resistente. O seu princípio de funcionamento é bastante simples, consistindo em lançar o equipamento no ponto específico de coleta até que encontre o fundo. Neste momento, o barco percorre cerca de 5 metros, permitindo que o coletor armazene areia no seu interior. Após a coleta, deve-se lavar o equipamento, retirando todo o resquício de areia do seu interior, de forma a evitar que haja mistura de sedimento entre as amostras.

Após as coletas, as amostras foram armazenadas em sacos plásticos devidamente identificados, com data e numeração da amostra e posteriormente lacrados com abraçadeiras.

5.2. Análise Laboratorial

A análise laboratorial foi realizada em três etapas. A primeira teve como objetivo obter a porcentagem de material volátil e conseqüentemente obter a porcentagem de matéria orgânica. A segunda etapa consistiu no peneiramento úmido e seco das amostras arenosas e na terceira, foi realizada a passagem das amostras com material fino no equipamento de difração a laser.

Na Figura 20, é apresentado o fluxograma que inclui as etapas laboratoriais as quais as amostras foram submetidas e as fases pós-processamento, permitindo uma melhor compreensão do ordenamento metodológico seguido para a obtenção dos resultados deste trabalho.

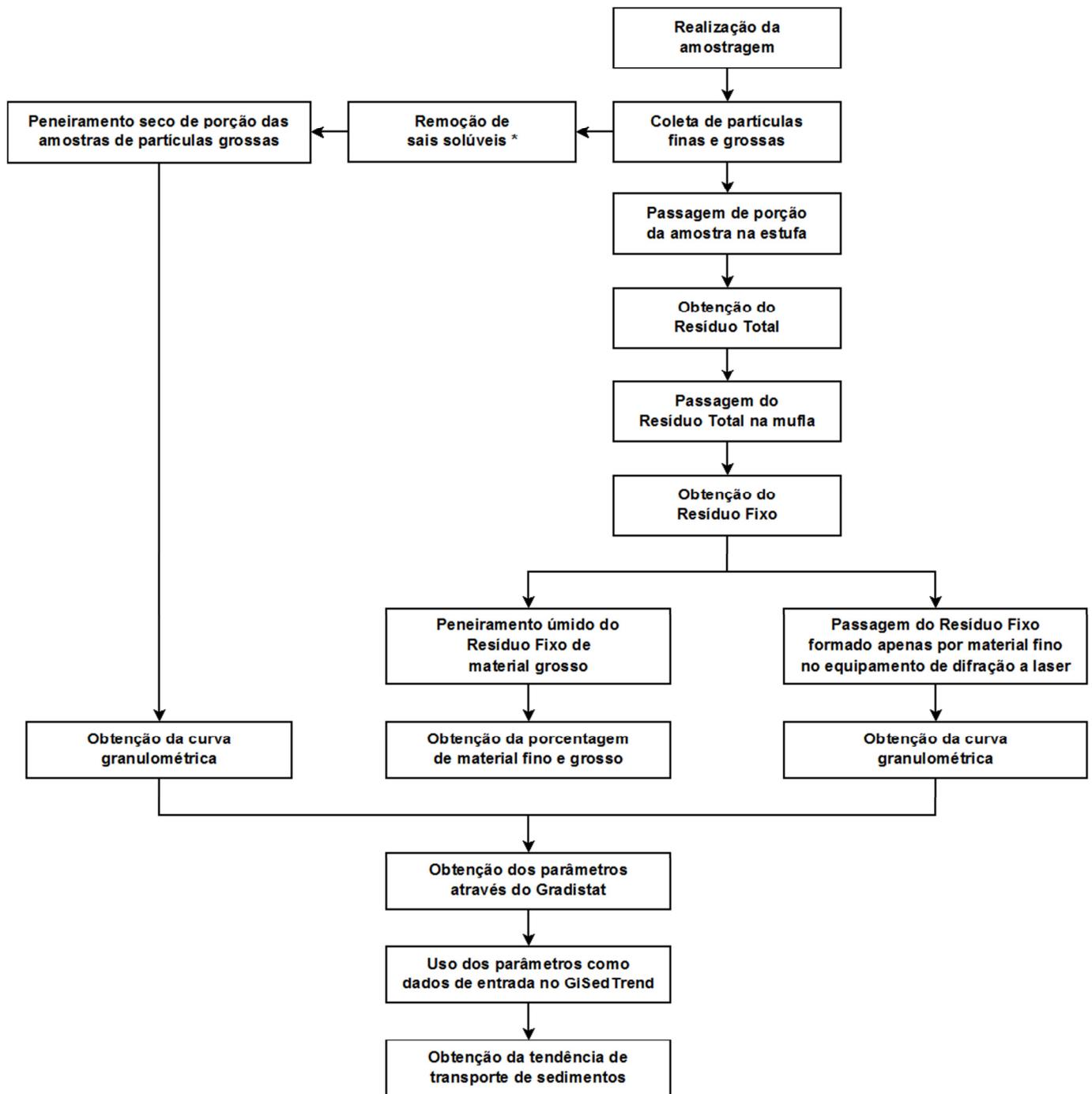


Figura 20: Fluxograma referente à metodologia aplicada para amostras coletadas nas duas campanhas.

* Neste trabalho não foi realizado tratamento prévio para a retirada de carbonato.

5.2.1. Determinação da Porcentagem de Matéria Orgânica

Para a determinação da matéria orgânica, foram seguidos os procedimentos da ABNT NBR 10.664:1989.

Primeiramente foi realizado o preparo da cápsula:

- Colocou-se a cápsula vazia na mufla a 105 °C por 1h;
- As cápsulas foram esfriadas no dessecador, pesadas com uma precisão de 0,1 mg e deixadas no dessecador até o momento do seu uso.

Em seguida, transferiu-se para a cápsula uma porção homogênea da amostra com um volume suficiente para fornecer entre 25 e 250 mg de resíduo. Neste momento, o conjunto cápsula + amostra foi introduzido na estufa para que toda a água pudesse ser evaporada. Após ser retirado da estufa, o conjunto permaneceu no dessecador por uma hora e enfim pesado, obtendo-se assim o resíduo total.

Depois de evaporada a água da amostra, levou-se a cápsula com resíduo para a mufla à temperatura de 480°C por 1 h para ser novamente pesado depois de seu resfriamento, obtendo-se assim o resíduo fixo.

O resíduo volátil foi obtido pela diferença entre os valores do resíduo total e do resíduo fixo. Em seguida, a porcentagem foi calculada através da Equação 10:

$$\% \text{ Resíduo Volátil} = \frac{(M_{10} - M_{11})}{M_{10}} \cdot 100 \quad \text{Eq. (10)}$$

Onde: M_{10} → massa do resíduo total (g)

M_{11} → massa do resíduo fixo (g)

5.2.2. Peneiramento Úmido

O peneiramento foi realizado de acordo com o procedimento padronizado pelo Laboratório de Dinâmica de Sedimentos Coesivos (LDSC). Este procedimento foi realizado somente para amostras arenosas. O objetivo do peneiramento úmido neste trabalho consistiu na separação do material fino

e do material grosso de cada uma das amostras, com a obtenção de suas respectivas porcentagens.

Primeiramente, todo resíduo fixo obtido na etapa anterior foi pesado na balança digital. Em seguida, o material foi despejado em uma peneira de malha de 0,063 mm levemente inclinada. Com o auxílio de uma pisseta e de uma espátula, revolveu-se o material para garantir que todo material fino estivesse passando para o recipiente posicionado logo abaixo da peneira.

Após o peneiramento, o material retido na peneira foi transferido para um recipiente adequado. Os recipientes utilizados foram cápsulas de alumínio, as quais foram colocadas previamente na estufa a 105°C durante 1 hora e depois foram deixadas à temperatura ambiente também durante 1 hora para que pudessem ser pesadas na balança digital.

Todo resíduo fixo retido foi colocado na cápsula devidamente identificada com o número da amostra correspondente e o conjunto cápsula + amostra foi posteriormente pesado na balança digital. Em seguida, o conjunto cápsula + material retido foi colocado na estufa a 105°C para que o material pudesse secar novamente e assim ser pesado, de forma que fosse corretamente comparado com o peso total. Com a subtração do peso total seco do resíduo fixo e do peso seco após o peneiramento, obtivemos o peso do material fino da amostra.

Ao final deste processo, a amostra foi dividida em duas parcelas, sendo o material retido na peneira correspondente à fração arenosa, enquanto que o material recolhido no prato de fundo correspondeu à fração fina. A fração grossa foi classificada de acordo com a ABNT NBR 5.734:1980 através do peneiramento seco.

É válido adiantar que a granulometria da fração fina obtida neste peneiramento não foi realizada, pois as amostras ficaram com uma porcentagem de material fino menor que 5% do total. A tabela com os pesos das frações grossa e fina encontra-se no ANEXO 1.

5.2.3. Peneiramento Seco

Previamente ao peneiramento seco, a amostra passou por pré-tratamento. Para isso, uma porção da amostra foi despejada em tabuleiros de alumínio de forma homogênea, despejando-se 1,5 litro de água destilada em seguida. Depois, cada amostra foi agitada manualmente afim de que o sal presente na amostra fosse dissolvido na água. Após a agitação, cada amostra ficou em repouso durante dois dias para que ocorresse a sedimentação do material grosso. Sequencialmente, a amostra foi levada à estufa a 105°C até que toda água fosse evaporada, de forma que o peso total pudesse ser obtido corretamente através da balança digital.

Em seguida, cada amostra passou por um jogo de peneiras com intervalos de diâmetro variando segundo a Tabela 6. Uma vez montada a sequência de peneiras, as amostras foram submetidas à agitação mecânica durante 15 minutos. Sequencialmente, foram pesadas as frações dos sedimentos retidos em cada uma das peneiras e no prato de fundo.

Tabela 6: Diâmetro de cada peneira em milímetros e pela ABNT (Fonte: ABNT NBR 5.734:1980).

DIÂMETRO DOS GRÃOS	
Diâmetro da Peneira (mm)	ABNT
9,200	3 / 8"
4,750	4"
2,000	10"
1,410	14"
1,180	16"
1,000	18"
0,850	20"
0,710	25"
0,600	30"
0,500	35"
0,425	40"
0,350	45"
0,250	60"
0,177	80"
0,150	100"
0,125	120"
0,088	170"
0,062	230"
Prato de Fundo	

5.2.4. Determinação da Distribuição Granulométrica por Difração a Laser

O equipamento utilizado para efetuar a análise granulométrica por dispersão laser neste trabalho é da marca Malvern® Mastersizer 2000, pertencente ao Laboratório de Dinâmica de Sedimentos Coesivos (LDSC), COPPE / UFRJ. Os espectros de difração foram analisados de acordo com a teoria de Mie.

Como a maioria das amostras consiste em sedimentos finos, estas foram processadas diretamente no Mastersizer 2000 da Malvern®, sem passar pelo procedimento do peneiramento prévio, contabilizando um total de 80 amostras.

Para a compreensão dos procedimentos, é necessário entender que as amostras encontravam-se no estado sólido e necessitaram de um preparo antes de serem processadas no equipamento de difração a laser. Assim, as

amostras foram quebradas e moídas até ficarem em estado de pó. Em seguida, uma quantidade homogênea do material foi colocada no liquidificador juntamente com 1 litro de água destilada.

O equipamento utilizado possui uma unidade de dispersão aquosa, como pode ser visto na Figura 21. Nesta unidade, é introduzido o béquer juntamente com a mistura já dispersa.



Figura 21: Equipamento de difração a laser utilizado no trabalho: Mastersizer 2000, da Malvern®. O equipamento possui uma unidade de dispersão aquosa, onde os sedimentos são colocados no béquer com aproximadamente um litro de água destilada, de forma que seja possível obter a curva de distribuição granulométrica.

A obscuração, medição da turbidez detectada pelo equipamento de difração a laser de acordo com a adição de material, foi mantida entre 20 e 30% neste trabalho. Padronizou-se o procedimento da seguinte forma: o liquidificador foi utilizado como forma de dispersão, realizando-se em seguida três medições sem ultrassom e depois mais três medições após 5 minutos de ultrassom.

Primeiramente, o processamento sem ultrassom foi realizado. Para isso, foi utilizada uma rotação fixa de 2600 rpm, a qual pode variar de 0 a 4000 rpm. Após colocar a amostra na unidade, esperou-se um minuto para que a leitura da obscuração se estabilizasse, realizando a medição em seguida. Para cada medição, foram realizadas três réplicas, para que obtivéssemos maior confiança estatística.

Também na unidade de dispersão aquosa, foram escolhidas a intensidade e o tempo do ultrassom. Neste trabalho, foi utilizado intensidade 10

kHz e tempo de 5 minutos. Da mesma forma que a medição anterior, após os 5 minutos de ultrassom, a amostra foi processada, também sendo realizadas três réplicas para cada medição.

Após o processamento das amostras, mais duas etapas foram realizadas: a obtenção dos parâmetros estatísticos (média, desvio padrão e assimetria) a partir das curvas granulométricas oriundas da análise laboratorial e a determinação dos padrões de transporte da área de estudo.

5.3. Pós-Processamento

5.3.1. Gradistat

O Gradistat é um *software* escrito em *Microsoft Visual Basic* e integrado em uma planilha do Microsoft Excel, o qual permite que a distribuição granulométrica seja expressa nas formas tabular e gráfica. É requerido como dado de entrada a porcentagem de sedimentos presentes em um número de frações de tamanho. Esta entrada pode ser o peso retido numa série de peneiras ou a porcentagem de sedimento detectado em classes de tamanho derivados de um equipamento de granulometria a laser (BLOTT & PYE, 2001).

O Gradistat foi utilizado com o objetivo de obter os parâmetros estatísticos dos grãos. Neste trabalho, utilizou-se a versão 8 do *software*. Os dados de entrada utilizados foram os dados de saída do Mastersizer 2000 da Malvern® para o material fino e os dados de saída do peneiramento para o material grosso, isto é, intervalos de diâmetros das partículas e o volume em porcentagem das partículas em cada intervalo de diâmetro.

O programa fornece os valores dos parâmetros estatísticos (mediana, média, desvio padrão e assimetria) pelo método gráfico proposto por Folk & Ward (1957) nas escalas métrica e Φ (phi). Segundo Ferreira (2010), desde o trabalho de McLaren & Bowles (1985), a escala Φ é utilizada nos modelos STA, pois de acordo com esses autores, a transformação logarítmica tende a tornar as distribuições granulométricas mais simétricas, sendo mais apropriado para a compreensão das tendências granulométricas.

5.3.2. *GiSedTrend*

Escrito em C++, o programa *GiSedTrend* utilizado neste trabalho consiste em um *plug-in* do *software open source* Quantum GIS, permitindo uma análise bidimensional da tendência de transporte dos sedimentos. Como principal vantagem, esta ferramenta oferece recursos na área de Sistemas de Informação Geográfica (GIS) (POIZOT & MÉAR, 2010).

Os dados de entrada usados foram: latitude, longitude, parâmetros estatísticos (média, desvio padrão e assimetria) de cada ponto e distância característica entre as estações vizinhas.

Os dados de longitude, latitude e os parâmetros (dados de saída do GRADISTAT) foram introduzidos no bloco de notas, com a configuração “.txt”, para que fossem aceitos pelo programa. Estes dados estão disponíveis no ANEXO 2 deste trabalho.

Em seguida, a distância característica (D_{cr}) foi inserida no programa em um local específico. Neste trabalho, foi utilizada uma grade de amostragem regular e distância característica de 200 metros, já que corresponde a distância máxima entre as amostras.

Segundo Poizot & Méar (2010), neste programa, caso seja necessário que vários casos de transporte sejam analisados em conjunto, é possível realizar a mistura (somatório) dos casos, de modo que o vetor final corresponderá à soma vetorial de todos os casos testados.

Neste trabalho, os quatro casos que parecem ser dominantes na natureza, FB-, CB+, CB- e FB+ (LE ROUX & ROJAS, 2007) foram analisados separadamente. Posteriormente, o somatório dos quatro casos também foi analisado, com o objetivo de verificar o padrão geral das tendências de transporte.

É válido destacar que dentre os oito casos, aqueles nos quais o coeficiente de desvio padrão aumenta, ou seja, os casos onde os depósitos se tornam mal selecionados, foram desconsiderados desde o primeiro modelo de McLaren (1981). Em seu trabalho, Gao *et al.* (1994) analisaram os oito casos em um local onde o transporte era conhecido. Em seus resultados, somente os casos onde o coeficiente de desvio diminuiu obtiveram tendências com alto grau de similaridade com a realidade. Desta forma, baseado nessas

referências anteriores, os casos CP+, CP-, FP+ e FP- também não foram analisados neste trabalho.

Ainda de acordo com Poizot & Méar (2010), no *plug-in* GiSedTrend o cálculo do vetor em um determinado local corresponde a uma mistura dos métodos de Gao & Collins e de Le Roux, como dito anteriormente. Também utiliza aspectos novos desenvolvidos especificamente pela integração do GSTA em um *software* GIS, como por exemplo, a exclusão de pontos de amostragem que estejam localizados atrás de obstáculos, para evitar que tendências inexistentes sejam criadas.

O programa realiza a leitura dos dados de entrada fornecidos e as operações internas como a média de vetores, além de permitir a escolha de dois testes de significância: Kuiper ou Watson (1996). O teste escolhido neste trabalho é o mesmo utilizado por Le Roux *et al.* (2002) no programa TRANSVEC, ou seja, o teste não paramétrico de Watson. Como resultado, o programa fornece a magnitude (adimensional) e o ângulo azimutal do vetor residual gerado em cada ponto.

