



PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA
SECRETARIA DE PORTOS - SEP
Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias - INPH



INPH : 055/2013 – Volume 2/3 – Rev.02

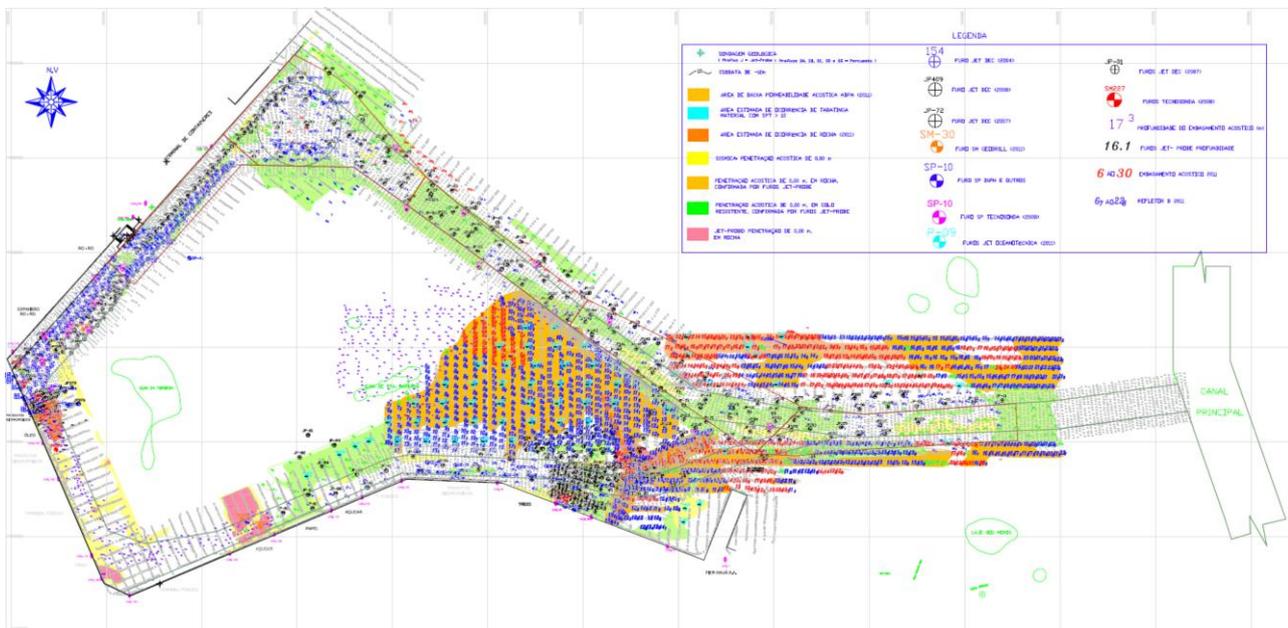
Código : Rio de Janeiro - 900/18

ANTEPROJETO

**DRAGAGEM PARA O ACESSO DA INFRAESTRUTURA AQUAVIÁRIA
AO COMPLEXO PORTUÁRIO DO RIO DE JANEIRO E ADJACÊNCIAS**

VOLUME II

**NOTA TÉCNICA SOBRE OS ASPECTOS MORFOLÓGICOS, GEOLÓGICOS E
GEOTÉCNICOS NA REGIÃO DE INFLUÊNCIA DO PORTO DO RIO DE JANEIRO**



INPH/SEP
Rio de Janeiro
Março / 2014



APRESENTAÇÃO

O Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias – INPH, órgão vinculado à Secretaria de Portos – SEP da Presidência da República, com a presente nota técnica, expõe o atual estado de conhecimento geológico do substrato marinho no Porto do Rio de Janeiro, obtido ao longo de anos de estudos batimétricos, geofísicos e geotécnicos, coordenados pelo INPH e complementados pela literatura técnica a respeito.

São acrescentados, ainda, dados recentes, relativos a investigações de batimetria, perfilagem sísmica e geotecnia, prioritariamente realizadas em subsídio ao “Anteprojeto de Dragagem para Acesso da Infraestrutura Aquaviária ao Complexo Portuário do Rio de Janeiro e Adjacências”, conduzido por este Instituto.

ENG^o DOMENICO ACCETTA
Diretor do INPH / SEP



EQUIPE TÉCNICA

Coordenação Geral

Eng^o Domenico Accetta

- Diretor do INPH

Eng^o Paulo César da Silva Freire

- Coordenador de Pesquisas

Equipe

Geol. Roberto Bianco

Eng^o Luis Pedro Bicalho

Eng^o Wagner Scisinio

Msc. Eng^a Berenice Mota Vargas

Ocn. Rafael Paes Leme

Eng^o Luiz Carlos Pucci

Msc. Mat. Suellem Deodoro

Eng^o Octávio Hachiya

Eng^o José Carlos Lomba

Eng^o Felipe Chaves Martins

Geol. Roberta da Silva Moreno

Des. Karla Valente Boim

Proj. Aluisio Silvério da Costa

Secretária Vanessa C. de Melo



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	5
2. ASPECTOS MORFOLÓGICOS.....	7
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	10
4. ANÁLISE INTEGRADA DE DADOS.....	20
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	26

ANEXOS

6.1. GEOFÍSICA MICROARS 2011

6.2. SONDAGENS MISTAS E A PERCUSSÃO GEODRILL (PIER Y-CDRJ)

6.3. SONDAGENS MISTAS E A PERCUSSÃO GEODRILL (TRIUNFO-INPH)

6.4. SONDAGENS MISTAS GEODRILL (VAN OORD)

6.5. SONDAGENS MISTAS TOPGEO

6.6. SONDAGENS MISTAS TECNOSONDA

6.7. SONDAGENS A PERCUSSÃO TECNOSONDA

6.8. SONDAGENS A PERCUSSÃO INPH/CDRJ

6.9. FUIROS JET-PROBE OCEANOTÉCNICA 2011

6.10. FUIROS JET-PROBE DEC 2008

6.11. FUIROS JET-PROBE DEC 2007

6.12. FUIROS JET-PROBE DEC 2004

6.13. SONDAGENS A PERCUSSÃO GEOLOGUS - 2011

6.14. SONDAGENS MISTAS GEODRILL - 2013

PLANTA DE INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOLÓGICOS – GEOFÍSICOS (ESTUDOS EFETUADOS ATÉ 2014)

PLANTA DE INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOLÓGICOS – GEOFÍSICOS (ATUALIZADA ATÉ MARÇO DE 2014)

ASPECTOS MORFOLÓGICOS, GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS NA REGIÃO DE INFLUÊNCIA DO PORTO DO RIO DE JANEIRO - *Nota Técnica ao Anteprojeto de Dragagem para o Acesso da Infraestrutura Aquaviária ao Complexo Portuário do Rio de Janeiro e Adjacências*

1. INTRODUÇÃO

A presente nota técnica reúne os dados geológicos básicos, tanto os de cunho geral, quanto aqueles mais específicos à área do Porto do Rio de Janeiro, que, obtidos ao longo do tempo, em inúmeras investigações realizadas, embasam os diversos projetos conduzidos pelo INPH, em particular o atual Anteprojeto de Dragagem para Acesso da Infraestrutura Aquaviária ao Complexo Portuário do Rio de Janeiro e Adjacências (vide Figura 1).

O conhecimento do INPH sobre o conjunto dessas informações tem propiciado, ao longo dos anos, o desenvolvimento de inúmeros projetos e obras de engenharia – sejam de acostagem, dragagem ou derrocagem submarina – voltados aos diversos terminais marítimos públicos e privados do porto



Figura 1: Vista parcial da infra-estrutura aquaviária do Porto do Rio de Janeiro, mostrando, em vermelho, os traçados relativos ao anteprojeto de dragagem ao acesso ao cais do Caju. Em verde, pode ser visualizado o atual canal de acesso oficial.



Em complementação aos dados compilados, são apresentados, ainda, os resultados de estudos geofísicos e geotécnicos recentes, coordenados pelo INPH, a fim de subsidiar o alargamento do canal de acesso.

No escopo maior do referido projeto de dragagem, importa ressaltar que tais informações permitirão sugerir fortes melhorias nas profundidades e larguras dos atuais acessos a todos os terminais marítimos, tanto públicos quanto privados, do Porto do Rio de Janeiro.