6. RESULTADOS

A partir dos parâmetros estatísticos (média, desvio padrão e assimetria) de cada amostra foi possível gerar mapas espaciais de distribuição na escala Φ (phi). O método de interpolação usado para a confecção dos mapas foi o *Topo to Raster*, que permite que arquivos como curvas de nível, cursos de rios e delimitações de bacias possam ser utilizados durante a interpolação, diminuindo os possíveis erros que venham a ser cometidos (NOGUEIRA & AMARAL, 2009). De acordo com Marcuzzo *et al.* (2011), esta função utiliza um método multi-gride simples, começando de uma grade inicial larga até uma grade de resolução definida pelo usuário.

Todos os mapas de tendências direcionais de transporte de sedimentos foram plotados sobre o mapa de contornos batimétricos da Figura 16 e as referências de localização utilizadas durante a descrição dos resultados são apresentadas no mapa da Figura 22.

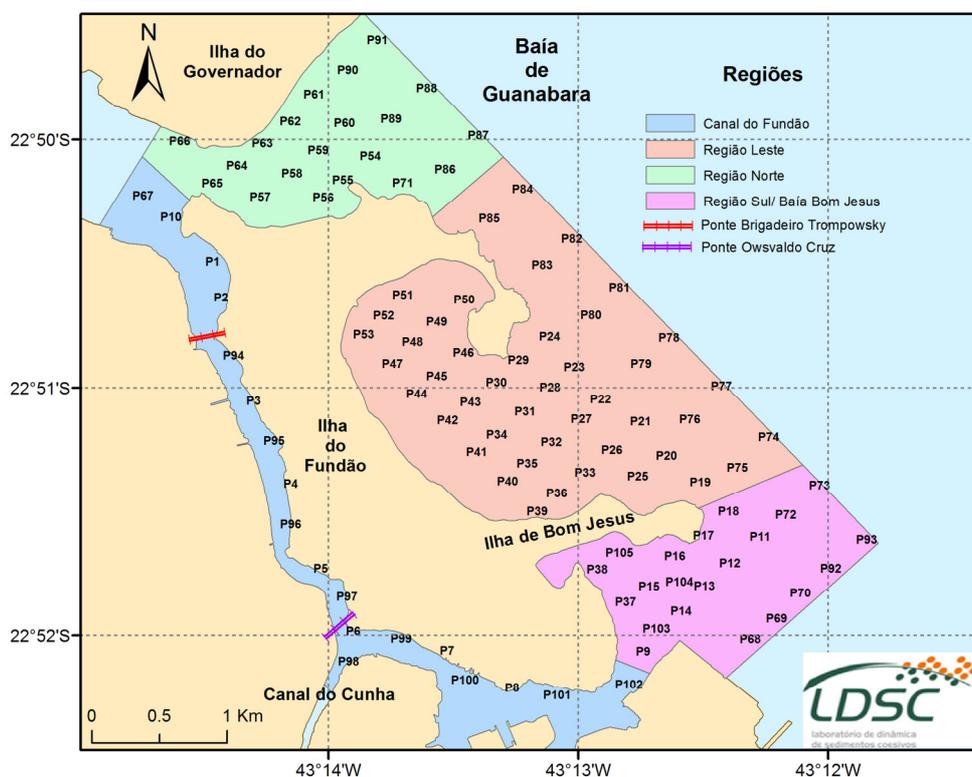


Figura 22: Referências de localização utilizadas no trabalho durante a descrição dos resultados. As regiões Norte, Sul e Leste foram estabelecidas pelas autoras, enquanto as demais são nomeações já existentes e foram aproveitadas para a orientação.

6.1. Distribuição dos Parâmetros Estatísticos

6.1.1. Média

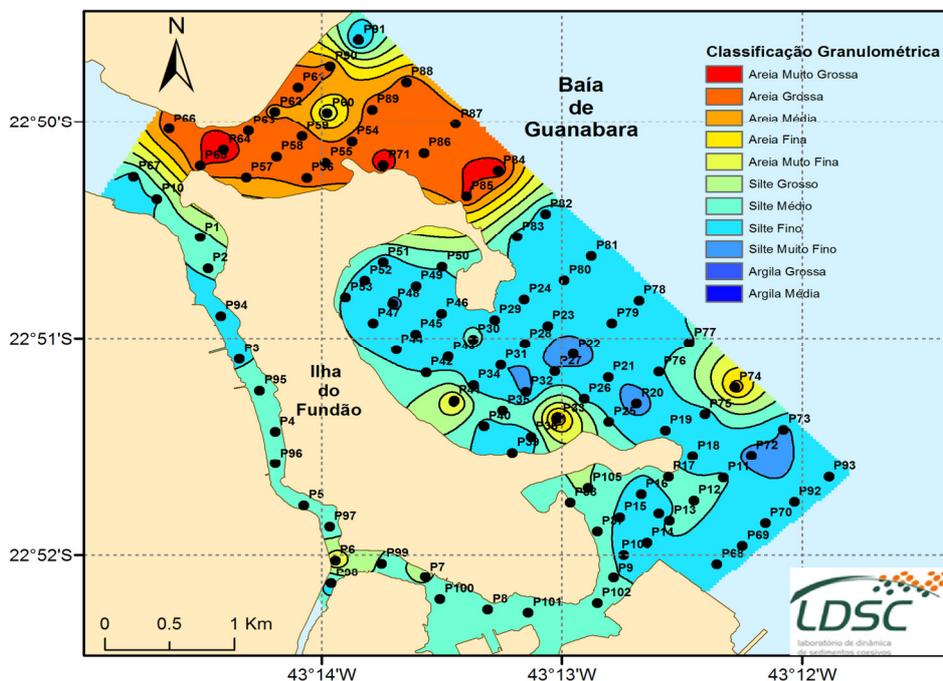


Figura 23: Mapa de distribuição da média granulométrica (em Φ), medida de tendência central calculada a partir das amostras de sedimento de fundo coletadas no entorno da Ilha do Fundão. De acordo com a classificação de Udden-Wentworth (1922): -1Φ a 0Φ (Areia Muito Grossa), 0Φ a 1Φ (Areia Grossa), 1Φ a 2Φ (Areia Média), 2Φ a 3Φ (Areia Fina), 3Φ a 4Φ (Areia Muito Fina), 4Φ a 5Φ (Silte Grosso), 5Φ a 6Φ (Silte Médio), 6Φ a 7Φ (Silte Fino), 7Φ a 8Φ (Silte Muito Fino), 8Φ a 9Φ (Argila Grossa) e 9Φ a 10Φ (Argila Média).

Como é possível observar no mapa de distribuição da média granulométrica da Figura 23, o entorno da Ilha do Fundão possui sedimentos com classificação variando de areia muito grossa (-1Φ a 0Φ) a silte muito fino (7Φ a 8Φ). Para este tipo de classificação, de forma ampla, podemos dividir basicamente duas áreas distintas: a região Norte da Ilha do Fundão e o restante do seu entorno.

A região Norte contém nitidamente a maior concentração de sedimentos grossos, com os grãos variando de areia muito fina a areia muito grossa. Os três pontos com maiores diâmetros são: P64, P71 e P84. Da Ponte Brigadeiro Trompowsky até a Ponte Oswaldo Cruz, há uma concentração de sedimentos

caracterizados como silte médio. No entanto, exatamente na saída do Canal do Cunha, há um acúmulo de sedimentos com características mais grossas, variando de silte muito grosso a areia muito fina.

Na região Sul do entorno da Ilha do Fundão, foi identificada uma tendência de engrossamento dos grãos, sendo estes classificados como silte médio quando estão mais próximos à costa e como silte fino quando estão mais distantes da mesma.

Na região Leste, foram observados sedimentos classificados como areia fina próximos à enseada da antiga Ilha de Bom Jesus. Em algumas regiões isoladas, destacam-se pontos com acúmulo de silte muito fino.

Foram analisadas as frequências de ocorrência das classificações quanto ao diâmetro médio das amostras pertencentes a cada região, com a plotagem de histogramas do Canal do Fundão (Figura 24) e das regiões Sul (Figura 25), Norte (Figura 26) e Leste (Figura 27) do entorno da Ilha do Fundão.

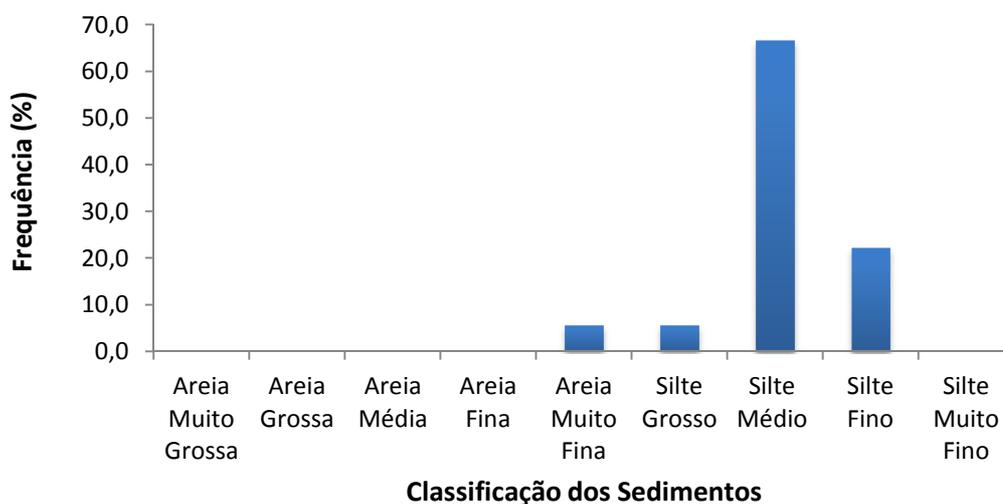


Figura 24: Histograma de frequências de ocorrência do diâmetro médio dos sedimentos de fundo no Canal do Fundão.

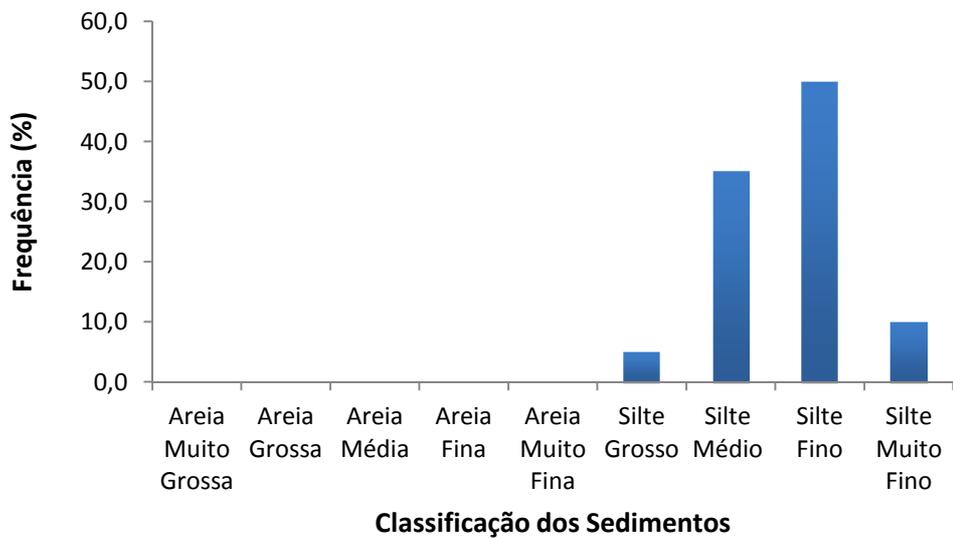


Figura 25: Histograma de frequências de ocorrência do diâmetro médio dos sedimentos de fundo na região Sul da Ilha do Fundão.

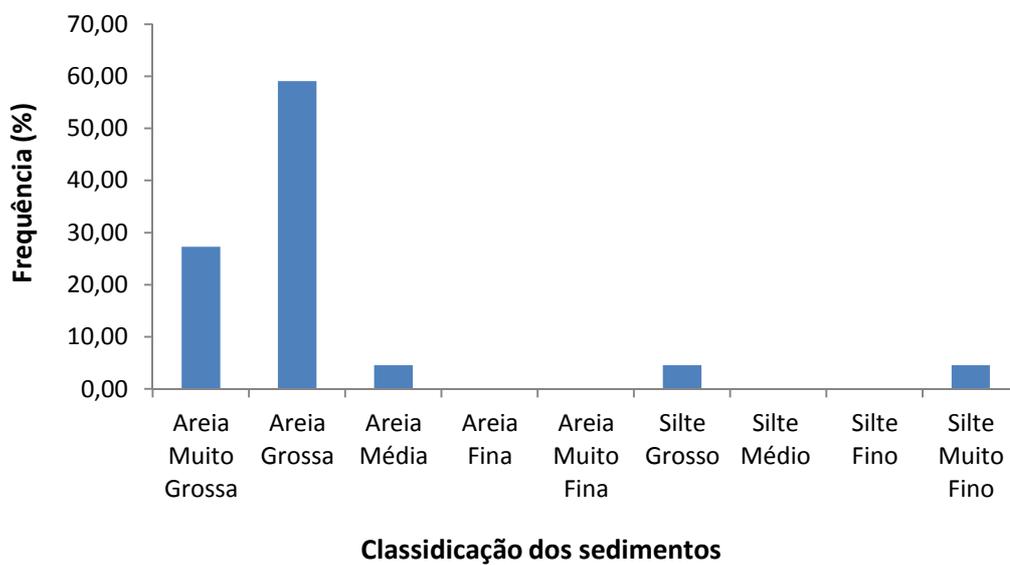


Figura 26: Histograma de frequências de ocorrência do diâmetro médio dos sedimentos de fundo na região Norte da Ilha do Fundão.

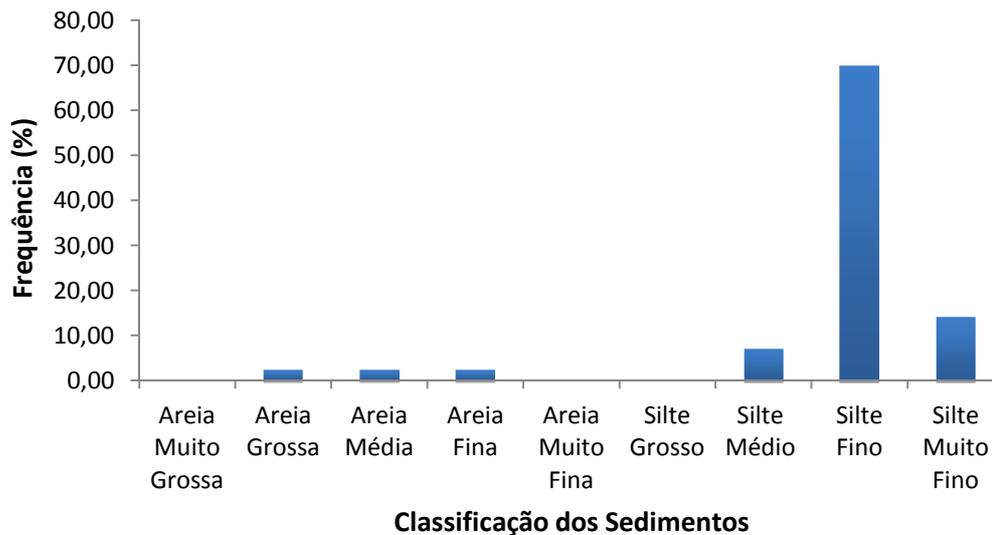


Figura 27: Histograma de frequências de ocorrência do diâmetro médio dos sedimentos de fundo na região Leste da Ilha do Fundão.

A região Leste é a porção mais heterogênea da área de estudo, apresentando sedimentos classificados de areia grossa a silte muito fino. No entanto, a classe que mais se destaca é o silte fino, representando 69,7% do total. Na região Sul, predominam todas as classes de siltes, sendo os siltes fino e médio os mais representativos da área, com respectivamente 50,0% e 35,0% do volume total. O Canal do Fundão possui os sedimentos classificados principalmente como siltes médio e fino, com respectivamente 66,7% e 22,2% da totalidade das classificações. Já a região Norte é a que mais difere das demais, contendo areia como sua classe dominante, com areia grossa abrangendo 59,1% da classificação granulométrica local.

O mapa de distribuição do diâmetro mediano em micrômetros (μm) é mostrado na Figura 28, como informação complementar, já que a mediana é o parâmetro estatístico que pode ser interpretado com maior facilidade, permitindo que sirva como auxílio para demais trabalhos.

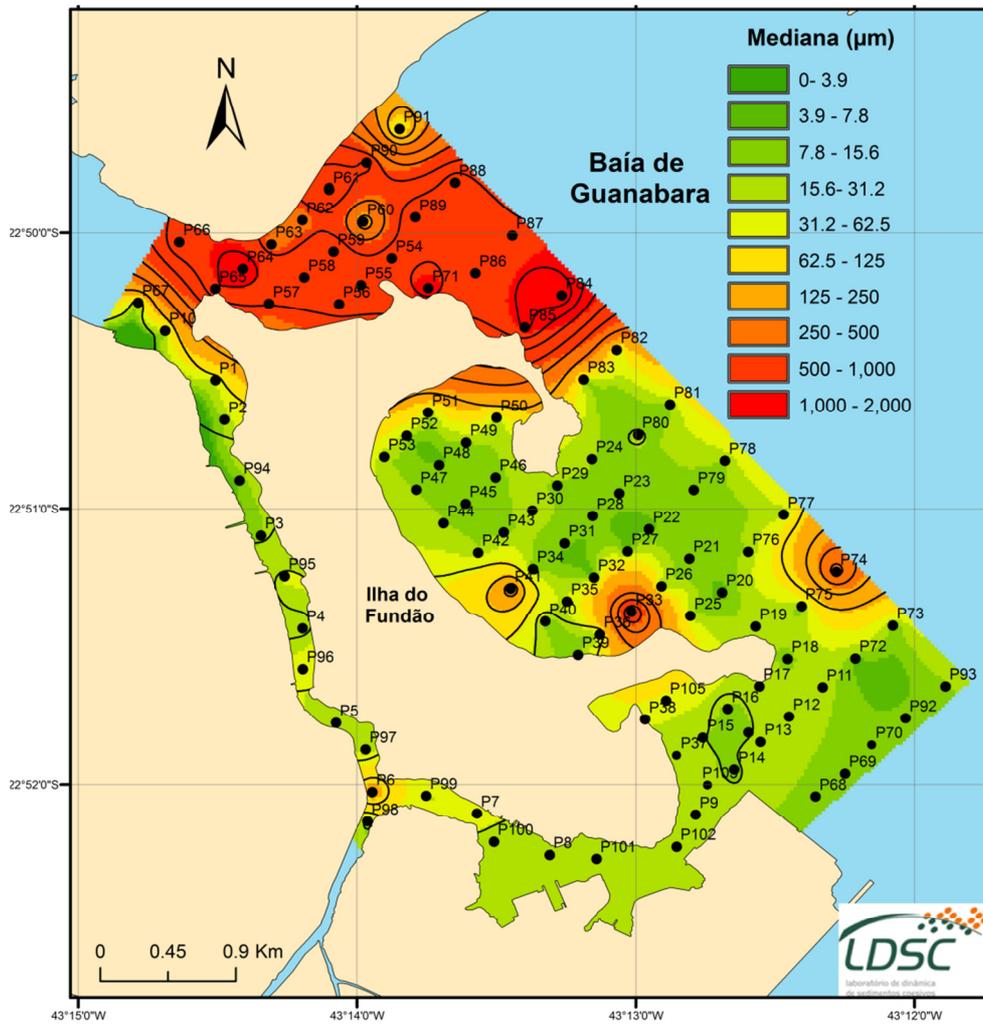


Figura 28: Mapa de distribuição da mediana das amostras de fundo de todos os pontos da grade amostral do entorno da Ilha do Fundão.

Utilizando a classificação da distribuição média fornecida pela Tabela 1 para a mediana, é possível perceber que na região Norte há um predomínio de areia grossa. Já nas regiões Leste e Sul ocorre a incidência maior de sedimentos classificados como silte fino, com alguns pontos cuja classificação corresponde a silte médio, enquanto no Canal do Fundão sedimentos classificados como silte médio são predominantes.

6.1.2. Desvio Padrão

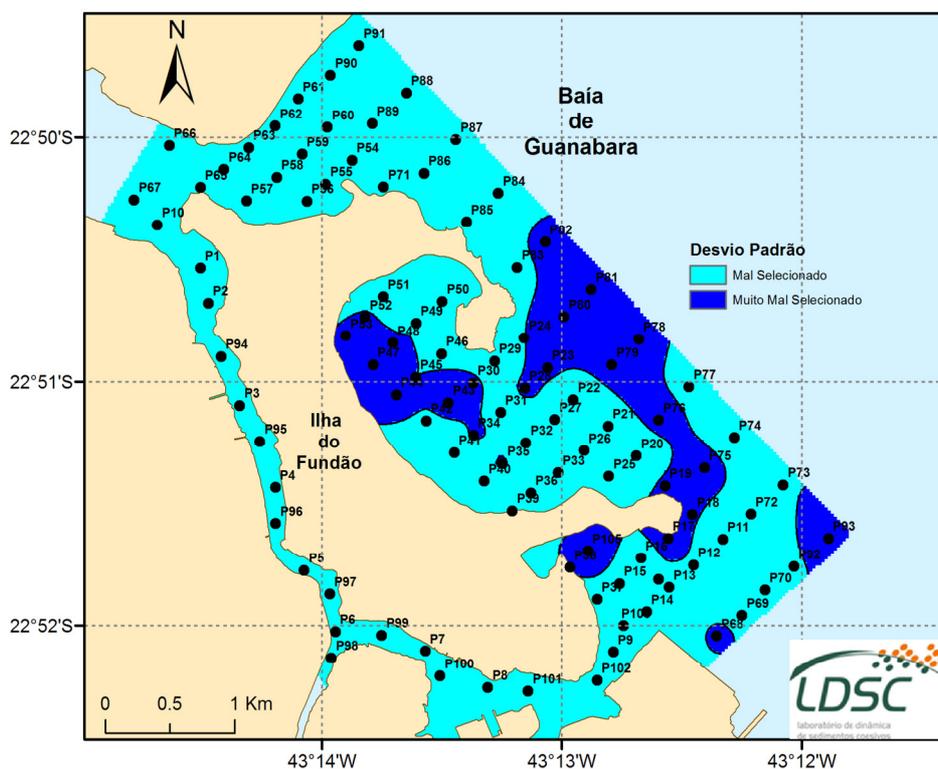


Figura 29: Mapa de distribuição do desvio padrão, medida de dispersão calculada a partir das amostras de sedimento de fundo coletadas no entorno da Ilha do Fundão. De acordo com a classificação de Folk & Ward (1957): 1,0 a 2,0 (Mal Seleccionada) e 2,0 a 4,0 (Muito Mal Seleccionada).

Conforme já explicado anteriormente, o desvio padrão é utilizado para classificar se uma amostra é melhor ou pior selecionada. Como pode ser observado na Figura 29, os sedimentos coletados no entorno da Ilha do Fundão apresentam apenas duas classificações: Mal Seleccionada (1,0 a 2,0) e Muito Mal Seleccionada (2,0 a 4,0).

O Canal do Fundão e a região Norte da ilha apresentam apenas sedimentos mal selecionados, enquanto a região Leste e a região Sul da ilha apresentam ambas as classificações, sendo a região Leste a área com maior concentração de sedimentos muito mal selecionados.

O maior valor de desvio padrão pertence ao ponto 105 (2,34), situado na porção Sul do entorno da Ilha do Fundão.

6.1.3. Assimetria

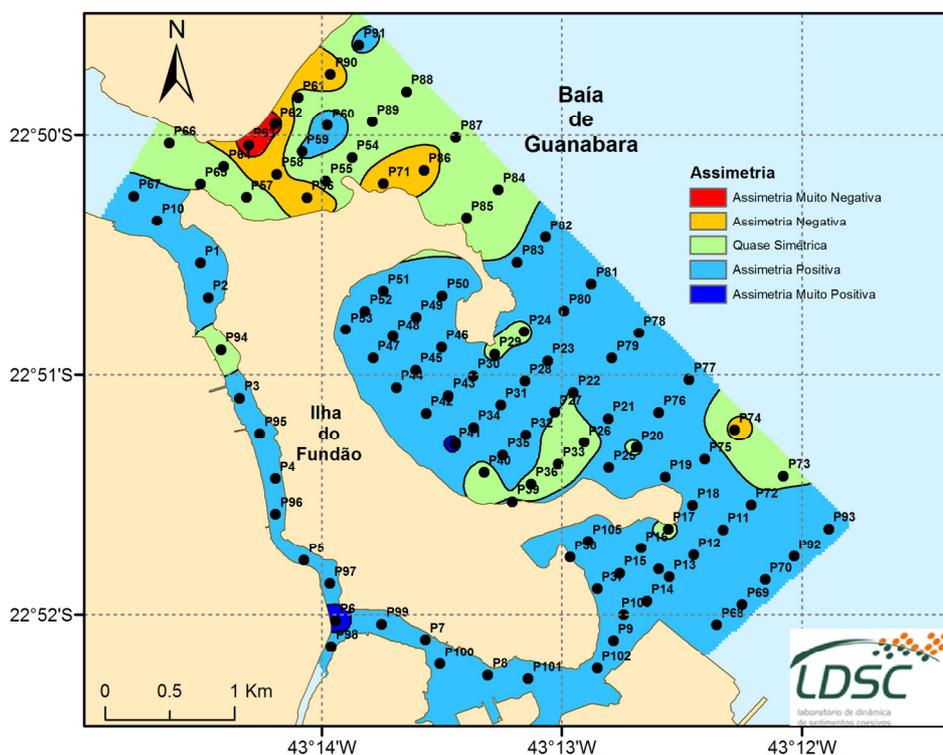


Figura 30: Mapa de distribuição da assimetria, calculada a partir das amostras de sedimento de fundo coletadas no entorno da Ilha do Fundão. De acordo com a classificação de Folk & Ward (1957): -1,0 a -0,3 (Assimetria Muito Negativa), -0,3 a -0,1 (Assimetria Negativa), -0,1 a 0,1 (Quase Simétrica), 0,1 a 0,3 (Assimetria Positiva) e 0,3 a 1,0 (Assimetria Muito Positiva).

Quanto à assimetria, assim como na distribuição da média, pode-se distinguir na Figura 30 duas regiões de forma geral: a região Norte e o restante do entorno da Ilha do Fundão.

Tanto no Canal do Fundão quanto na região Leste da Ilha do Fundão, há predominância de sedimentos com assimetria de 0,1 a 0,3, sendo classificadas como amostras de assimetria positiva.

Na porção Norte, a maior parte das amostras classifica-se como quase simétricas, observando-se a tendência da assimetria tornar-se negativa em direção à costa da Ilha do Governador, sendo os pontos 63 e 62 as únicas estações amostrais com assimetrias muito negativas (-0,516 e -0,441, respectivamente).

6.2. Tendências de Transportes

6.2.1. Caso CB+

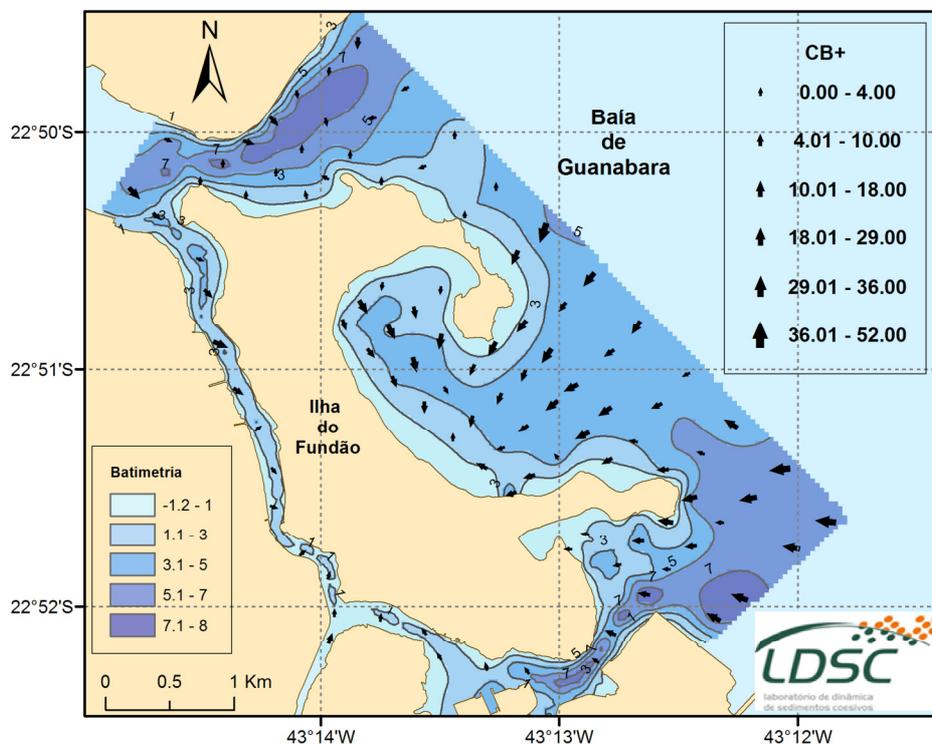


Figura 31: Transporte líquido de sedimentos no entorno da Ilha do Fundão, considerando apenas o caso CB+, em uma grade regular, com espaçamento de 200 metros entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend. O depósito resultante será mais grosso, terá assimetria mais positiva e será melhor selecionado. As setas representam os vetores de transporte para o caso analisado.

Este caso mostrado na Figura 31 representa a situação em que o depósito se torna mais grosso, porém com a assimetria positiva, o que significa que há um excesso de sedimentos finos na cauda.

Na porção Leste, o transporte indica que há entrada de sedimentos, com tendência de convergência em direção à Ilha do Fundão. Na porção Sul, há a tendência de transporte em direção à enseada da antiga Ilha de Bom Jesus, enquanto na porção Norte há a presença de vetores em direção à porção central, indicando um possível acúmulo de partículas grossas na região com maior profundidade.

Nas regiões Leste e Sul, este caso apresenta vetores com maior robustez nas regiões mais externas da Ilha do Fundão, com a redução dos mesmos em direção às áreas mais internas.

Em toda a extensão do Canal do Fundão, os vetores apresentam-se menos robustos, tendo os vetores do seu braço Norte sentido em direção ao sul.

6.2.2. Caso FB-

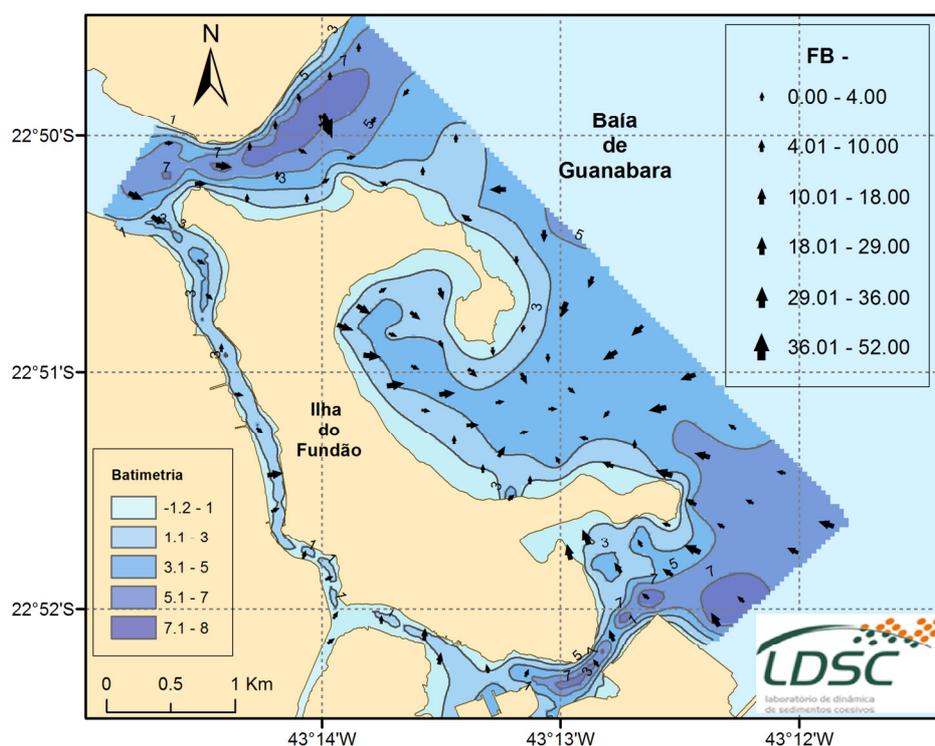


Figura 32: Transporte líquido de sedimentos no entorno da Ilha do Fundão, considerando apenas o caso FB-, em uma grade regular, com espaçamento de 200 metros entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend. O depósito resultante será mais fino, terá assimetria mais negativa e será melhor selecionado. As setas representam os vetores de transporte para o caso analisado.

No mapa da Figura 32 acima, da mesma forma que no caso anterior, observamos uma convergência de sedimentos na porção Leste. Porém, diferentemente do caso CB+, o caso FB- indica uma convergência em direção à região central, com os vetores apresentando uma tendência de transporte da

Ilha do Fundão em direção à porção central da região Leste (profundidade de 3,1 a 5 metros).

Na porção Sul da Ilha do Fundão, a tendência é semelhante ao caso CB+, com uma maior disposição de sedimentos em direção à enseada da antiga Ilha de Bom Jesus. Na porção Norte, percebe-se que há um vetor com maior robustez na região, indicando que há saída de finos de uma região mais profunda em direção à Ilha do Fundão.

No Canal do Fundão, os vetores do braço Norte apresentam tendência de transporte em direção ao Sul, como no caso anterior.