2. ASPECTOS MORFOLÓGICOS

A configuração atual da Baía de Guanabara (Figura 2), com cerca de 380 km² de espelho d'água, é resultante de acelerados processos de assoreamento e aterros, nos tempos recentes.

Em sua orla foram construídos, sobre aterros, portos, aeroportos, rodovias, bases militares e conjuntos habitacionais.

Os rios contribuintes foram bastante alterados por retificações e construções de canais, que facilitaram o transporte de sedimentos.



Figura 2: Imagem de satélite da Baía de Guanabara, mostrando os rios do entorno e áreas urbanizadas.

A Baía de Guanabara, mais a bacia hidrográfica da qual faz parte, possuem peculiaridades que merecem ser conhecidas em seus detalhes, como área, ecossistemas, uso do solo, grau de poluição, população e muitos problemas ambientais dependentes ainda de solução.

A baía é delimitada pelas baixadas, a leste e oeste, pelas serras do Mar e dos Órgãos ao norte, de onde recebe o aporte de água doce (Figura 3), e pelo oceano Atlântico ao sul, responsável pela renovação das águas da baía e aporte de água oceânica (Figura 4).

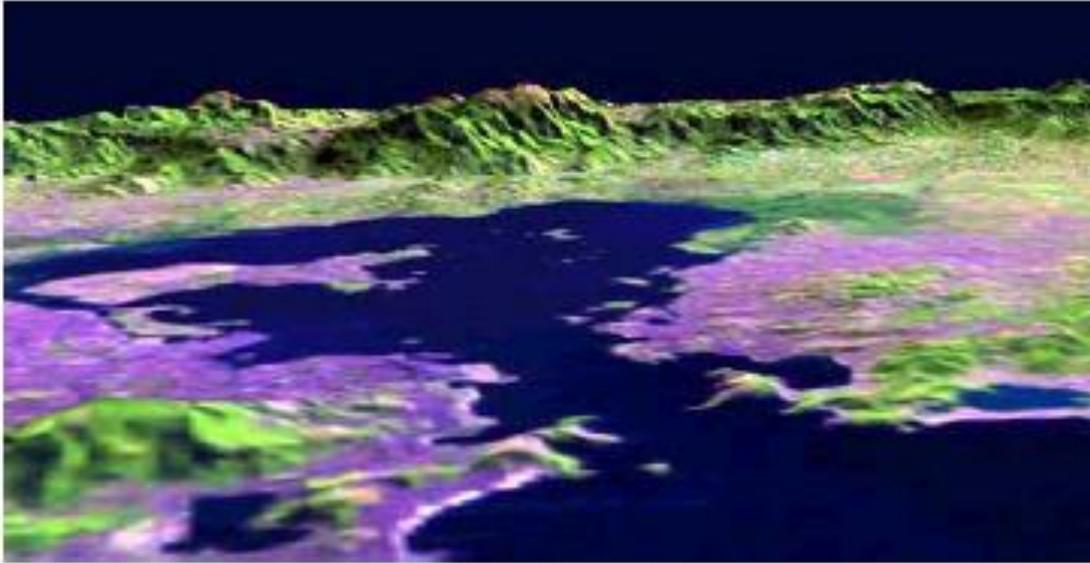


Figura 3: Imagem computadorizada em perspectiva sul da Baía de Guanabara, mostrando ao norte a Serra do Mar e a leste e noroeste as áreas de manguezal (em verde).

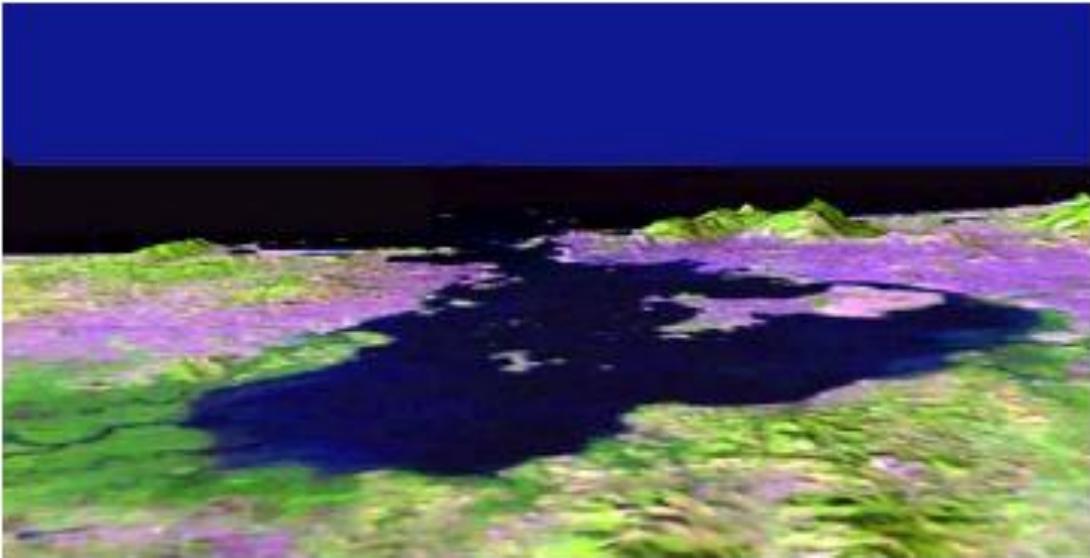


Figura 4: Imagem computadorizada em perspectiva norte da Baía de Guanabara, mostrando ao sul o Oceano Atlântico e a leste e noroeste as áreas de manguezal (em verde).

A Tabela, a seguir, sumariza as principais características morfológicas e geográficas da Baía de Guanabara.

Baía de Guanabara	Características
Área	381 km ²
Perímetro	131 km
Volume	2 bilhões de m ³
Largura máxima	20 km
Largura mínima	1,8 km
Extensão	28 km
Profundidade média	7,6 m
no "fundo"	3 m
no "meio"	8,2 m
na "entrada"	16,9 m
Ilhas	42
área das ilhas	41 km ²
Praias	53
Área ocupada no entorno	4000 km ²
População	8,2 milhões de habitantes
Área de manguezais	43 km ²
Pesca	13 toneladas/dia
Colônias de pescadores	5
Indústrias	6000
Estaleiros	12
Terminais de óleo	16
Despejo óleo	7 toneladas/dia
Lixo em aterros	5500 toneladas/dia
Esgoto <i>in natura</i>	340 toneladas DBO/dia*
Esgoto tratado	84 toneladas DBO/dia*
Municípios	16
com toda a área na RHBG	Belfort Roxo, Duque de Caxias, Cach. Macacu, Guapimirim, Itaboraí, Mesquita, Magé, Nilópolis, S.Gonçalo, S.J.de Meriti e Tanguá
com parte da área na RHBG	Niterói, Nova Iguaçu, Petrópolis, Rio Bonito e Rio de Janeiro
Rios	35
Principais rios e canais	Canal do Manguê, Canal do Cunha, Meriti, Sarapuí, Iguaçu, Estrela, Suruí, Guapi / Macacu, Caceribu e Guaxindiba / Alcântara

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

O setor litorâneo que se estende do sul fluminense ao norte do Estado de São Paulo se caracteriza pela presença de um grande número de reentrâncias e saliências, que formam enseadas e “rias”, sendo freqüente, em muitos locais, o contato direto do mar com as rochas da Serra do Mar.

Em todo este setor do litoral, e particularmente na área relativa à Baía de Guanabara, ocorrem superposições de depósitos coluvionares, fluviais, flúvio-lacustres, marinhos e flúvio-marinhos, relacionados às alterações climáticas e eustáticas, que atingiram o litoral fluminense a partir do Pleistoceno, e à proximidade das escarpas íngremes da Serra do Mar.

A seguir, figura mostrando o mapa geológico da Baía de Guanabara.