6.2.3. Caso FB+

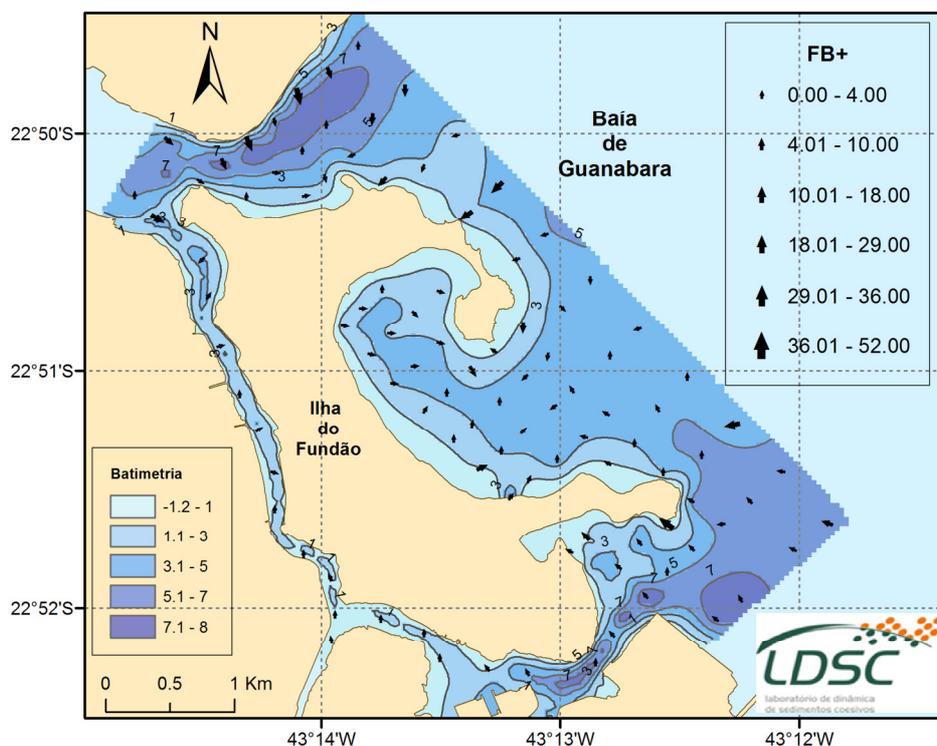


Figura 33: Transporte líquido de sedimentos no entorno da Ilha do Fundão, considerando apenas o caso FB+, em uma grade regular, com espaçamento de 200 metros entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend. O depósito resultante será mais fino, terá assimetria mais positiva e será melhor selecionado. As setas representam os vetores de transporte para o caso analisado.

Este caso mostrado na Figura 33 não apresenta uma tendência definida na porção Leste. Este é o caso que apresenta os vetores menos robustos, o

que mostra sua menor influência na área de estudo, com exceção da região Norte, onde os vetores apresentam maior robustez quando comparados com os demais casos (CB+, FB- e CB-).

A região Norte apresenta tendência de transporte da Ilha do Governador em direção à Ilha do Fundão, enquanto na região Sul, encontra-se uma tendência de entrada de sedimentos provenientes da região externa da baía em direção à enseada da antiga Ilha de Bom Jesus, assim como nos casos anteriores. No Canal do Fundão, os vetores do braço Norte apresentam tendência de transporte em direção ao Norte, contrariando os casos CB+ e FB-

.

6.2.4. Caso CB-

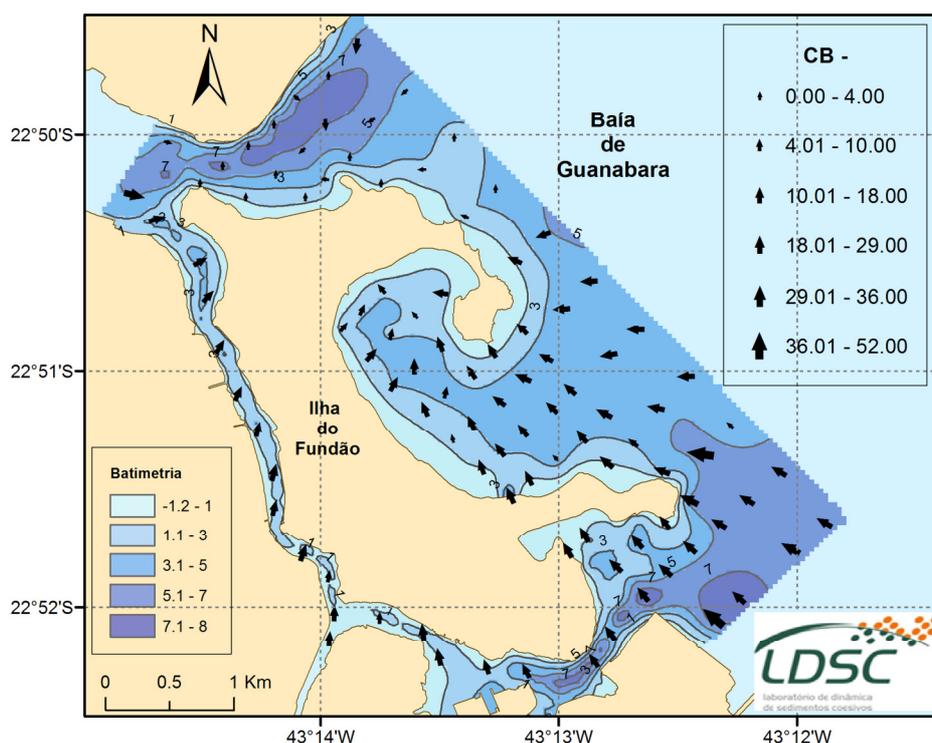


Figura 34: Transporte líquido de sedimentos no entorno da Ilha do Fundão, considerando apenas o caso CB-, em uma grade regular, com espaçamento de 200 metros entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend. O depósito resultante será mais grosso, terá assimetria mais negativa e será melhor selecionado. As setas representam os vetores de transporte para o caso analisado.

Este caso da Figura 34 apresenta tendências de transporte com os vetores mais robustos quando comparado com os casos anteriores. Na porção Leste, vê-se que os vetores não convergem para a porção central da área, mas tendem a convergir em direção à Ilha do Catalão, com transporte indicando entrada de sedimentos. Os vetores na região Sul indicam a mesma tendência que nos casos anteriores, indicando entrada de sedimentos em direção à enseada da antiga Ilha de Bom Jesus, com vetores mais robustos quando comparados às outras áreas.

No Canal do Fundão, os vetores do braço Norte indicam uma tendência em direção ao Norte, assim como no caso FB+, contrariando os casos CB+ e FB-, enquanto na região Norte não há um padrão de transporte bem definido.

6.3. Teores de Matéria Orgânica nos Sedimentos

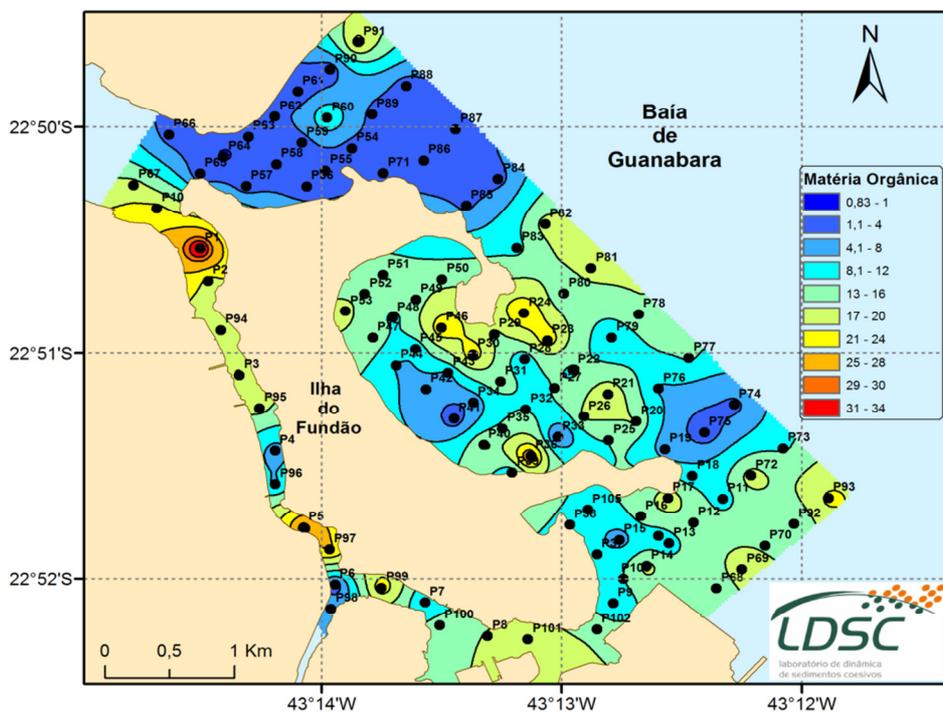


Figura 35: Distribuição da porcentagem de matéria orgânica no entorno da Ilha do Fundão. A quantidade de matéria volátil foi obtida para cada uma das 103 amostras de fundo coletadas nas duas campanhas.

Como pode ser observado na Figura 35, no Canal do Fundão, os pontos 4, 6, 96 e 98 são os pontos que apresentam as menores concentrações em

todo o canal, com o restante apresentando elevados níveis de resíduo volátil, em torno de 20%, com destaque para o ponto 1, na altura na Ponte Brigadeiro Trompowsky, que apresentou valor acima de 30%. Ao fazer uma correspondência com a granulometria do local, percebe-se que no Canal do Fundão há uma predominância de silte médio e alguns pontos na parte superior do canal com ocorrência de silte fino.

A região Leste apresenta, no geral, amostras com concentrações de matéria orgânica variando em torno de 8 a 16%, com pontos como 33, 41, 42, 74 e 75 apresentando concentrações menores que 8%. Neste local, predominam sedimentos classificados como silte fino. Teores de matéria orgânica semelhantes à região Leste são encontrados na região Sul (entre 8 e 16%), onde em uma região próxima à Baía de Bom Jesus são observadas menores concentrações, em torno de 8%, e valores maiores que 17% em regiões mais afastadas da costa. Na Baía de Bom Jesus, sedimentos classificados como silte médio são mais frequentes, mas com predominância de silte fino.

A região Norte mostra uma tendência diferente dos outros locais, apresentando os menores teores de matéria orgânica de toda a área de estudo, com valores entre 1 e 4%. Já com relação à granulometria, predominam ali sedimentos classificados como areia grossa, com alguns pontos correspondendo a areia muito grossa.

7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

7.1. Distribuição dos Parâmetros Granulométricos

Com a classificação das 103 amostras no entorno da Ilha do Fundão, percebemos que a maior parte dos sedimentos na área de estudo é classificada como silte fino, representando 42,7% do total. As demais classificações que predominam são ordenadas de forma decrescente em: silte médio (22,3%) areia grossa (13,6%), silte muito fino (9,7%), areia muito grossa (5,8%), areia média (1,9%), silte grosso (1,9%), areia fina (1,0%) e areia muito fina (1,0%), como pode ser observado na Figura 36.

A área de estudo representa uma região com formas variadas de grãos, mostrando a contribuição das bacias de drenagem que influenciam na região e da formação de canais que dinamizam o caráter sedimentar, podendo proporcionar heterogeneidade para as classificações texturais apresentadas. Desta maneira, as amostras são formadas por diferentes classes texturais, com maior ou menor percentual de fração grossa e fina, como pode ser observado nas Figuras 37 e 38.

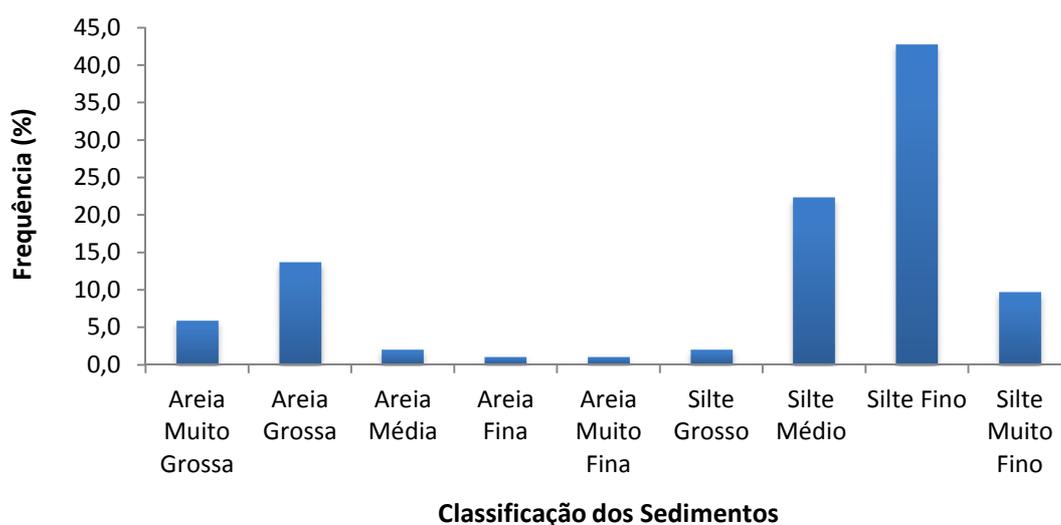


Figura 36: Histograma de frequências de ocorrência do diâmetro médio dos sedimentos de fundo do entorno da Ilha do Fundão.

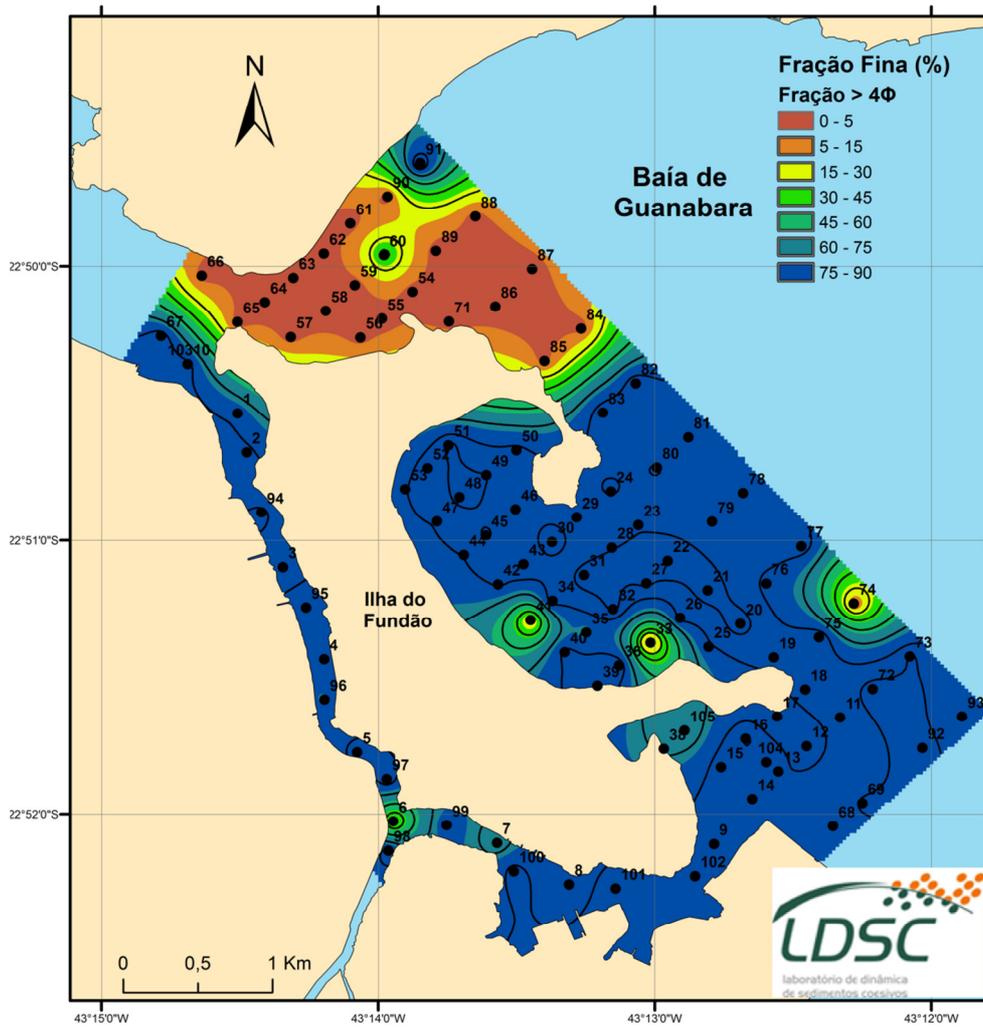


Figura 37: Porcentagem da fração fina (fração > 4 Φ) presente em cada amostra da malha amostral.