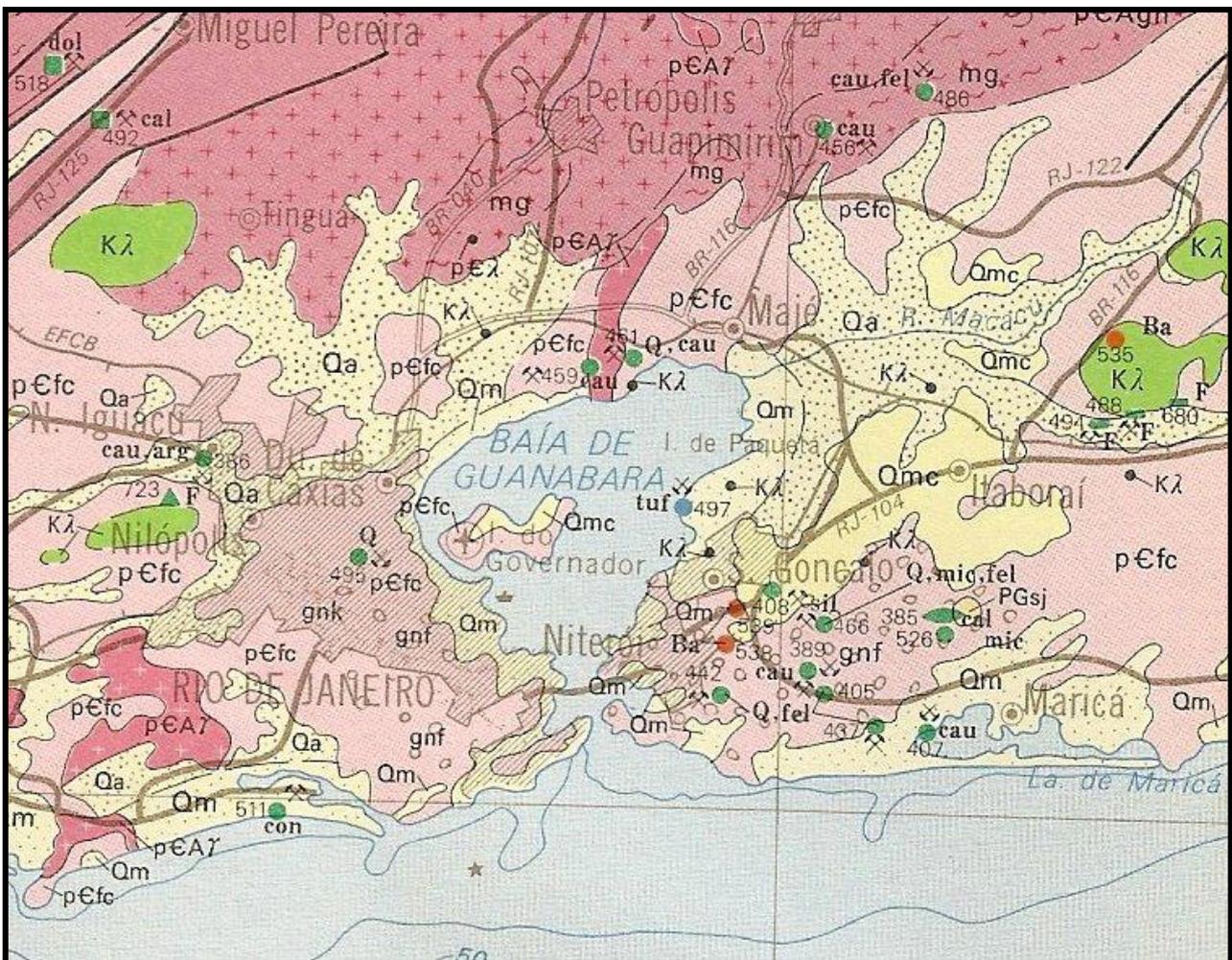


Figura 5: Mapa geológico do entorno da Baía de Guanabara.

A literatura técnica relata que as flutuações do nível relativo do mar tiveram papel essencial na definição das características geotécnicas de sedimentos e na morfologia e dinâmica costeiras, tais como os vestígios da drenagem escavada em épocas de nível do mar rebaixado.

Segundo AMADOR (1997)¹, a Baía de Guanabara possui área de 377 Km², sendo definida como um estuário originado pelo afogamento marinho de uma bacia fluvial pleistocênica complexa, condicionada por compartimentos estruturais do embasamento cristalino, mais rebaixados, como a área ao fundo da baía, e mais elevados, como a faixa correspondente ao alinhamento das ilhas do Governador, Paquetá e Itaoca.

Estratigraficamente, o assoalho da Baía de Guanabara é composto de:

- sedimentos estuarinos holocênicos, que correspondem à sedimentação da baía, após o afogamento marinho que a originou;
- sedimentos fluviais da Formação Caceribu, com idade situada entre 40.000 e 12.000 anos, constituídos por areias feldspáticas grosseiras;
- embasamento cristalino, bastante dissecado, constituído por gnaisses e migmatitos diversos.

Os sedimentos estuarinos possuem uma espessura média de cerca de 10 metros, distribuídos de forma irregular, com trechos mais espessos, nas áreas mais centrais, e mais rasos, nas bordas da baía.

Compõem-se de depósitos marinhos, constituídos de areia grossa mal selecionada, geralmente bimodal, e de sedimentos flúvio-marinhos finos, silto-argilosos ou argilo-siltosos moles, ricos em matéria orgânica.

Não necessariamente aplicáveis a áreas específicas do Porto do Rio de Janeiro, dados pretéritos de perfis geofísicos e sondagens, obtidos na Baía de Guanabara, indicaram a ocorrência de sedimentos da Formação Caceribu, em profundidades superiores a 50 metros, como substrato dos sedimentos marinhos holocênicos.

¹ Amador, E.S., 1997. "Baía de Guanabara e Ecossistemas Periféricos: Homem e Natureza". Rio de Janeiro (RJ), REPROART Gráfica e Editora Ltda., 539 pp.

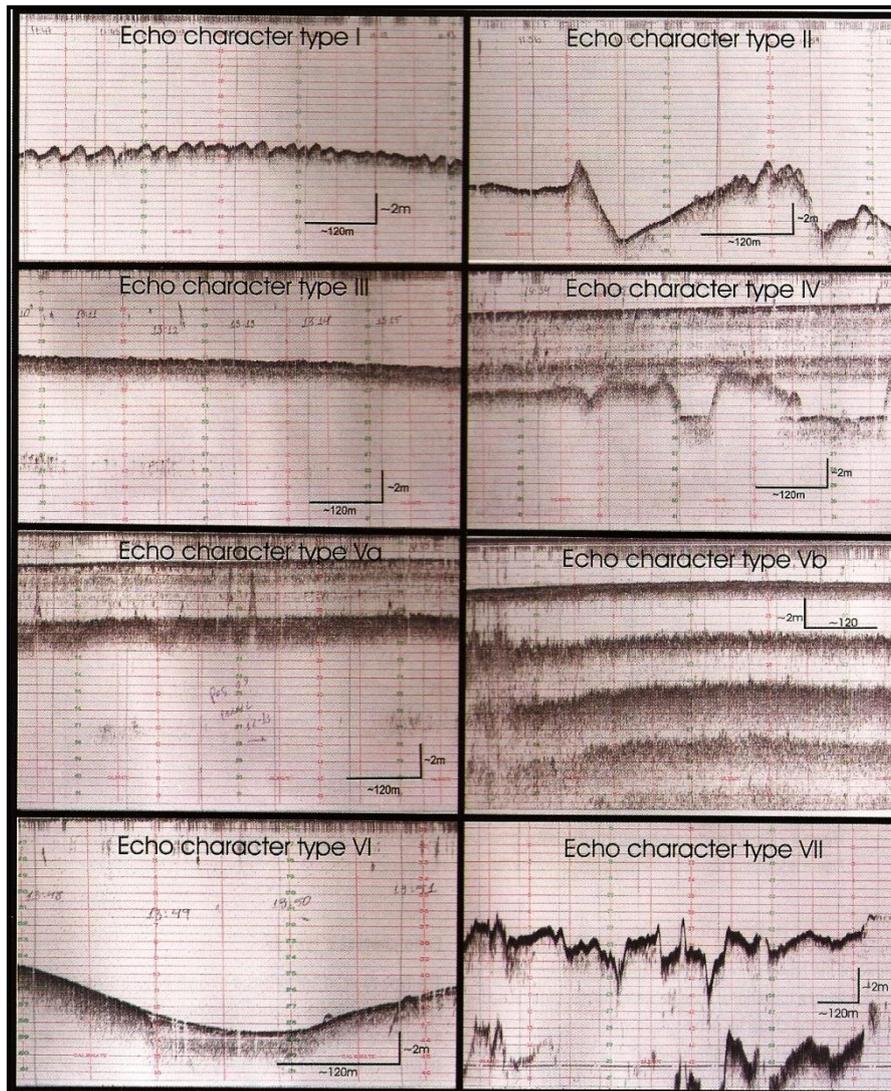


Figura 6: Eocarateres da Baía de Guanabara, que auxiliam na identificação de sedimentos de fundo e feições submarinas.

A idade pleistocênica superior, atribuída a esses depósitos, deve-se à sua posição estratigráfica bem definida, repousando sobre o embasamento pré-cambriano, ou sedimentos da Formação Macacu, e sendo capeados pelos depósitos fluviais, colúviais ou marinhos holocênicos.

No eixo cortado pela Ponte Rio-Niterói ocorrem, ainda, argilas continentais transicionais de origem fluvial, estratigraficamente situadas entre os sedimentos arenosos da Formação Caceribu, do Pleistoceno Superior, e as lamas e areias estuarinas holocênicas.

Sua idade foi estimada entre 8.000 e 10.000 anos, correspondendo a um nível de estabilização do nível do mar, em cota de aproximadamente 40 a 50 metros abaixo do nível do mar atual, quando, provavelmente, instalou-se um sistema de drenagem meandrante.

Devido à sua origem por afogamento marinho, de uma antiga bacia fluvial pleistocênica, a Baía de Guanabara tem um fundo muito irregular, com as isóbatas orientadas por antigos talwegues fluviais, hoje parcial ou totalmente soterrados pela sedimentação estuarina.

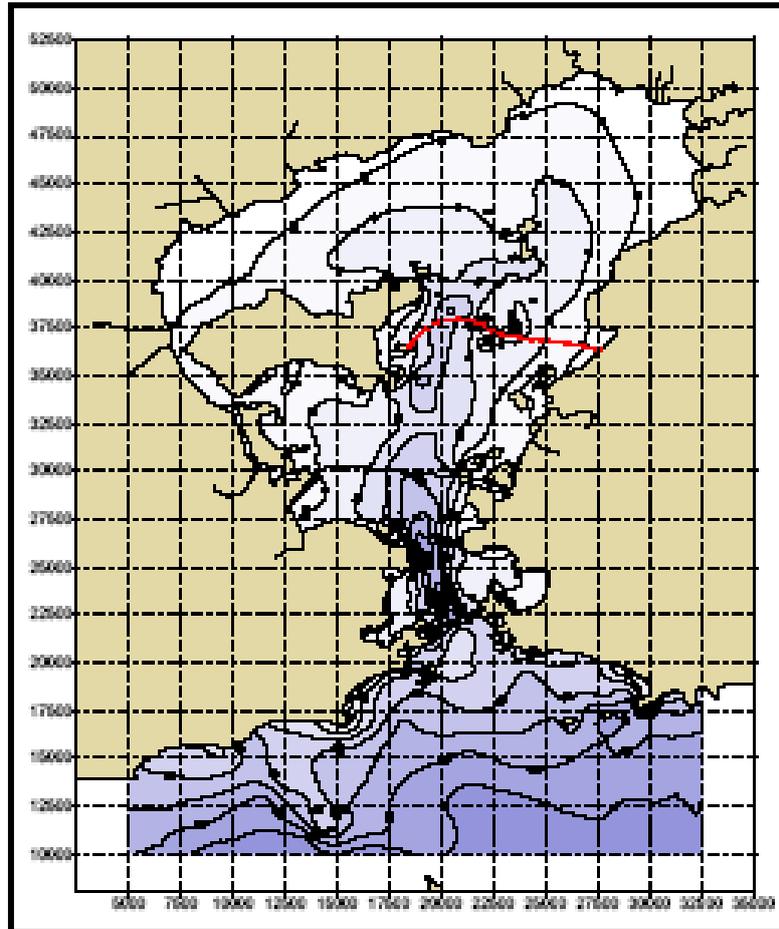


Figura 7: Isóbatas evidenciam antigos talwegues fluviais.

Nesse particular, os canais remanescentes da baía são associados com os talwegues de um sistema fluvial afogado por águas marinhas, podendo ser percebida, claramente, a relação das isóbatas com estes antigos canais.

Vários talwegues, com profundidades que oscilam entre 5 e 10 metros, confluem para um grande talwegue central, de orientação Norte-Sul, segundo o eixo principal da Baía de Guanabara, onde as profundidades superam a 20 metros.

De fato, perfis geofísicos e perfurações efetuadas à época da construção da Ponte Rio-Niterói (AMADOR, 1997), confirmam esta depressão alongada, orientada segundo a direção estrutural Norte-Sul, escavada no embasamento cristalino e parcialmente preenchida pelos depósitos pleistocênicos da Formação Caceribu e pelos sedimentos marinhos holocênicos.

Esta grande depressão que, no último período interglacial, passou a capturar a drenagem da Baixada, recebeu a denominação de “*Paleo Rio Guanabara*”. Este canal antigo remanesce no assoalho da baía, como o talwegue principal, que chega até as proximidades da ilha de Paquetá.

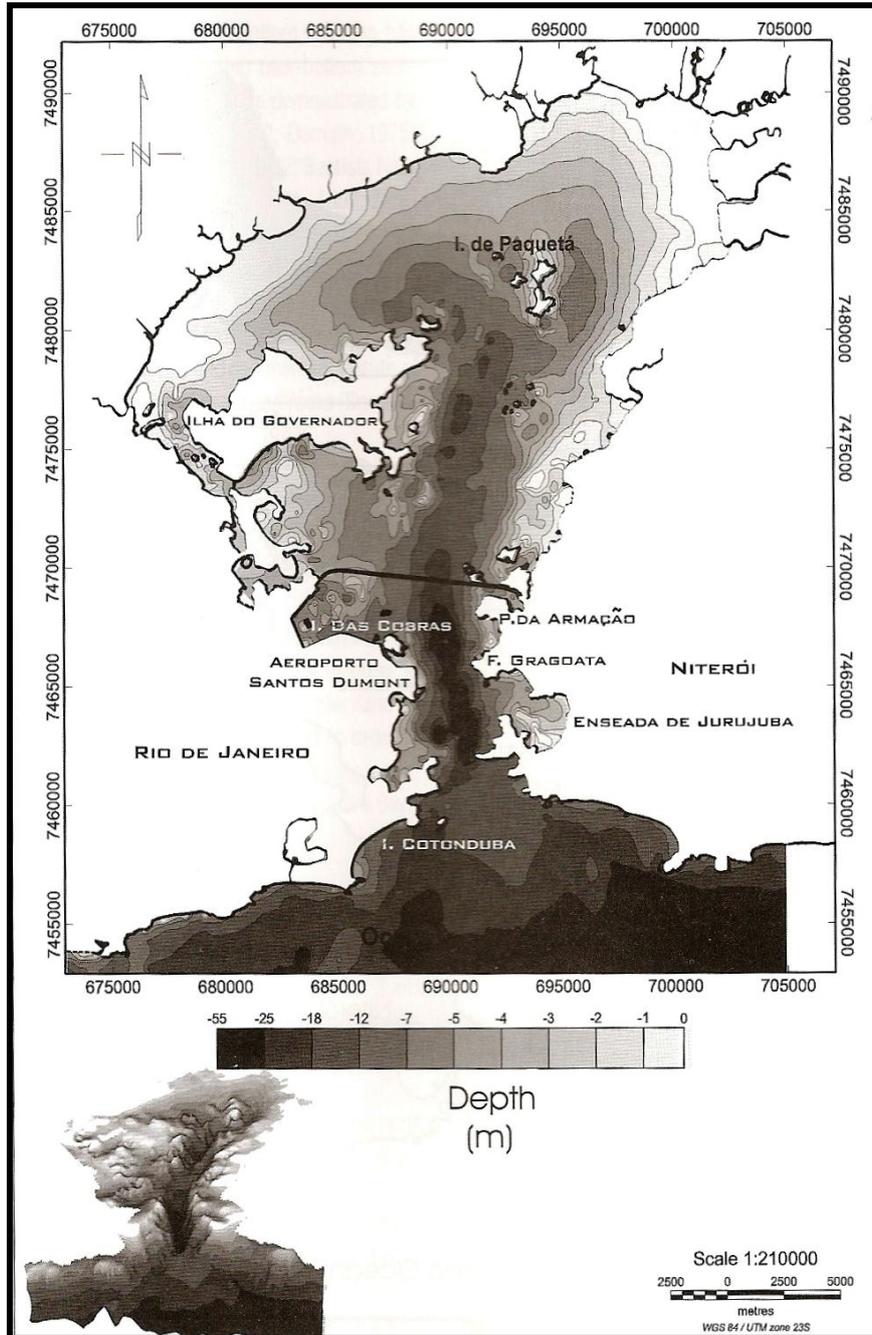


Figura 8: Isóbatas mostram claramente o talvegue principal.