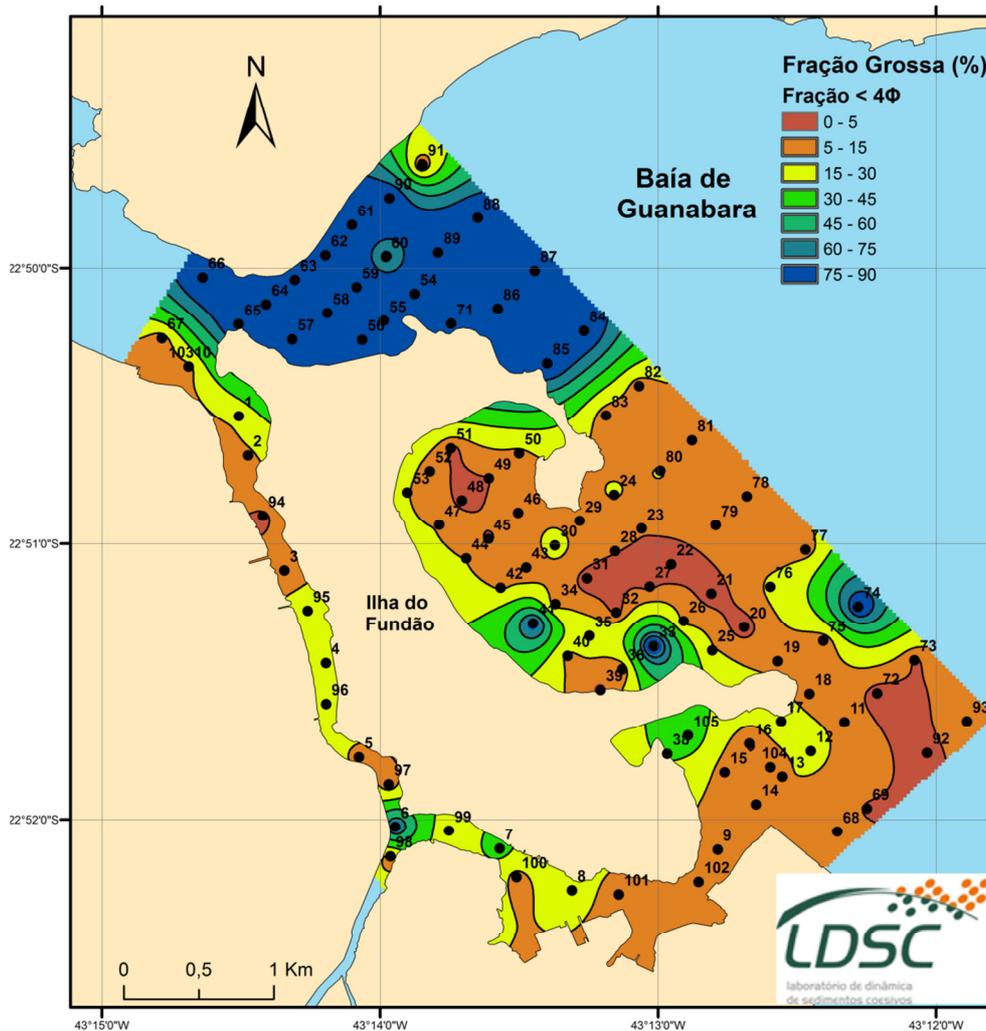


Figura 38: Porcentagem da fração grossa (fração $< 4 \phi$) presente em cada amostra da malha amostral.

Quanto à distribuição dos parâmetros, observamos que em regiões onde há canais e estreitamento das margens, há maior quantidade de sedimentos grossos, como na saída do Canal do Cunha e na porção Norte da Ilha do Fundão. Nestes locais, possivelmente a dinâmica é maior, oferecendo a energia necessária para que o material grosso se deposite e o material fino seja transportado.

É possível observar a relação entre a assimetria (Figura 30) e a granulometria (Figura 23), pois conforme explicado anteriormente, quando a assimetria é classificada como negativa, observa-se uma quantidade maior de sedimentos grossos nas caudas da curva. A classificação apresentada aqui reflete exatamente o que foi descrito: na região Norte, onde há maior concentração de partículas grossas, há maior quantidade de sedimentos com

assimetria negativa quando comparado com as demais regiões, destacando-se também uma quantidade considerável de partículas quase simétricas.

Pode-se observar nas demais regiões do entorno da Ilha do Fundão, onde existem sedimentos lamosos em áreas com menor profundidade, que há um predomínio de assimetria positiva vinculada aos elevados teores de silte na maioria das amostras.

A diversidade de classes granulométricas em uma mesma amostra define o quanto as amostras são mal selecionadas, sendo as regiões com maior quantidade de silte fino, neste trabalho, classificadas entre mal selecionadas e muito mal selecionadas. No ANEXO 3, estão apresentadas as distribuições das classes granulométricas para cada amostra, setorizadas por região, sendo possível observar melhor as classes texturais das amostras coletadas. Neste trabalho, levando em conta a influência das áreas externas da Baía de Guanabara e de uma possível hidrodinâmica com menor energia, observamos maior concentração de amostras muito mal selecionadas na região Leste da Ilha do Fundão.

De acordo com Vieira *et al.* (2008) em seus estudos sobre sedimentos de fundo do complexo estuarino da Baía da Babitonga, o baixo selecionamento dos grãos finos pode ocorrer por dois motivos. Um dos motivos propostos pode responder o que ocorre na região Leste do entorno da Ilha do Fundão, sendo explicado através da hidrodinâmica local. Os locais expostos à maior movimentação das águas não permitem a decantação das partículas finas em suspensão e, desta maneira, as plumas de sedimentos ou são exportadas para fora do complexo estuarino ou acabam por serem depositadas em áreas de menor hidrodinâmica. Deste modo, nas áreas com menor hidrodinâmica, ocorre a deposição de pacotes sedimentares de diferentes texturas. Sendo assim, estas áreas estão sujeitas a um aumento do desvio padrão (pior grau de seleção).

Segundo Pereira *et al.* (2008), muitas vezes é possível associar ambientes de alta energia com sedimentos bem selecionados, pois a dinâmica local consegue agrupar os grãos segundo seu diâmetro médio, enquanto que sedimentos mal selecionados geralmente representam ambientes de baixa energia pela ineficácia dos agentes em distribuir o sedimento segundo seu tamanho médio.

Neste trabalho, no entanto, mesmo na área com maior hidrodinâmica (Região Norte), os sedimentos foram classificados como mal selecionados, sendo uma possível consequência da não remoção de carbonato (CO_3^{2-}). Além disso, a formação geológica desta área induz a uma hidrodinâmica típica de canal, permitindo que haja maior saída e chegada de sedimentos.

Nos seus resultados de distribuição de fácies sedimentares na Enseada de Manguinhos, Tavares *et al.* (2010) evidenciou que existe uma tendência de pior selecionamento à medida que há aumento da concentração de carbonato de cálcio nas amostras, corroborando com a possível justificativa de mal selecionamento neste trabalho. Segundo ele, a concentração de carbonato de cálcio em amostras de fundo indica que há concentração de biodetritos, que por serem fragmentos sensíveis à quebra mecânica, tendem à fragmentação e, portanto, ao afinamento, alterando o diâmetro médio do conjunto dos sedimentos.

7.2. Tendências de Transporte dos Sedimentos

Dentre os quatro casos apresentados, aqueles que possuem vetores com maior robustez estatística, isto é, com maior probabilidade de serem verdadeiros, são os casos CB+ e CB- (Figuras 31 e 34, respectivamente), os quais indicam que o depósito se torna mais grosso que a fonte. Os casos FB- (Figura 32) e FB+ (Figura 33), nos quais o depósito se torna mais fino que a fonte original, apresentam vetores com robustez menor em algumas regiões. Sendo, assim, as duas primeiras tendências parecem ser predominantes na área de estudo, sendo a região Norte uma exceção, onde o caso FB+ prevalece sobre os demais por apresentar a maior quantidade de vetores robustos.

O caso CB-, quando analisado somente sob o critério da robustez, prepondera no Canal do Fundão e nas regiões Leste e Sul. Para este caso, é possível perceber vetores mais robustos nos locais mais distantes do continente, já que nestas áreas as correntes de marés são capazes de influenciar mais, sendo possivelmente os agentes mais atuantes no transporte, neste caso. Contrariamente, a dinâmica de confinamento das áreas mais

internas, com energia mais baixa, contribui para a atuação de vetores menos robustos próximos à Ilha do Fundão na região Leste.

Comparando os casos CB+ e CB-, vemos que nas regiões Leste e Sul os vetores indicam um transporte de entrada em relação à Ilha do Fundão, embora haja uma variação de um caso para outro quanto à direção dos vetores na região Leste.

A variação de direção pode ser explicada pela distribuição das assimetrias, observando-se a área de transição entre as regiões Norte e Leste. Quando analisamos esta região, vemos que os vetores do caso CB- direcionam-se para o Norte, pois as assimetrias menos positivas (areias grossa e fina) forçam que as tendências estejam em direção a elas. Analisando a mesma região de transição para o caso CB+, percebe-se que os vetores possuem sentido oposto, pois a região Leste é basicamente constituída por assimetrias positivas (silte fino), as quais forçam que os vetores se direcionem para porção central da região Leste.

No Canal do Fundão, os casos CB+ e CB- apresentam vetores do braço Sul com sentido Norte. No entanto, no braço Norte do Canal do Fundão, os vetores do caso CB+ possuem sentido Sul, enquanto os vetores do caso CB- possuem sentido Norte.

Para auxiliar neste ponto da discussão, imagens representando os mapas de correntes médias nas situações de enchente (Figura 37) e de vazante (Figura 38) de sizígia de Kaufmann (2009) foram utilizadas. Este estudo foi feito através de modelagem com o SisBaHiA[®] – Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental, versão 6.5, para análise dos efeitos na circulação hidrodinâmica e qualidade de água no Canal do Fundão após o projeto de revitalização, sendo citado aqui apenas para uma avaliação qualitativa.

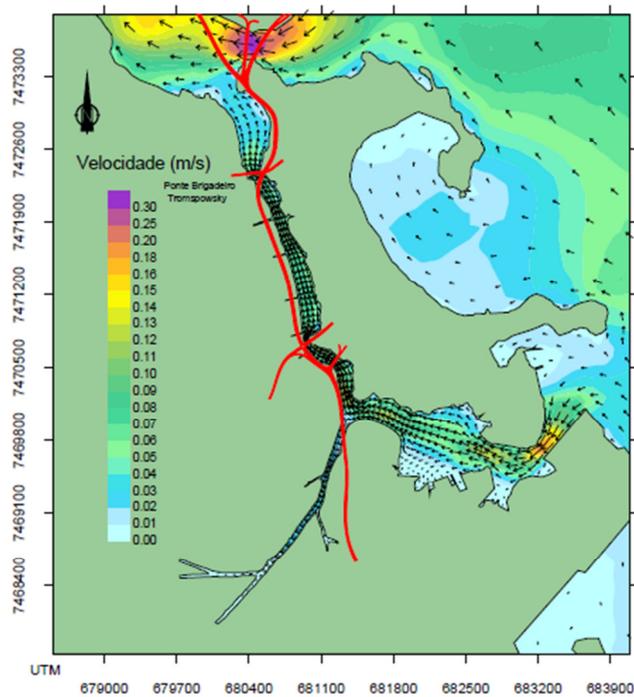


Figura 39: Padrão de velocidades de corrente médias durante enchentes de maré de sizígia para a situação pós-dragagem. Representa o escoamento médio da circulação hidrodinâmica ao longo do período de enchente, que dura cerca de 6 horas (Fonte: KAUFMANN, 2009).

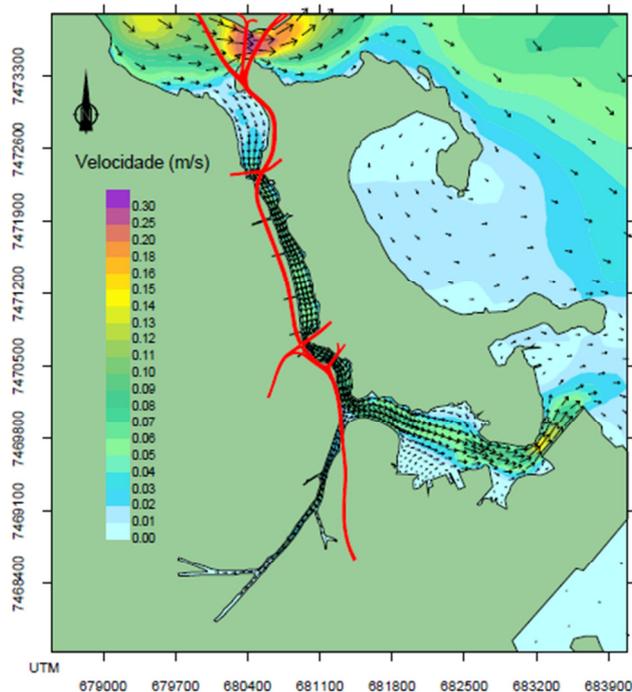


Figura 40: Padrão de velocidades de corrente médias durante vazantes de maré de sizígia para a situação pós-dragagem. Representa o escoamento médio da circulação hidrodinâmica ao longo do período de vazante, que dura cerca de 6 horas (Fonte: KAUFMANN, 2009).

Subtraindo as velocidades visualmente nas situações de enchente e vazante dos mapas de Kaufmann (2009), é possível obter a corrente residual no Canal do Fundão e assim obter uma correlação com os vetores residuais de transporte de sedimentos. Realizando esta subtração, observamos que as maiores velocidades ocorrem na situação de enchente, com os vetores residuais indicando a saída do canal, uma vez que os vetores do braço Norte e do braço Sul do Canal do Fundão têm sentido Norte, assim como apresentado no caso CB-.

Quando realizamos o mesmo procedimento para a região Leste, observamos mais uma vez que a situação de enchente prevalece sobre a de vazante, com os vetores residuais apresentando configuração semelhante ao caso CB-, no qual os vetores direcionam-se para dentro da Ilha do Fundão, especialmente para a porção interna da margem superior e para a Ilha do Catalão.

No transporte FB+ mostrado na Figura 33, o depósito se torna mais fino e com excesso de partículas finas na cauda. Portanto, é de se esperar que, em regiões com maiores velocidades, esse transporte seja mais intenso, já que nessas áreas há chance de saída de sedimentos finos, permitindo o acúmulo de sedimentos grossos.

Kaufmann (2009) corrobora com a explicação anterior, pois ao analisar o estudo hidrodinâmico da circulação do Canal do Fundão a partir de modelos numéricos, obteve os maiores valores de corrente na região Norte da Ilha do Fundão, com velocidades máximas de 0,30 m/s (maré de sizígia em situação de maré vazante e enchente).

Em cada região, evidencia-se a atuação de um caso com maior intensidade devido à distribuição espacial dos parâmetros estatísticos, porém é esperado que haja uma complementaridade de casos atuando em uma mesma região. Sendo assim, para a obtenção de uma descrição geral de transporte no entorno da Ilha do Fundão, foi elaborado o mapa mostrado a seguir na Figura 39 com o somatório dos quatro casos.

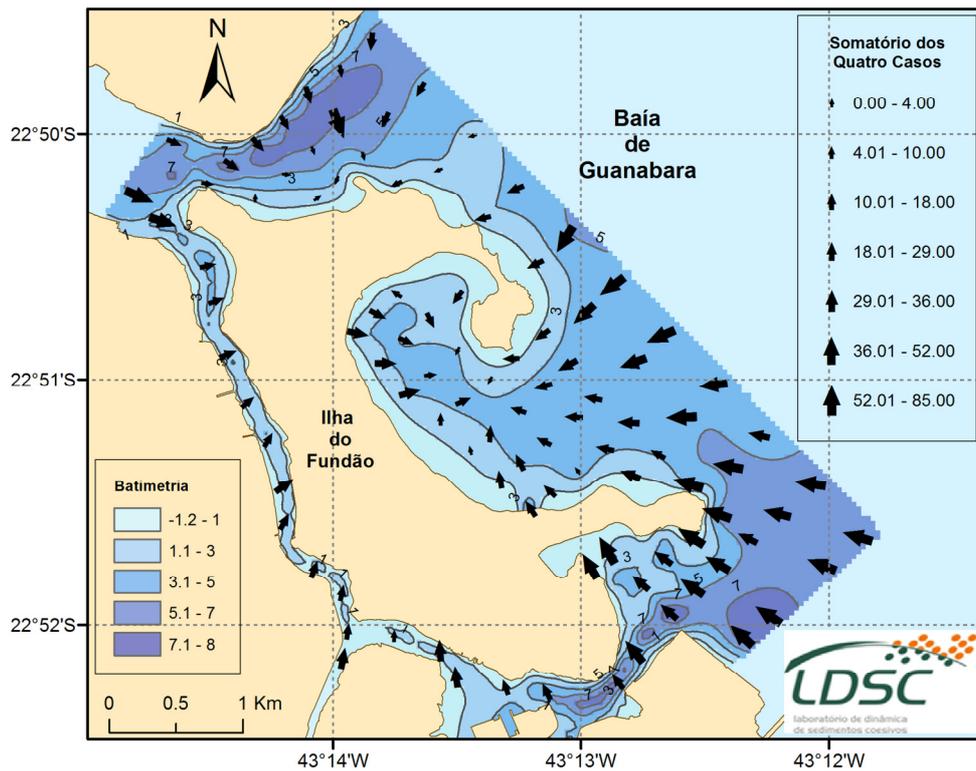


Figura 41: Transporte líquido de sedimentos no entorno da Ilha do Fundão, considerando os quatro casos combinados: CB+, FB-, FB+ e CB-, em uma grade regular, com espaçamento de 200 metros entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend. O depósito resultante será mais fino ou mais grosso, terá assimetria mais negativa ou mais positiva, mas será sempre melhor selecionado. As setas representam os vetores de transporte para o caso analisado.

O somatório dos quatro casos indica que no Canal do Fundão o transporte é longitudinal, ou seja, ao longo da Ilha do Fundão, indicando um transporte residual de sedimentos de saída do canal, enquanto na região Norte o transporte residual é perpendicular à Ilha do Fundão, direcionando-se da Ilha do Governador para a Ilha do Fundão. Nas regiões Leste e Sul, observa-se um padrão de transporte residual de entrada, apresentando vetores mais robustos em áreas com maiores profundidades. No mapa da Figura 40 pode-se observar melhor a direção dos vetores residuais de transporte nestas regiões.

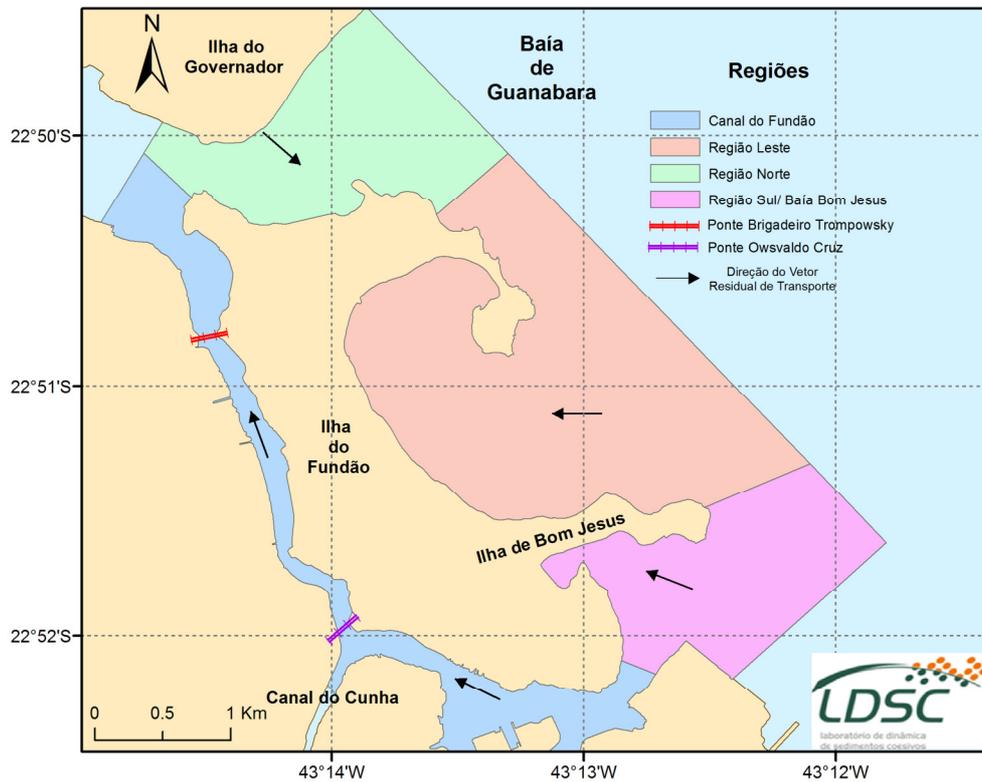


Figura 42: Mapa com a tendência qualitativa de transporte dos sedimentos no Canal do Fundão e nas regiões Norte, Leste e Sul.

7.3. Interface com a Qualidade Ambiental: Quantificação da Matéria Orgânica

Através da análise da Figura 35 que trata da distribuição de matéria orgânica no entorno da Ilha do Fundão, e da Figura 23, que trata da distribuição de granulometria média, é possível perceber que, em geral, os teores de matéria orgânica na área de estudo variam de 1% a 30%.

Geralmente, os menores valores de matéria orgânica estão associados a locais que apresentam sedimentos mais grossos, cuja classificação varia entre areias de todos os tipos, em especial as areias grossas. Já os maiores valores de matéria orgânica correspondem a locais com sedimentação mais fina, cuja classificação varia desde silte médio até silte muito fino, com predominância de silte fino e ocorrência de três pontos classificados como areia fina. Esta classificação se justifica devido ao fato de que os sedimentos de fina granulometria tendem a adsorver a matéria orgânica nele contida (PEREIRA *et al.*, 2003).

Esses valores de matéria orgânica podem ser interpretados como sendo correspondentes a áreas tipicamente estuarinas, de fraca hidrodinâmica e com características essencialmente deposicionais (VIEIRA *et al.*, 2008). Por essa razão, os dados sedimentológicos referentes à concentração de matéria orgânica se revelam como bons indicadores dos ambientes de deposição, expressando indiretamente a energia hidrodinâmica.

Além da deposição de sedimentos mais finos e dos teores mais elevados de matéria orgânica, outra característica típica dos ambientes estuarinos são os materiais mal selecionados. Os sedimentos mais pobremente selecionados indicam a atuação de diferentes processos de sedimentação, com influência de diversos fatores, tais como períodos de maior vazão dos cursos de água, amplitude de marés e correntes (VIEIRA *et al.*, 2008).

Relacionando os dados presentes nos resultados de matéria orgânica, distribuição granulométrica e desvio padrão do presente trabalho, foi possível constatar que as regiões que apresentaram sedimentos muito mal selecionados geralmente correspondem aos locais com valores mais elevados de matéria orgânica.

Essa grande quantidade de matéria orgânica encontrada indica uma elevada eutrofização do ambiente no entorno da Ilha do Fundão, especialmente no Canal do Fundão. Dessa forma, acredita-se que a alta porcentagem de matéria orgânica concentrada nos sedimentos finos da Baía de Guanabara seja consequência tanto da intensa produtividade biológica da baía quanto do considerável aporte de nutrientes de origem antrópica, principalmente através do despejo de grande quantidade de efluentes industriais e de esgoto doméstico, além da drenagem fluvial. Também pode ser decorrente da circulação restrita nas áreas mais protegidas, o que pode ser constatado pela distribuição dos tipos de sedimento de fundo e pela hidrodinâmica do local (GUIMARÃES *et al.*, 2007).

8. CONCLUSÃO

A área de estudo mostrou-se heterogênea quanto às classificações texturais, sendo possível identificar três ambientes deposicionais principais:

- Região Norte;
- Regiões Leste e Sul;
- Canal do Fundão.

A região Norte é constituída principalmente de sedimentos caracterizados como areia grossa, tendo predominância de sedimentos classificados como quase simétricos e como mal selecionados. No Canal do Fundão, os sedimentos também são mal selecionados, porém como predominantemente é formado por silte médio, sua assimetria foi classificada como positiva em quase toda sua extensão. As regiões Leste e Sul são similares quanto às classificações, sendo reconhecidas pela predominância de silte fino, com assimetria positiva e com grau de selecionamento variando de mal a muito mal selecionado.

Correlacionando as distribuições espaciais dos parâmetros estatísticos granulométricos com a dinâmica local, verificou-se que as áreas com presença de partículas grossas coincidiram com canais mais profundos, indicando maior energia de correntes de maré. Contrariamente as regiões marcadas pela presença de silte concordaram com áreas de baixa energia, permitindo que haja deposição de sedimentos.

Quanto aos casos de transporte, o caso CB- descreveu melhor a dinâmica sedimentar no Canal do Fundão e nas regiões Leste e Sul, enquanto o caso FB+ mostrou-se dominante na região Norte. Os transportes residuais nas áreas seguiram a mesma divisão que as classificações texturais, pois os padrões de transporte de sedimentos obtidos mostraram que as regiões Leste e Sul apresentam o mesmo padrão de transporte, diferenciando-se da região Norte e do Canal do Fundão. Estas particularidades podem ser observadas através do somatório dos quatro casos, sendo possível descrever a dinâmica sedimentar geral do entorno da Ilha do Fundão da seguinte forma:

- ♦ O padrão de transporte residual nas regiões Leste e Sul indica uma maior probabilidade de entrada de sedimentos, com transporte proveniente da área externa da Baía de Guanabara em direção às áreas mais confinadas;
- ♦ O padrão de transporte residual no Canal do Fundão infere uma maior probabilidade de saída de sedimentos do canal, com transporte longitudinal à Ilha do Fundão;
- ♦ O padrão de transporte residual na região Norte apresenta maior probabilidade de saída de sedimentos provenientes da Ilha do Governador em direção à Ilha do Fundão.

Relacionando os teores de matéria orgânica com os padrões verificados de transporte de sedimentos, observou-se que a região Norte da área de estudo não se mostrou um local favorável para a deposição de matéria orgânica por se tratar de um ambiente não confinado, com maior hidrodinâmica e sedimentação grosseira (predominantemente areia grossa). Contrariamente, nas regiões Leste e Sul, cuja sedimentação predominante é o silte fino, foram verificados teores em torno de 20% de matéria orgânica, sendo maiores que os teores encontrados na região Norte, os quais ficaram em torno de 4%. Esta diferença pode ocorrer devido ao maior confinamento desses ambientes em razão do formato adquirido pela Ilha do Fundão após todos os aterros, além de apresentar uma hidrodinâmica menor. Já o Canal do Fundão apresentou amostras com valores diversificados de matéria orgânica, alcançando teores acima de 25% nos pontos cujos sedimentos foram classificados como silte médio. Estes valores podem ser explicados pela contribuição de diversas bacias de drenagem e pelos diversos pontos de lançamento direto de esgoto praticamente *in natura* em locais muito próximos à margem oeste da Ilha do Fundão. Estes despejos correspondem principalmente ao esgoto produzido pelas comunidades que compõem o conjunto de favelas da Maré.

O programa GiSedTrend mostrou-se eficiente, fornecendo informações para uma descrição geral do transporte residual de sedimentos. No entanto, para um diagnóstico mais específico na área de estudo, recomenda-se que outros programas sejam utilizados, assim como a retirada de carbonato, já que

a forma diferenciada desta partícula pode ter influenciado na análise geométrica dos parâmetros estatísticos utilizados. Além disso, aconselha-se que outras distâncias características sejam testadas, para avaliar a sensibilidade do programa quanto a esta variação.

Este trabalho consiste em um primeiro enfoque sobre a dinâmica sedimentar do entorno da Ilha do Fundão, tendo um caráter investigativo. Futuramente, outros estudos podem ser desenvolvidos visando realizar uma melhor avaliação e expandindo o tema aqui debatido, como medição de correntes, estudo da hidrodinâmica local e análise de parâmetros de qualidade. É recomendado também que novas amostragens sejam realizadas com maior número de amostras, principalmente no Canal do Fundão.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A.C.M. **Geocronologia de compostos orgânicos de estanho e de alguns metais de relevância ambiental. Estudo de caso: Baía de Guanabara**, Rio de Janeiro, 2003. Tese (Doutorado em Química) – Departamento de Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2003.

AMADOR, E.S. **Baía de Guanabara e ecossistemas periféricos: Homem e natureza**. Rio de Janeiro, 1997. Tese (Doutorado em Ciências - Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Reproarte Gráfica e Editora LTDA. 539p., 1997.

AQUAFLUXUS – CONSULTORIA AMBIENTAL EM RECURSOS HÍDRICOS. Canal do Fundão – Quando a dragagem não é uma vilã. 2012. Disponível em: <<http://aquafluxus.com.br/?p=1219>>. Acesso em: 20 jun. 2014.

ASSELMAN, N.E.M. **Grain-size trends used to assess the effective discharge for floodplain sedimentation, River Waal, the Netherlands**. Journal of Sedimentary Research, v. 69, n. 1, p. 51-61, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.734**: peneiras para ensaio. Rio de Janeiro, 1980. 5 p.

_____. **NBR 10.664**: águas: determinação de resíduos (sólidos): método gravimétrico. Rio de Janeiro, 1989. 7 p.

AZEVEDO, M.M. **Aplicação de modelos de tendência direcional de transporte de sedimentos na plataforma continental Sul do estado do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro, 2006. Monografia (Bacharelado em Oceanografia) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, 2006.

BAPTISTA-NETO, J.A.; GINGELE, F.X.; LEIPE, T.; BREHME, I. **Spatial distribution of heavy metals in surficial sediments from Guanabara Bay: Rio de Janeiro, Brazil**. Environmental Geology, v. 49, n. 7, p. 1051-1063, 2006.

BARRETO, C.F. **Análise palinológica de amostras de sedimentos superficiais e de um testemunho de sondagem da Baía de Guanabara, estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2004. Dissertação (Mestrado em Ciências - Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.

BLOTT, S.J.; PYE, K. **Gradistat: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments**. Earth Surface Processes and Landforms, v. 26, n. 11, p. 1237-1248, 2001.

CAMARGO, J.M.R.; GUERRA, J.V.; PATCHINEELAM, S.M. **Variações das forças hidrodinâmicas junto a um campo de dunas subaquáticas na Baía da Guanabara – RJ**. Rio Grande, 2004. Revista Atlântica, Rio Grande –

Departamento de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande, v. 26, n. 1, 2004.

CANAL DO FUNDÃO. GF Design. Disponível em: <<http://www.gfdesign.com.br/canaldofundao/home.php>>. Acesso em: 20 jun. 2014.

CARMO, D.A. **Aplicação do modelo de tendências granulométricas (GSTA) para determinação do padrão de transporte de sedimento na Baía do Espírito Santo, Vitória – ES**. Vitória, 2006. Monografia de conclusão de curso (Graduação em Oceanografia) – Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, 2006.

CARNEIRO, J.C. **Compartimentação sedimentológica do Canal do Superagüi, litoral do estado do Paraná**. Pontal do Paraná, 2010. Monografia (Bacharelado em Oceanografia) – Centro de Estudos do Mar, Universidade Federal do Paraná, 2010.

CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JÚNIOR, N.P.; SANTOS, P.M.C.; LIMA, J.E.F.W. **Guia de práticas sedimentométricas**. Agência Nacional de Energia Elétrica – Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas. Brasília: Dupligráfica Editora Ltda, 154p, 2000.

COELHO, V.M.B. **Baía de Guanabara: uma história de agressão ambiental**. 1 ed., 278p., Rio de Janeiro: Casa da Palavra, 2007.

CORDEIRO, L.G.M.S. **Esteróis como marcadores moleculares da contaminação fecal no sistema estuarino Iguazu-Sarapuí, noroeste da Baía de Guanabara (RJ)**. Rio de Janeiro, 2006. Dissertação (Mestrado em Química) – Departamento de Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2006.

COSTA, I.G.D.D. **Análise do assoreamento no reservatório de Três Irmãos - SP, utilizando dados topobatimétricos, hidrológicos e técnicas de geoprocessamento**. São Carlos, 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2009.

DALRYMPLE, R.W.; ZAITLIN, B.A.; BOYD, R. **Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications**. Journal of Sedimentary Petrology, v. 62, p. 1130–1146, 1992.

DEFANT, A. **Physical Oceanography**. Oxford, Pergamon Press, 729p., 1960.

DIAS, C.B. **Dinâmica do sistema estuarino Timonha / Ubatuba (Ceará – Brasil): Considerações ambientais**. Fortaleza, 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) – Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, 2005.

DIAS, J.M.A. **A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos: Uma introdução à Oceanografia Geológica**. Universidade do Algarve. Faro, 2004. Disponível em: <http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/eb_Sediment.html>. Acesso em: 20 jun. 2014.

- DOLVITSCH J.N. **Simulação do transporte de sedimentos em rios e canais: Estudo sobre softwares disponíveis.** Porto Alegre, 2013. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.
- DUC, D.M.; NHUAN, M.T.; NGOI, C.V.; NGHI, T.; TIEN, D.M.; VAN WEERING, T.C.E.; VAN DEN BERGH, G.D. **Sediment distribution and transport at the nearshore zone of the Red River delta, Northern Vietnam.** Journal of Asian Earth Sciences, v. 29, p. 558–565, 2007.
- DYER, K.R. **Estuaries: A physical introduction.** 2ª ed., 195 p., Chichester: John Wiley and Sons, 1997.
- FERREIRA, T.R.S. **Aplicação de modelos de transporte de sedimentos à plataforma continental interna entre a Ilha de Cabo Frio e o Cabo Búzios (RJ).** Rio de Janeiro, 2010. Monografia (Bacharelado em Oceanografia) – Instituto de Geociências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2010.
- FOI UM RIO QUE PASSOU. Resposta da pegadinha. André Decourt. 2006. Disponível em: <<http://www.rioquepassou.com.br/2006/10/10/resposta-da-pegadinha/>>. Acesso em: 20 jun. 2014.
- FOLK, R.L.; WARD, W.C. **Brazos River Bay: Study of the significance of grain size parameters.** Journal of Sedimentary Petrology, v. 27, p. 3-27, 1957.
- GAO, S. **A Fortran program for grain-size trend analysis to define net sediment transport pathways.** Computers & Geosciences, v. 22, n. 4, p. 449-452, 1996.
- GAO, S.; COLLINS, M.B. **A critique of the “McLaren method” for defining sediment transport paths – discussion.** Journal of Sedimentary Petrology, v. 61, n. 1, p. 143-146, 1991.
- GAO, S.; COLLINS, M.B. **Analysis of grain size trends, for defining sediment transport, pathways in marine environments.** Journal of Coastal Research, v. 10, n. 1, p. 70-78, 1994.
- GAO, S.; COLLINS, M.B. **Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of "transport vectors".** Sedimentary Geology, v. 80, 1992.
- GAO, S.; COLLINS, M.B.; LANCKNEUS, J.; DE MOOR, G.; VAN LANCKER, V. **Grain size trends associated with net sediment transport patterns: An example from the Belgian continental shelf.** Marine Geology, v. 121, p. 171-185, 1994.
- GUIMARÃES, M.S.D.; CATANZARO, L.F.; BAPTISTA NETO, J.A.; VILELA, C.G.; BREHME, I. **Caracterização textural dos sedimentos superficiais de fundo e dinâmica sedimentar na Baía de Guanabara.** Rio de Janeiro, 2007. Revista Tamoios – Departamento de Geografia, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, v. 3, n. 2, jul/dez, 2007.
- HEINRICH, A. B.; **Avaliação prévia de contaminantes químicos para decisão de destinação de sedimentos do desassoreamento do Rio Belém.**

Curitiba, 2011. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 2011.

INSTITUTO BAÍA DE GUANABARA. **Nossos Rios**. Niterói, 2002.

JICA (JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY). **The study on management and improvement of the environmental conditions of Guanabara Bay of Rio de Janeiro, The Federative Republic of Brazil**. Rio de Janeiro, Interim Report, 2002.