Finalmente, Amador (1997) afirma que face aos desmatamentos, aterros, modificações da rede de drenagem, lançamento de lixo e esgotos domésticos e industriais, a Baía de Guanabara vem sofrendo uma perda progressiva de profundidade por assoreamento, cujos valores médios evoluíram de 18 cm/século, no final do século XIX, para 81 cm/século, na atualidade, chegando a alcançar valores absolutos superiores a 500 cm/século.

Amostragens superficiais de fundo, realizadas em toda a área da baía, confirmam estes dados, demonstrando a ampla predominância de lamas terrígenas orgânicas, com teor superior a 75% de lama, capeando o fundo, desde a parte mais interna da baía, até cerca de 3 Km ao sul da Ponte Rio-Niterói (Figuras 9 e 10).

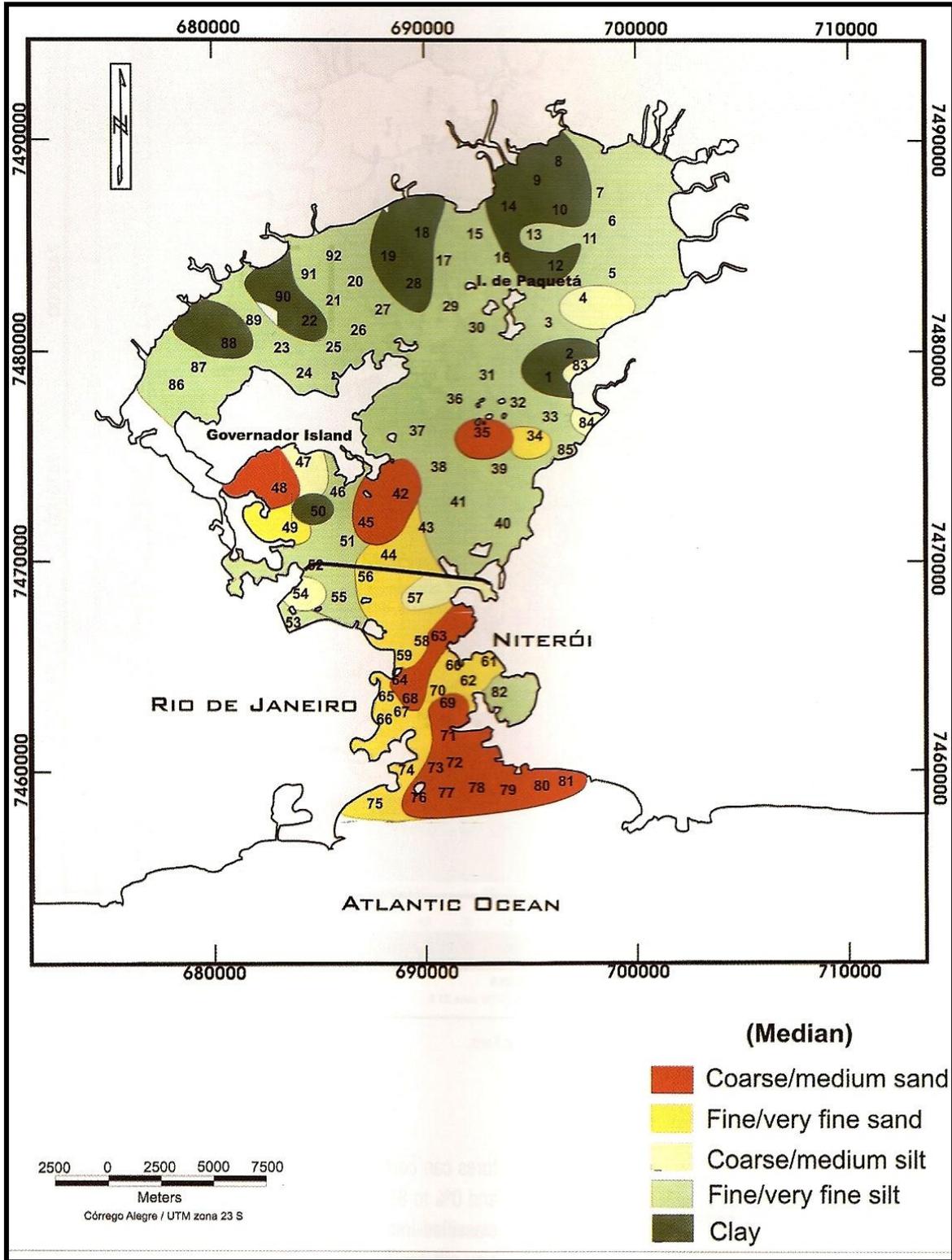


Figura 9: Mapa de distribuição de sedimentos.

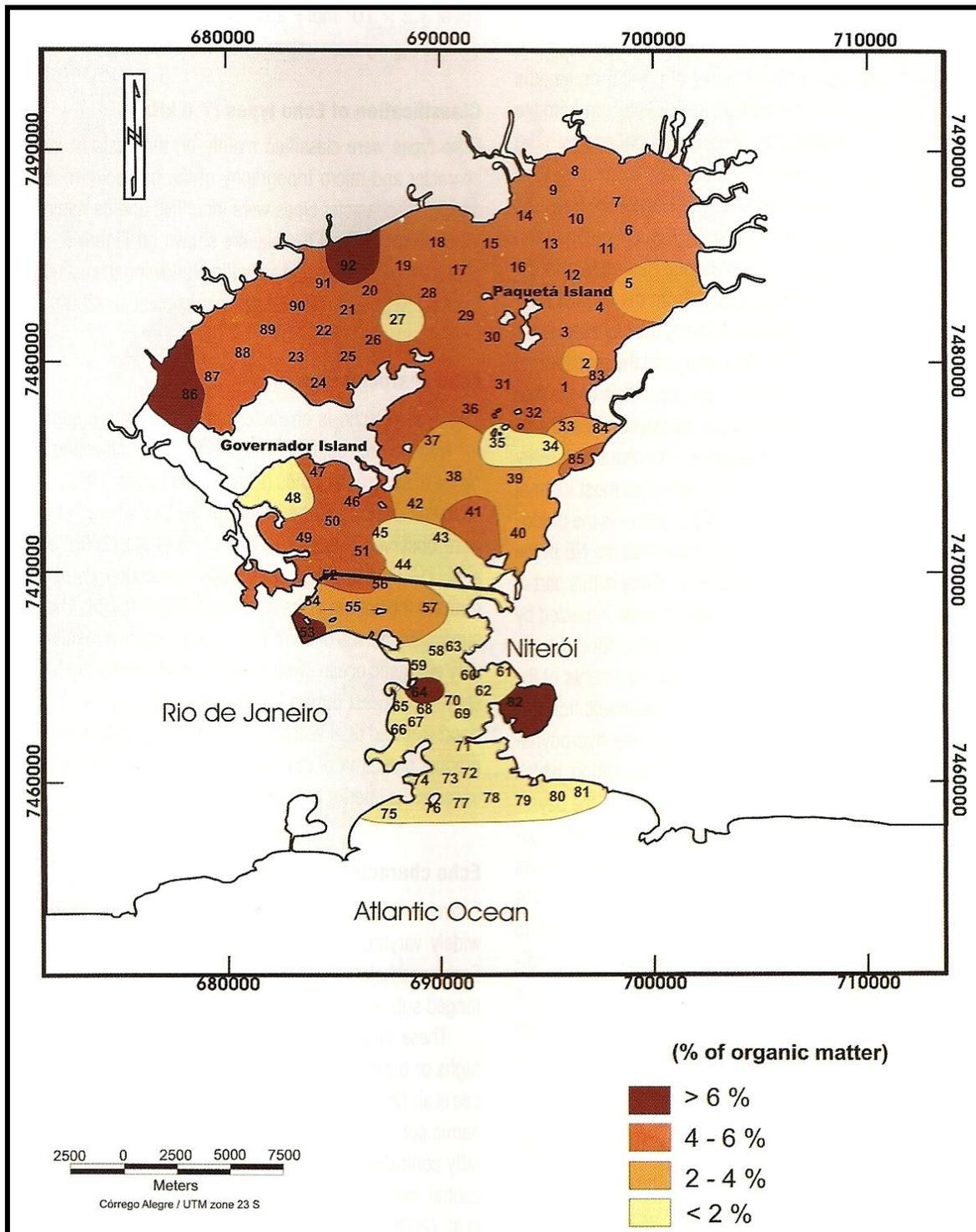


Figura 10: Mapa de distribuição de percentuais de matéria orgânica.