JICA (JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY). **The study on recuperation of the Guanabara Bay ecosystem**. Rio de Janeiro, v. 1, 2 e 3, 1994.

JONES, R.M. **Particle size analysis by laser diffraction: ISO 13320, standard operating procedures and Mie theory**. American Laboratory, v. 35, n. 1, 2003.

KAAG, N.H.B.M.; SCHOLTEN, M.C.T.H.; VAN STRAALLEN, N.M. **Factors affecting PAH residues in the lugworm *Arenicola marina*, a sediment feeding polychaete**. Journal of Sea Research, v. 40, p. 251–261, 1998.

KAUFMANN, C.L.G. **Estudo hidrodinâmico e de qualidade de água após revitalização da circulação do Canal do Fundão, Baía de Guanabara – RJ**. Rio de Janeiro, 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica). Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

KJERFVE, B.; RIBEIRO, C.H.A.; DIAS, G.T.M.; FILIPPO, A.M.; QUARESMA, V.S. **Oceanographic characteristics of an impacted coastal bay: Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil**. Continental shelf research, v. 17, n. 13, p. 1609-1643, 1997.

KRUMBEIN, W.C. **Size frequency distributions of sediments**. Journal of Sedimentary Petrology, v. 4, n. 2, p. 65-77, 1934.

LE ROUX, J.P.; O'BRIEN, R.D.; RIOS, F.; CISTERNAS, M. **Analysis of sediment transport paths using grain-size parameters**. Computers & Geosciences, v. 28, p. 717–721, 2002.

LE ROUX, J.P.; ROJAS, E.M. **Sediment transport patterns determined from grain size parameters: Overview and state of the art**. Sedimentary Geology, v. 202, p. 473-488, 2007.

LESSA, G.; DIAS, K. **Distribuição espacial das litofácies de fundo da Baía de Todos os Santos**. Quaternary and Environmental Geosciences, v. 1, n. 2, 2010.

LUZ, L.G. **Investigação sobre o carbono negro em sedimentos da Baía de Guanabara e manguezais: distribuição e influência na sorção de HPAs**. Rio de Janeiro, 2007. Dissertação (Mestrado em Química) – Departamento de Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2007.

MALVERN INSTRUMENTS WORLDWIDE. **A basic guide to particle characterization**. 2012.

MAPAS ANTIGOS, HISTÓRIAS CURIOSAS. Celso de Martin Serqueira. 2000. Disponível em: <www.serqueira.com.br>. Acesso em: 20 jun. 2014.

MARCUZZO, F.F.N.; ANDRADE, L.R.; MELO, D.C.R. **Métodos de interpolação matemática no mapeamento de chuvas do estado do Mato Grosso**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 4, n. 4, p. 793-804, 2011.

MARINO, I.K. **Caracterização do registro sedimentar quaternário da Baía de Guanabara**. Niterói, 2011. Monografia (Bacharelado em Geofísica) – Departamento de Geologia – LAGEMAR, Universidade Federal Fluminense, 2011.

MARTINS, G.J.; MARONE, E.; ANGULO, R.J.; NOERNBERG, M.A.; QUADROS, C.J.L. **Dinâmica da zona de rasa de shoaling e o transporte de sedimentos na desembocadura Sul do complexo estuarino de Paranaguá – PR**. Boletim Paranaense de Geociências, v. 54, p. 51-64, 2004.

MAYR, L.M.; TENEMBAUM, D.R.; VILLAC, M.C.; PARANHOS, R.; NOGUEIRA, C.R.; BONECKER, S.L.C.; BONECKER, A.C. Hydrobiological characterization of Guanabara Bay. 1989. In: MAGOON, O.T. & NEVES, C. eds. **Coastlines of Brazil**. New York: American Society of Civil Engineers. p. 124-138.

McLAREN, P. **An interpretation of trends in grain size measures**. Journal of Sedimentary Petrology, v. 51, n. 2, p. 611-624, 1981.

McLAREN, P.; BOWLES, D. **The effects of sediment transport on grain-size distributions**. Journal of Sedimentary Petrology, v. 55, n. 4, p. 457-470, 1985.

MELO, G.V. **Transporte de metais pesados no sedimento em suspensão na Baía de Guanabara, em um ciclo de maré**. Niterói, 2004. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geofísica Marinha) – Departamento de Geologia – LAGEMAR, Universidade Federal Fluminense, 2004.

MELO-MAGALHÃES, E.M.; GUEDES, E.A.; LIRA, M.C.A.; CAVALCANTI, M.O. **Composição fitoplanctônica do sistema estuarino-lagunar de Jequiá, AL**. Boletim de Estudos Ciências do Mar, v. 9, p. 1-18, 1996.

MICHALIS, P.; DOWMAN, I.J. **A model for along track stereosensors using rigorous orbit mechanics**. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, v. 36, n. 1/W1, 2005.

MIRANDA, L.B.; CASTRO, B.M.; KJERFVE, B. **Princípios de oceanografia física de estuários**. São Paulo: EDUSP, 2002.

NOGUEIRA, J.D.L.; AMARAL, R.F. **Comparação entre os métodos de interpolação (Krigagem e Topo to Raster) na elaboração da batimetria na área da folha Touros – RN**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 4117-4123, Natal, 2009.

ODUM, E.P.; BARRETT, G.W. **Fundamentos de Ecologia**. 612p., 5 ed. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

OLIVEIRA, A.V. **Cronologia de metais pesados associados aos sedimentos da Baía de Guanabara**. Rio de Janeiro, 2009. Dissertação (Mestrado em Química) – Departamento de Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2009.

PAPINI, C.J. **Estudo comparativo de métodos de determinação do tamanho de partícula**. São Paulo, 2003. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais) – Institutos de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, 2003.

PAVANI, F.C. **Determinação da direção e da taxa de transporte longitudinal no arco praiial compreendido entre a praia da Ponta da Fruta, Vila Velha e Setiba, Guarapari – ES**. Vitória, 2006. Monografia (Graduação em Oceanografia) – Departamento de Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, 2006.

PELD GUANABARA – LNCC. Estrutura e funções do ecossistema da Baía de Guanabara: uma pesquisa ecológica de longa duração. Disponível em: <<http://www.lncc.br/peldguanabara/index.php>>. Acesso em: 20 jun. 2014.

PEREIRA, E.R.M.; EICHLER, P.B.; CARDOSO, P.B.P.K. **Foraminíferos indicadores de alto teor de matéria orgânica na Baía de Guanabara – RJ**. Anuário do Instituto de Geociências, v. 26, p.140-142, 2003.

PEREIRA, F.C.S. **Análise da disposição do material dragado no Canal do Fundão e no Canal do Cunha – Rio de Janeiro/RJ**. Rio de Janeiro, 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2012.

PEREIRA, N.S.; MARINS, Y.O.; SILVA, A.M.C.; OLIVEIRA, P.G.V.; SILVA, M.B. **Influência do ambiente sedimentar na distribuição dos organismos meiobentônicos do Atol das Rocas**. Estudos Geológicos, v. 18, n. 2, p. 65, 2008.

PINTO, S.M.F. **Estudo do sistema metaestável B₄C-Al obtido por síntese mecânica**. Coimbra, 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, 2011.

POIZOT E.; MÉAR, Y. **Using a GIS to enhance grain size trend analysis**. Environmental Modelling & Software, v. 25, n. 4, p. 513–525, 2010.

POIZOT, E.; MÉAR, Y.; BISCARA, L. **Sediment Trend Analysis through the variation of granulometric parameters: A review of theories and applications**. Earth-Science Reviews, v. 86, p. 15-41, 2008.

POIZOT, E.; MÉAR, Y.; THOMAS, M.; GARNAUD, S. **The application of geostatistics in defining the characteristic distance for grain-size trend analysis**. Computers & Geosciences, v. 32, p. 360-370, 2006.

PORTUGUÊS, C.L.P.C. **Programação de modelos de transporte sedimentar: Comparação de soluções**. Aveiro, 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Aveiro. 73 p., 2008.

POULOS, S.E.; BALLAY, A. **Grain-size trend analysis for the determination of non-biogenic sediment transport pathways on the Kwinte Bank (southern North Sea), in relation to sand dredging.** Journal of Coastal Research, n. 51, p. 95-100, West Palm Beach, Florida, 2010.

PRIMACK, R.B. & RODRIGUES, E. **Biologia da Conservação.** 518p., Londrina: Editora Vida, 2002.

PROGRAMA DE DESPOLUIÇÃO DA BAÍA DE GUANABARA. Governo do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.egprio.rj.gov.br/Conteudo.asp?ident=407>>. Acesso em: 20 jun. 2014.

RIBEIRO, L.; DUPONT, H.; BODEVAN, E.; LÚCIO, P. **Direção do transporte sedimentar na desembocadura do Rio Itanhém, extremo Sul da Bahia: Aplicação do método de Gao & Collins e krigagem vetorial.** Revista Geonomos, v. 8, n. 2, p. 9-18, 2000.

RÍOS, F.; CISTERNAS, M.; LE ROUX, J.; CORRÊA, I. **Seasonal sediment transport pathways in Lirquen Harbor, Chile, as inferred from grain-size trends.** Revista Investigaciones Marinas, v. 30, n. 1, p. 3-23, 2002.

ROCHA, R.A. **Obtenção e caracterização de eletrólitos sólidos de Céria-Gadólina.** São Paulo, 2001. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear - Materiais) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, 2001.

SÁNCHEZ, A.; CARRIQUIRY, J.D. **Sediment transport patterns in Todos Santos Bay, Baja California, Mexico, inferred from grain-size trends.** Sediment Transport in Aquatic Environments, Dr. Andrew Manning (Ed.), InTech, 2011.

SÁNCHEZ, A.; LEGORRETA, T.A.; MORALES, R.S.; HERNÁNDEZ, M.C.O.; ORTIZ, B.E.L.; AGUÍNIGA, S. **Distribución de parámetros texturales de los sedimentos superficiales en la Bahía de Chetumal: Implicaciones en la inferencia de transporte.** Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 25, n. 3, p. 523-532, 2008.

SANTORO, D.M. **Propriedades físico-químicas de emulsões obtidas a partir dos emulsificantes monoestearato de glicerila e cetil fosfato de potássio.** São Paulo, 2006. Dissertação (Mestrado em Fármaco e Medicamentos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, 2006.

SILVA, A.E. **Caracterização morfossedimentar e setorização do sistema estuarino dos rios Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim e da plataforma continental interna adjacente, Aracruz – ES.** Aracruz, 2012. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Ambiental) – Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, 2012.

SPIEGEL, M.R. **Theory and problems of statistics.** Schaum's Outline Series, New York: McGraw-Hill Book Company, 359 p., 1961.

TAVARES, A.C.A.; BULHÕES, E.; ESTRADA, A.F.D. **Distribuição de fácies sedimentares e tendências de transporte de sedimentos na Enseada de Manguinhos, Armação dos Búzios, RJ.** Revista de Geografia. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. especial VIII SINAGEO, n. 2, Set. 2010.

VEIGA, F.A.; ANGULO, R.J.; MARONE, E.; BRANDINI, F.P.; SOARES, C.R. **Padrões de transporte de sedimentos baseado em três programas geradores de vetores de tendências de transporte a partir de parâmetros granulométricos na porção Sul do delta de desembocadura do complexo estuarino de Paranaguá – Sul do Brasil.** Boletim Paranaense de Geociências, Editora UFPR, n. 57, p. 75-87, 2005.

VELOSO, J.F. **Considerações sobre a análise granulométrica de sedimentos praias.** Rio de Janeiro, 2001. Tese (Mestrado em Engenharia Oceânica) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001.

VIEIRA, C.V.; HORN FILHO, N.O.; BONETTI, C.V.D.H.C.; BONETTI, J. **Caracterização morfossedimentar e setorização do complexo estuarino da Baía da Babitonga/SC.** Boletim Paranaense de Geociências, Editora UFPR, n. 62-63, p. 85-105, 2008.

WAGENER, A.L.R.; SCOFIELD, A.; HAMACHER, C.; FRANCONI, E.; ZIOLLI, R.; CARREIRA, R. Impactos ambientais decorrentes de derramamento de óleo na Baía de Guanabara. *In*: FONSECA, D.P.R.; SIQUEIRA, J.C. (Eds.). **Meio Ambiente, Cultura e Desenvolvimento Sustentável. Somando esforços, aceitando desafios.** Rio de Janeiro: Sette Letras – Coleção Pluralia Tantum, v. 2, p. 73-92, 2002.

WATSON, G.S. **The statistics of orientation data.** Journal of Geology, v. 74, n. 2, p. 786-797, 1966.

WENTWORTH, C.K. **A scale of grade and class terms for clastic sediments.** Journal of Geology, v. 30, n. 5, p. 377-392, 1922.

10. ANEXOS

ANEXO 1 – Peso da amostra seca, do material grosso seco e do material fino obtidos através do peneiramento úmido das amostras nas quais foi realizado

Amostra	Peso Total da Amostra Seca (g)	Peso do Material Grosso Seco (g)	Peso do Material Fino (g)
P33	58,58	55,61	2,97
P54	53,47	51,80	1,67
P55	58,04	57,01	1,03
P56	56,15	54,57	1,58
P57	52,43	50,73	1,70
P58	76,92	76,46	0,46
P59	52,58	50,53	1,95
P61	75,90	72,20	3,70
P62	42,63	39,21	3,42
P63	52,66	50,95	1,71
P64	83,16	82,07	1,09
P65	69,76	68,16	1,60
P66	54,28	52,05	2,23
P71	71,88	69,46	2,42
P74	43,27	41,35	1,92
P75	79,04	77,17	1,87
P84	57,88	57,35	0,53
P85	47,87	45,77	2,10
P86	56,01	55,43	0,58
P87	61,80	60,06	1,74
P88	55,72	53,83	1,89
P89	51,50	50,19	1,31
P90	57,40	55,60	1,80

ANEXO 2 – Tabela com cada ponto de amostragem, sua localização e os parâmetros granulométricos

Ponto	Latitude (X)	Longitude (Y)	Média (Φ)	Desvio Padrão	Assimetria
1	-43,242	-22,842	5,415	1,579	0,185
2	-43,241	-22,845	5,810	1,689	0,142
3	-43,239	-22,852	6,269	1,607	0,139
4	-43,237	-22,857	5,444	1,883	0,260
5	-43,235	-22,863	5,825	1,705	0,251
6	-43,232	-22,867	3,007	1,489	0,469
7	-43,226	-22,868	4,746	1,792	0,280
8	-43,222	-22,871	5,177	1,420	0,178
9	-43,213	-22,869	5,978	1,795	0,175
10	-43,245	-22,839	5,630	1,896	0,175
11	-43,205	-22,861	5,824	1,745	0,232
12	-43,208	-22,863	5,697	1,964	0,209
13	-43,209	-22,864	5,830	1,783	0,206
14	-43,211	-22,866	6,222	1,763	0,148
15	-43,213	-22,864	6,175	1,806	0,196
16	-43,211	-22,862	6,613	1,773	0,120
17	-43,209	-22,861	5,613	2,167	0,051
18	-43,208	-22,859	6,524	2,035	0,188
19	-43,209	-22,857	6,191	2,104	0,228
20	-43,211	-22,855	7,764	1,340	0,071
21	-43,213	-22,853	6,892	1,922	0,143
22	-43,216	-22,851	7,408	1,770	0,096
23	-43,218	-22,849	6,786	2,063	0,110
24	-43,219	-22,847	6,050	1,994	0,079
25	-43,213	-22,856	5,918	1,923	0,155
26	-43,215	-22,855	6,321	1,877	0,055
27	-43,217	-22,853	6,947	2,002	0,101
28	-43,219	-22,850	6,718	2,031	0,196
29	-43,221	-22,849	6,282	1,836	0,077
30	-43,223	-22,850	5,698	2,064	0,155
31	-43,221	-22,852	6,991	1,853	0,198
32	-43,219	-22,854	7,357	1,926	0,120
33	-43,217	-22,856	0,390	1,135	0,046
34	-43,223	-22,854	6,603	2,087	0,173
35	-43,221	-22,856	5,290	2,034	0,321
36	-43,219	-22,858	6,728	1,567	0,060
38	-43,216	-22,863	5,129	2,017	0,234
39	-43,220	-22,859	7,095	1,862	0,103
40	-43,222	-22,857	6,544	1,990	-0,050
41	-43,224	-22,855	2,352	1,196	0,360
42	-43,226	-22,853	6,055	1,876	0,184