A figura 11, a seguir, apresenta um mapa de distribuição das direções e intensidades de correntes de vazante, na baía de Guanabara, observando-se na área do cais do Porto do Rio de Janeiro, uma nítida “zona de sombra”, de baixa energia hidrodinâmica, que influi diretamente no valor máximo das taxas de assoreamento de 4,85 cm/ano, encontradas no local.

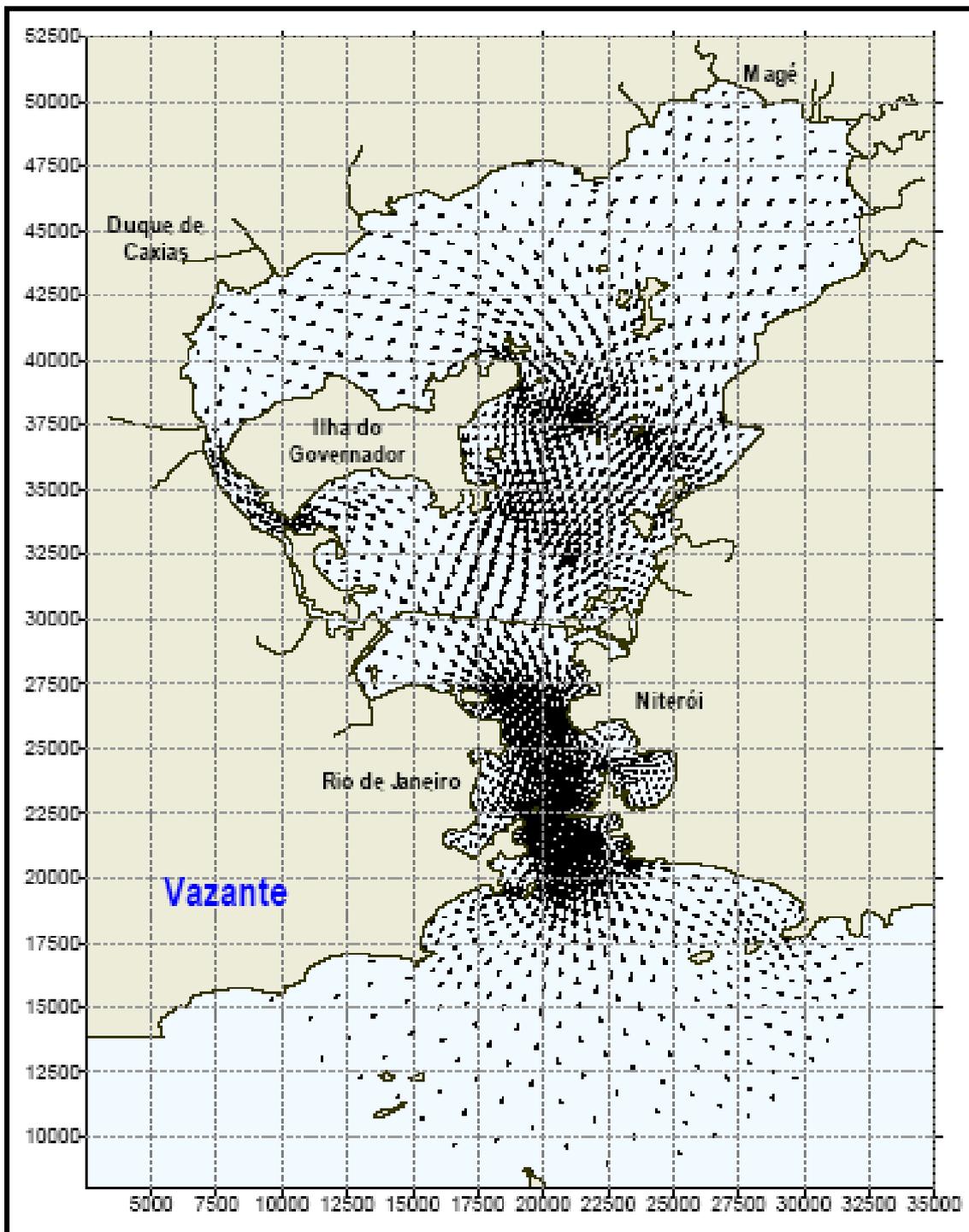


Figura 11: Distribuição espacial de direções e intensidades de correntes na Baía de Guanabara.

Já os valores de assoreamento observados na faixa entre o cais do Porto do Rio de Janeiro e o litoral de Niterói, ente 3,00 e 3,50 cm/ano podem ser explicados pela presença dinâmica da zona de turbidez máxima (*turbidity maximum*).

Tal zona de contato, sem mistura de água oceânica e mais densa, na parte inferior, com a de mistura continental, mais quente e com menor salinidade, na parte superior, tem sido considerada, por diversos autores (SHUPEL, 1976; PRICHARD, 1976; e outros), como área preferencial de sedimentação.

Nas áreas do cais do Porto e canal da Maré, e também na área externa entre a Ponta do Arpoador e o Pão de Açúcar são observados valores mais elevados de assoreamento na baía, entre 4,00 e 4,50 cm/ano.

Nas duas primeiras a responsabilidade principal é a ação antrópica, que inclui sucessivos aterros e sedimentos, periodicamente dragados para permitir o acesso ao porto, eventualmente lançados nas proximidades, principalmente na área próxima ao Canal do Mangue.

Já o elevado valor de 4,12 cm/ano, encontrado na área externa da baía está relacionado à atuação de mecanismos costeiros de transporte e deposição de sedimentos conduzidos por correntes litorâneas e ação das ondas.

Este mecanismo é responsável pela edificação de um cordão arenoso submerso que se estende entre as ilhas Cagarras e a Ponta do Arpoador, denominado "*Península do Arpoador*".

Em um estudo mais específico sobre o comportamento de argilas² em dragagens no Porto do Rio de Janeiro, LIMA (1974) relata que levantamentos, através da execução de sondagens geotécnicas e análises de laboratório, demonstraram a existência de uma camada, "*encontrada superficialmente em toda a região investigada, com espessura bastante variável, apresentando alguns bolsões, com até 6,50m de profundidade*".

Esta camada é constituída de argilas siltosas moles a muito moles, orgânicas, com eventual presença de areia, conchas e detritos vegetais, de coloração cinza escura a cinza esverdeada, que, por suas características e baixíssima consistência, pode ser classificada como lama ou vasa, sendo dignos de nota os elevados teores de umidade, superiores a 100%, aí encontrados.

Duas outras camadas subjacentes à primeira, ainda foram identificadas nesse estudo, ambas compostas respectivamente por argila siltosa ou arenosa, com pronunciado aumento da consistência, em função da profundidade.

LIMA (1974) considera que "*as características de escoamento e deformação do material de fundo, tanto no seu estado natural como diluído durante o processo de dragagem hidráulica, têm uma ligação direta com a sua dragabilidade*" e, por conseguinte, com a própria estabilidade desses materiais.

Quanto aos teores de umidade superiores a 100%, encontrados nas argilas siltosas existentes nessa área, CASTRO (1974) ressalta a variação volumétrica que certas argilas apresentam quando varia o seu teor em água³, lembrando que, "*pela absorção de água origina-se um aumento de volume que pode, com certos tipos de solo, assumir importantes proporções*".

² "Geotécnica Aplicada à Dragagem", por Maria José C. Porto Alves de Lima, Monografia apresentada à Escola de Engenharia da UFRJ, em Concurso de Docência Livre, 1974.

³ "Expansibilidade, Capilaridade e Sucção", por Elda de Castro, In: Mecânica dos Solos – Conceitos Fundamentais, Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC, Lisboa, 1974.



Além deste e de outros estudos técnicos e científicos, realizados por diversos autores, empresas e instituições universitárias, o INPH e a própria CDRJ, que administra o Porto do Rio de Janeiro – através de recursos técnicos próprios e de contratos com a iniciativa privada ou através desta – tem buscado o pleno conhecimento do substrato da Baía de Guanabara, prioritariamente nas áreas de influência do mencionado porto, sempre focando as necessidades do projeto que esteja sendo desenvolvido no momento.

Em confirmação ao exposto, o INPH apresenta a documentação geológica que embasa o anteprojeto em apreço, grande parte dela consolidada em uma “Planta de Integração de Dados Geológico-Geofísicos” (Figuras 12 e 13), sobre a qual foram analisadas, integradamente, todas as informações disponíveis e passíveis de utilização no desenvolvimento deste e de outros projetos.

4. ANÁLISE INTEGRADA DE DADOS

Com vistas a subsidiar os diversos projetos desenvolvidos para o Porto do Rio de Janeiro, com ênfase maior naqueles relacionados a obras de dragagem e derrocagem submarina, o INPH tem utilizado, através do seu corpo técnico, informações obtidas em investigações geofísicas e geotécnicas, que envolvem, sobretudo, levantamentos batimétricos, perfilagens sísmicas, imageamento do leito marinho com sonar de varredura lateral, sondagens por jet-probe, sondagens a percussão e sondagens mistas (percussão e rotativa), além de resultados de ensaios laboratoriais, dentre outros que possam ser úteis.

Tais dados, compilados de diversas fontes e épocas distintas, são traduzidos em camadas de informações sobre uma mesma base cartográfica, gerando, assim, o produto denominado como **“Planta de Integração de Dados Geológico-Geofísicos”** (plantas anexas), que tem servido como uma poderosa ferramenta de avaliação, inerente a cada projeto de engenharia, tal como aqueles baseados nas análises integradas sobre trechos específicos ao longo de todo o Cais do Porto do Rio de Janeiro (Cais do Caju), com seus respectivos canais de acesso.

Essas informações geológicas e geofísicas, apesar de muitas vezes estarem relativamente distantes no tempo em que foram coletadas, serem atinentes a fontes, metodologias e objetivos distintos de aquisição – desde que relativamente próximas do local de interesse e, ainda, sendo convenientemente tratadas e analisadas –, podem contribuir, decisivamente, para uma discussão profícua e uma compreensão bastante realista das inúmeras variáveis possíveis, associadas a tais dados.

Por padrão, a cada projeto iniciado, o INPH procura analisar, primeiramente, as informações pretéritas disponíveis em acervo, consolidando-as em plantas de integração, no intuito de verificar as eventuais necessidades de complementação desses dados e determinar as técnicas de investigação mais adequadas a serem utilizadas.

A Planta de Integração de Dados Geológico-Geofísicos contém, basicamente, o processamento de informações relacionadas a batimetrias, perfilagens sísmicas, sondagens por jet-probe, sondagens a percussão e sondagens mistas, de épocas e origens distintas, no Datum WGS-84 – referência a que se converteu a maior parte dos dados e plantas antigas disponíveis no acervo do INPH, para a elaboração deste produto.

Na seqüência, é apresentada a Figura 12, que mostra apenas os resultados dos estudos complementares, diretamente relacionados ao atual anteprojeto de Dragagem para o Acesso da Infraestrutura Aquaviária, desenvolvido pelo INPH, representado neste desenho.

Em seguida, a Figura 13 mostra outra Planta de Integração de Dados Geológico-Geofísicos, mais completa, com as principais informações compiladas ao longo do tempo e que passa a incorporar, também, os dados batimétricos, geofísicos e geotécnicos, recentemente adquiridos, além do *“layout”* dos projetos mencionados.

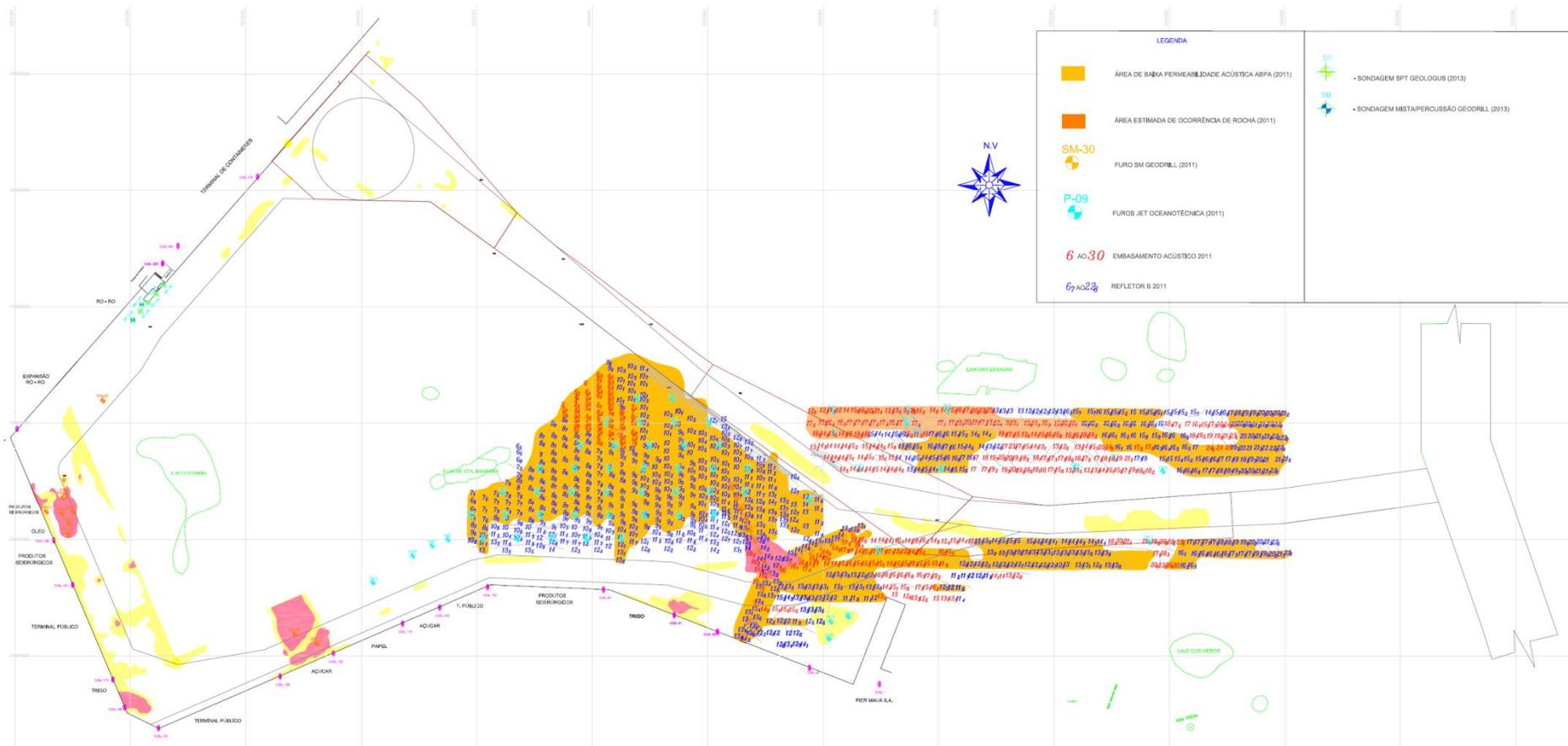


Figura 12: Anteprojeto de Dragagem para o acesso da Infraestrutura Aquaviária ao Complexo Portuário do Rio de Janeiro e Adjacências. São incluídos os resultados relativos aos levantamentos realizados até o ano de 2013, em apoio aos projetos citados.