Ponto	Latitude (X)	Longitude (Y)	Média (Φ)	Desvio Padrão	Assimetria
43	-43,225	-22,851	6,699	2,230	0,318
44	-43,228	-22,851	6,305	2,285	0,229
45	-43,227	-22,850	7,007	2,001	0,117
46	-43,225	-22,848	6,329	1,929	0,105
47	-43,230	-22,849	6,332	2,246	0,214
48	-43,228	-22,847	7,129	2,027	0,108
49	-43,227	-22,846	6,686	1,998	0,192
50	-43,225	-22,845	5,992	1,892	0,301
51	-43,229	-22,844	6,791	1,761	0,186
52	-43,230	-22,846	6,490	2,090	0,181
53	-43,232	-22,847	6,070	2,099	0,245
54	-43,231	-22,835	0,540	1,076	-0,036
55	-43,233	-22,837	0,258	1,349	-0,055
56	-43,234	-22,838	0,449	1,261	-0,217
57	-43,239	-22,838	0,956	0,954	-0,022
58	-43,236	-22,836	0,193	1,113	-0,144
59	-43,235	-22,835	0,240	1,124	0,191
60	-43,233	-22,833	4,217	2,074	0,326
61	-43,235	-22,831	-0,138	1,756	-0,060
62	-43,237	-22,833	1,173	1,395	-0,441
63	-43,238	-22,834	0,751	1,748	-0,516
64	-43,240	-22,836	-0,760	1,640	0,099
65	-43,242	-22,837	-0,065	1,327	0,096
66	-43,244	-22,834	0,309	1,411	-0,065
67	-43,246	-22,838	6,525	1,954	0,200
68	-43,206	-22,867	6,430	2,062	0,197
69	-43,204	-22,866	6,949	1,929	0,120
71	-43,229	-22,837	-0,435	1,565	-0,169
72	-43,204	-22,859	7,549	1,837	0,122
73	-43,201	-22,857	7,156	1,979	0,085
74	-43,205	-22,854	1,076	1,694	-0,225
75	-43,207	-22,856	6,708	2,225	0,317
76	-43,210	-22,853	6,075	2,217	0,210
77	-43,208	-22,850	6,190	1,881	0,318
78	-43,211	-22,847	6,330	2,109	0,191
79	-43,213	-22,849	6,449	2,110	0,261
80	-43,217	-22,846	6,177	2,186	0,215
81	-43,215	-22,844	6,886	2,099	0,121
82	-43,218	-22,840	6,901	2,216	0,128
83	-43,220	-22,842	6,579	1,819	0,114
84	-43,221	-22,837	-0,837	1,649	0,073
85	-43,223	-22,839	-0,258	1,609	-0,076
86	-43,226	-22,836	0,587	1,248	-0,133
87	-43,224	-22,834	0,738	1,013	-0,106
88	-43,227	-22,830	0,371	1,396	-0,018

Ponto	Latitude (X)	Longitude (Y)	Média (Φ)	Desvio Padrão	Assimetria
89	-43,230	-22,832	0,374	1,495	-0,025
90	-43,233	-22,829	0,501	1,318	-0,271
91	-43,231	-22,827	7,949	1,544	0,160
92	-43,201	-22,863	6,889	1,949	0,163
93	-43,198	-22,861	6,544	2,152	0,141
94	-43,240	-22,848	6,941	1,781	0,038
95	-43,238	-22,854	5,033	1,466	0,147
96	-43,237	-22,860	5,126	1,621	0,260
97	-43,233	-22,865	5,786	1,378	0,147
98	-43,233	-22,869	6,342	1,750	0,102
99	-43,229	-22,867	5,096	1,298	0,103
100	-43,225	-22,870	5,811	1,782	0,261
101	-43,219	-22,871	5,818	1,558	0,158
102	-43,214	-22,870	5,530	1,518	0,226
103	-43,245	-22,839	6,493	1,332	0,205
104	-43,210	-22,864	6,442	1,995	0,251
105	-43,215	-22,862	4,916	2,343	0,227

ANEXO 3 – Distribuição das classes granulométricas das amostras coletadas

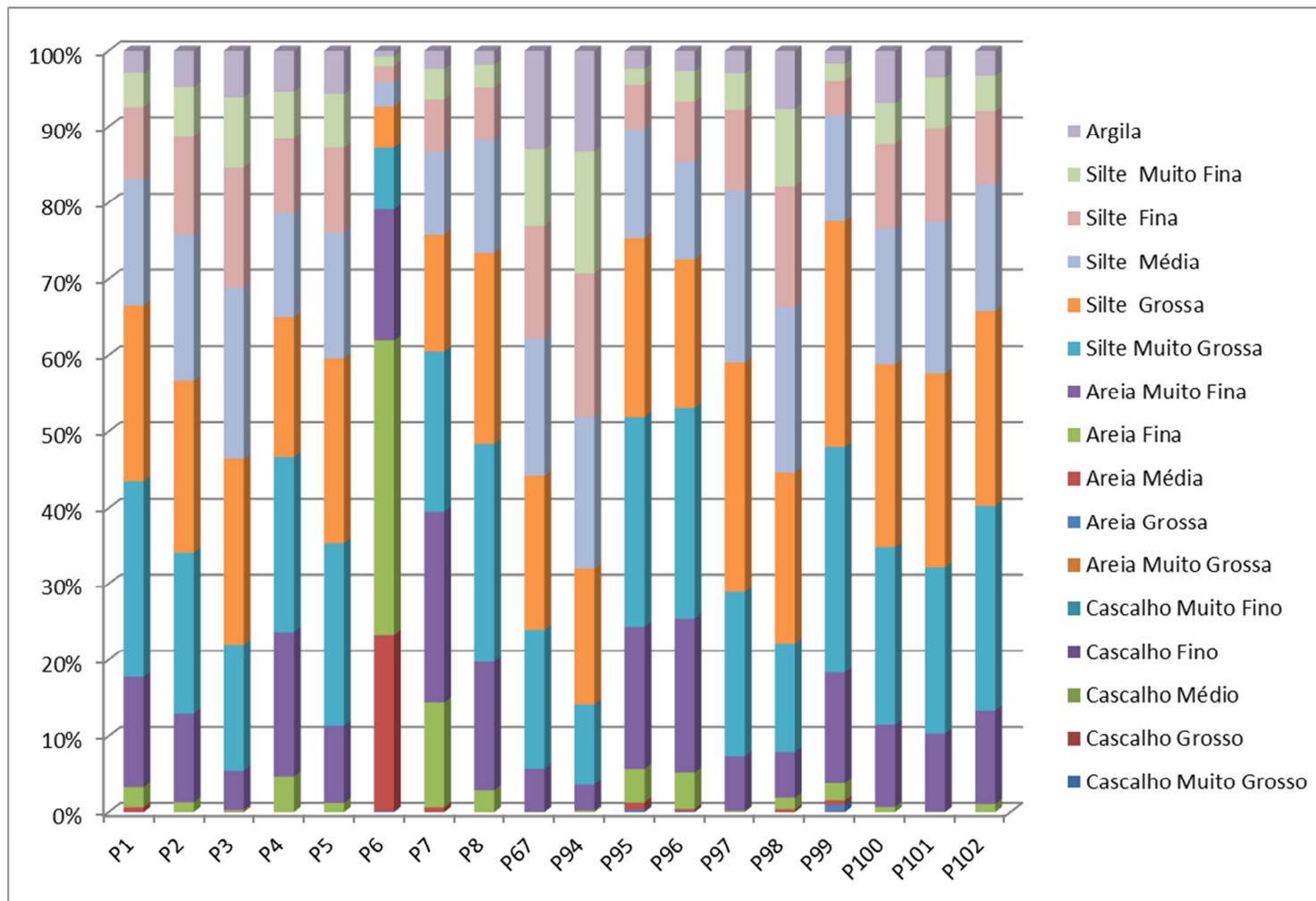


Figura 43: Gráfico da distribuição granulométrica dos pontos coletados no Canal do Fundão.

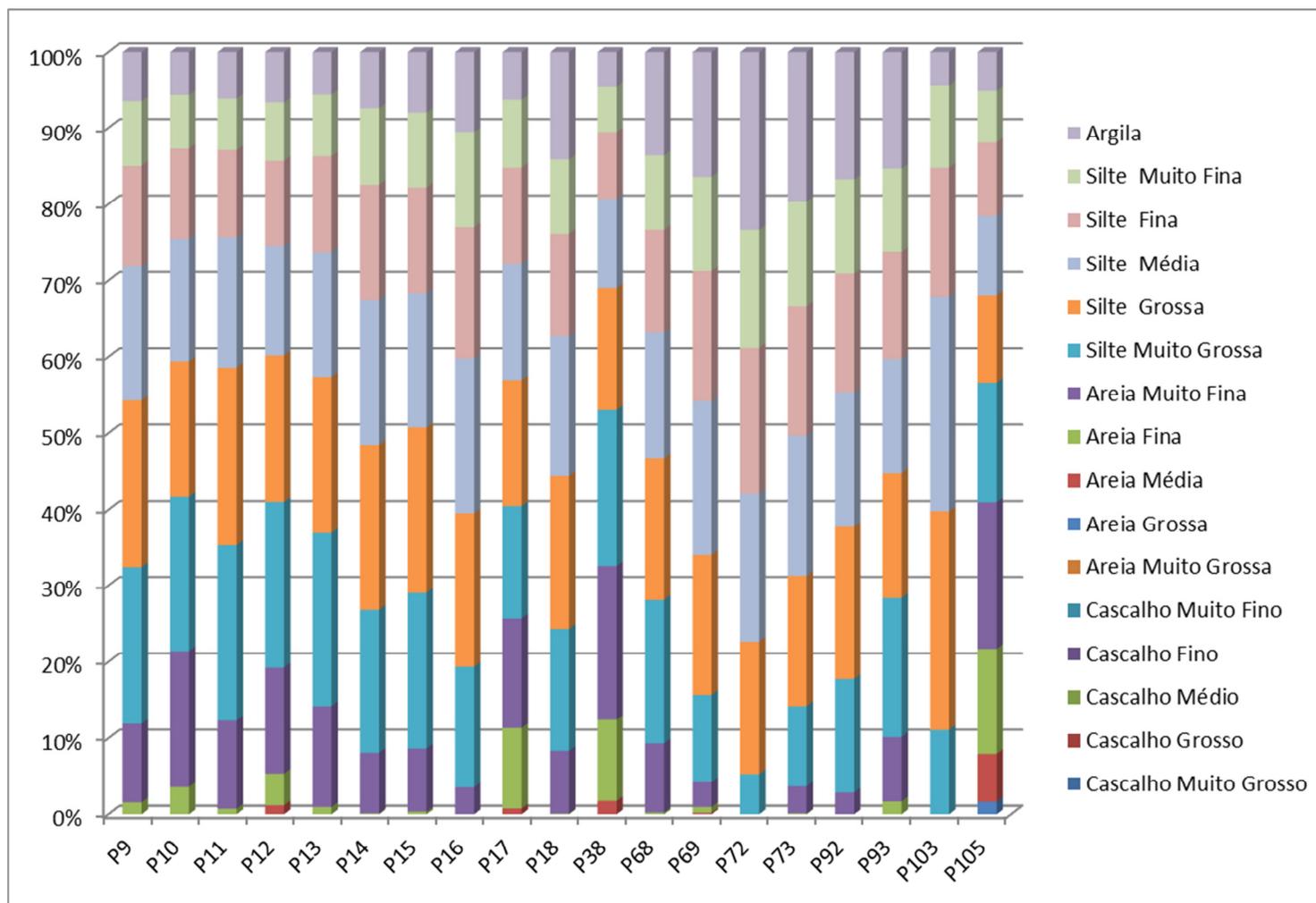


Figura 44: Gráfico da distribuição granulométrica dos pontos coletados na porção Sul da Ilha do Fundão.

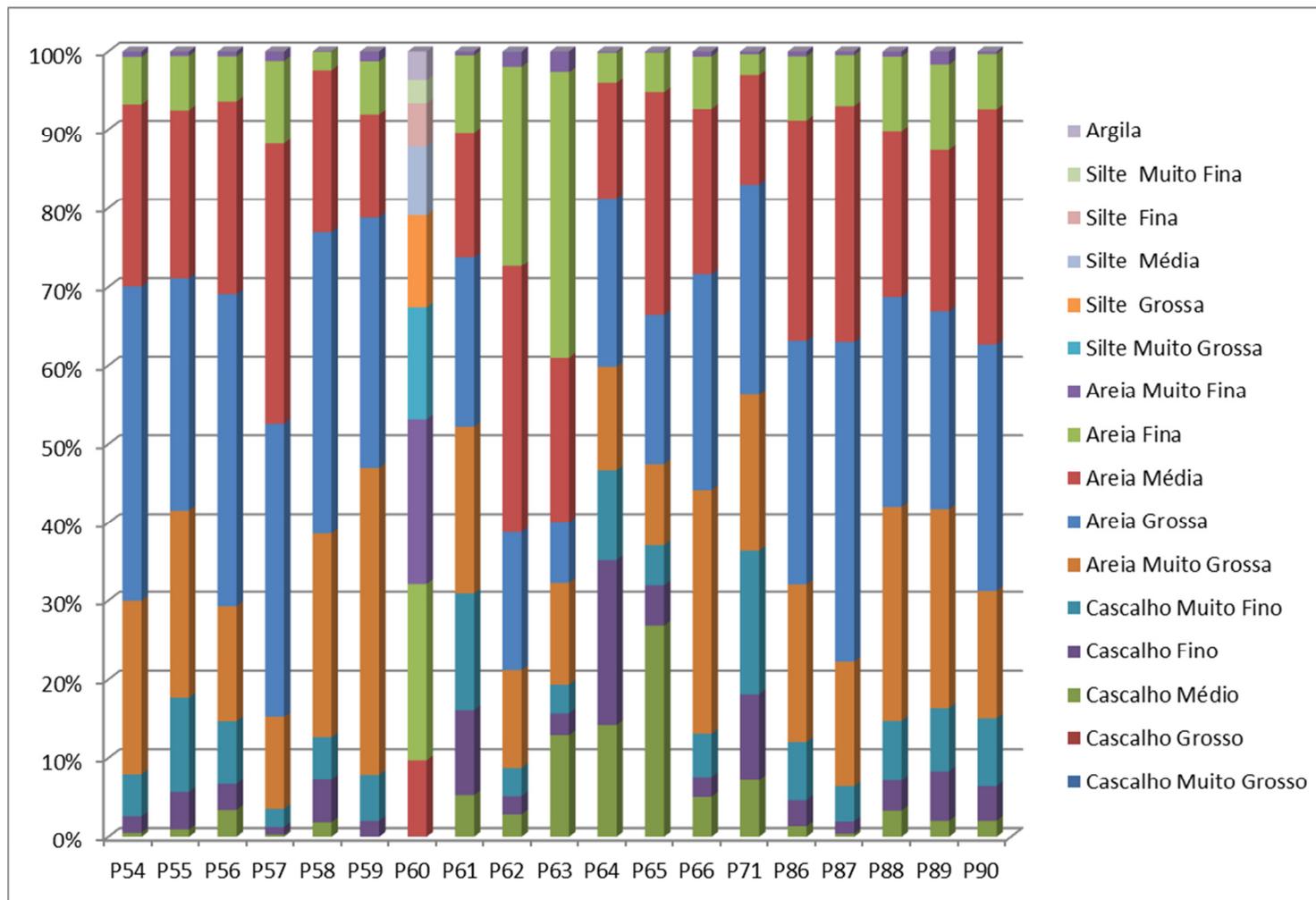


Figura 45: Gráfico da distribuição granulométrica dos pontos coletados na porção Norte da Ilha do Fundão.

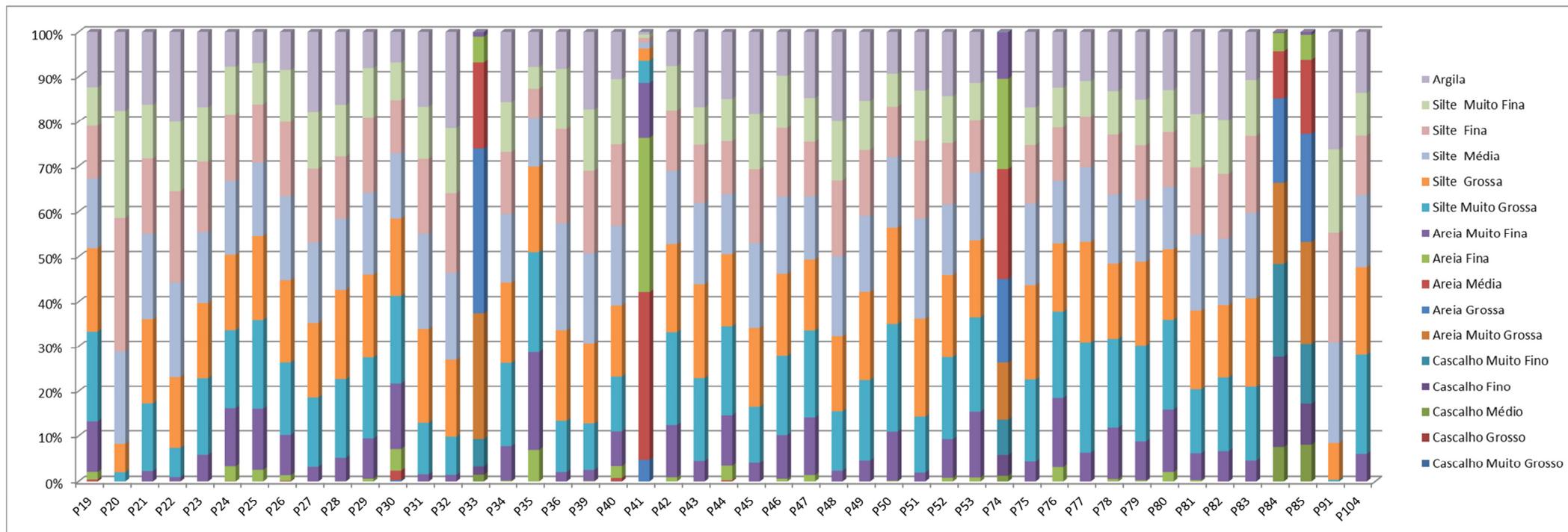


Figura 46: Gráfico da distribuição granulométrica dos pontos coletados na porção Leste da Ilha do Fundão.