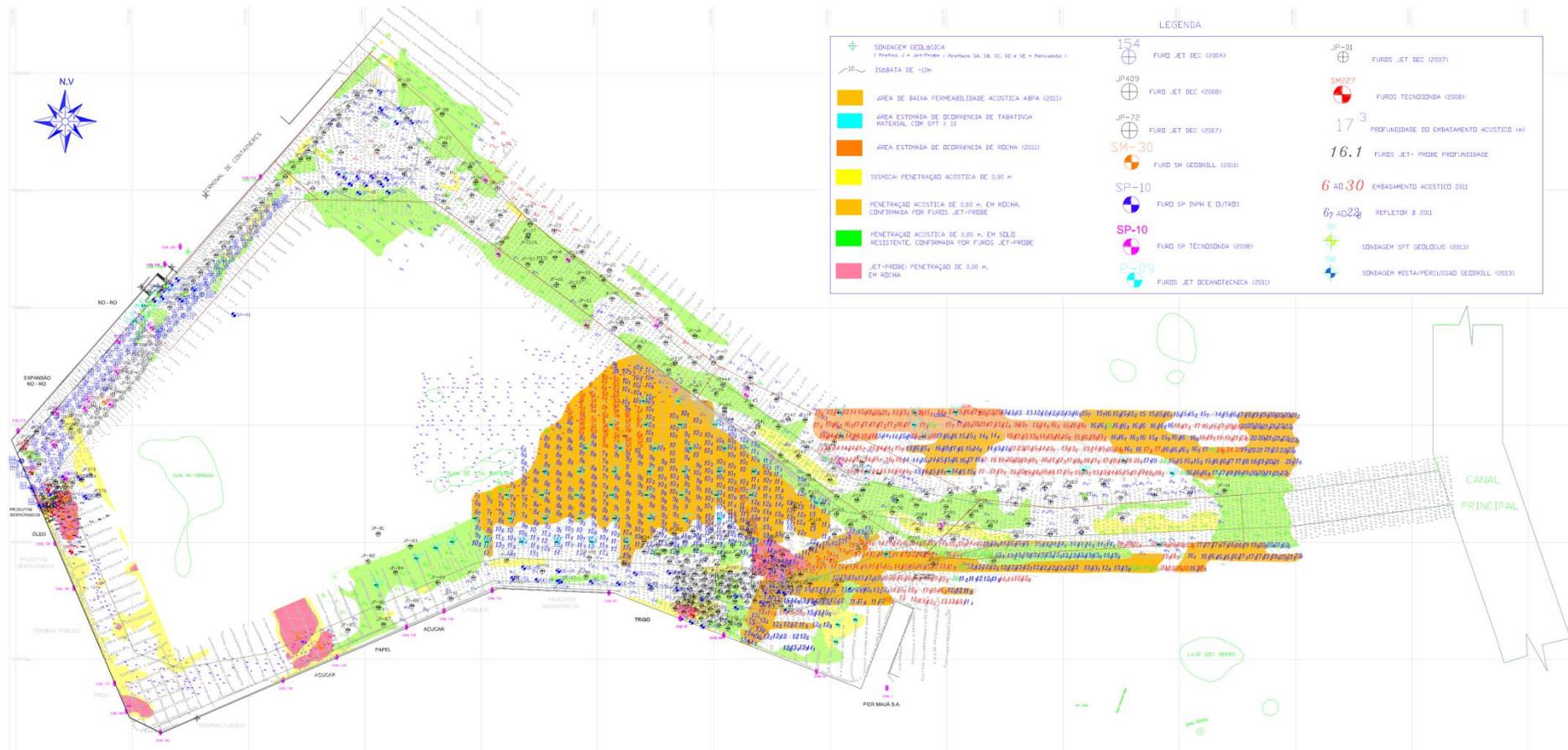


Figura 13: Planta de Integração de Dados Geológico-Geofísicos completa (atualizada até Março/2014).

a) Batimetrias

Representados em três “layers” distintos na Planta de Integração mais completa, são pertinentes a trechos de batimetrias realizadas nos anos de 2008 e 2011, respectivamente realizadas pelo INPH e pelas empresas VAN OORD e HIDROTOPO, que, habilitados, facilitam a visualização dos dados em relação ao projeto de dragagem pretendido.

Os mencionados “layers” ocupam, na totalidade, todas as áreas de interesse aos projetos, de modo que, em cada uma delas, possam ser visualizadas e utilizadas as últimas informações em acervo, sobre as profundidades mais recentes disponíveis.

b) Perfilagem Sísmica Contínua

Estão representados valores de profundidades dos diversos refletores acústicos – Refletor A, Refletor B e Embasamento Acústico –, áreas em cores, representativas de sedimentos duros (“tabatinga”) e de rocha, comprovada por furos ou não, além de anomalias acústicas interpretadas, que podem fornecer subsídios à compreensão do substrato nas áreas de interesse, conforme indicadas na respectiva Planta de Integração.

c) Sondagens Executadas

Estão lançadas na Planta de Integração as posições de sondagens por jet-probe, percussão e mistas, recentes e antigas, úteis aos projetos desenvolvidos, sobre as quais são analisadas as relações entre a natureza dos solos e rochas perfurados, os graus de alteração e fragmentação, RQD e outros indicadores, a fim de determinar o topo do embasamento cristalino, sua natureza e qualidade para fins de projeto.

Essas sondagens, além de terem a sua posição definida na Planta de Integração, também estão incorporadas a este trabalho, em boletins descritivos anexos.

d) Comparativo SPT x Profundidade de Jet-Probe

Uma análise possível, sempre com a finalidade de aproveitar todos os dados existentes, é a utilização dos resultados de sondagens muito diferentes entre si, como Jet-probe e a percussão, mas que associadas podem trazer informações complementares valiosas, nas situações em que não é possível ou não existe tempo para a realização de novos e mais detalhados estudos.

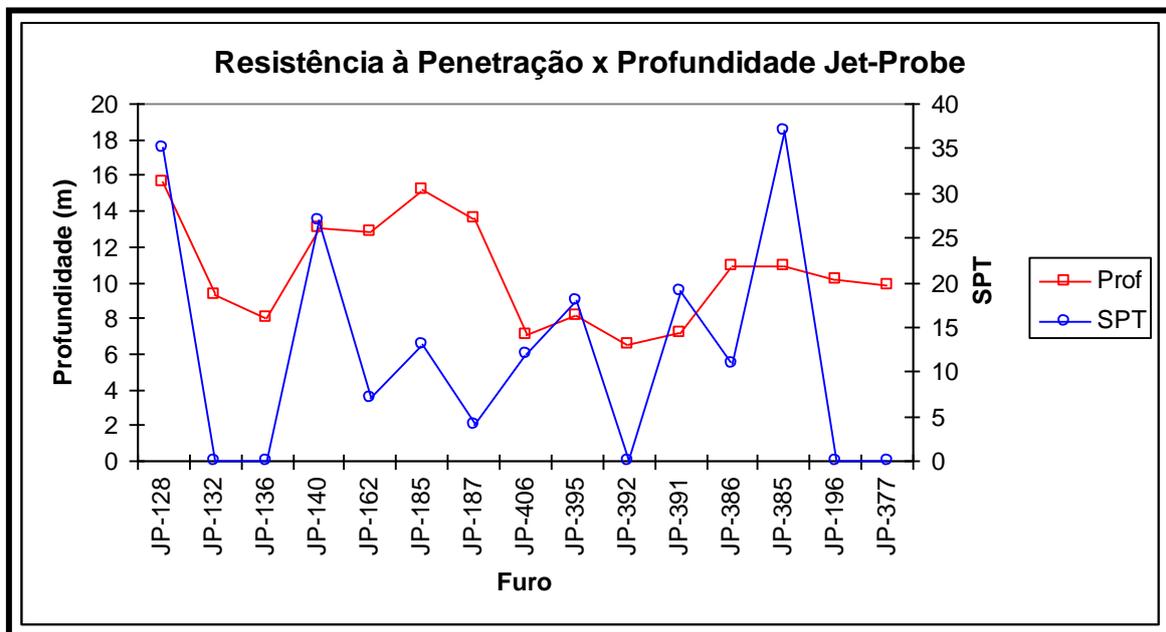
Por exemplo, dentro do escopo de projetos anteriores, e objetivando fornecer algum subsídio a cálculos de volumes de sedimentos, diferenciados pela respectiva resistência oferecida à sua remoção por dragagem convencional, foram associadas profundidades máximas, atingidas nas sondagens por jet-probe, com as respectivas resistências à penetração (SPT), relacionadas aos mesmos níveis obtidos em sondagens a percussão.

Para isto, foram comparados os resultados de 15 (quinze) pares de sondagens por jet-probe e a percussão, realizados em 2008 em posições sobrepostas ou relativamente próximas entre si, de acordo com a tabela a seguir:

Resistência à Penetração x Profundidade Jet-Probe (SPT x máximas penetrações jet-probe)			
Sondagem Jet-Probe		Sondagem a Percussão	
Furo	Prof. DHN (m)	Furo	SPT
JP-128	15,60	SP-01	35
JP-132	9,30	SP-03	0
JP-136	8,00	SP-05	0
JP-140	13,10	SP-07	27
JP-162	12,80	SP-10	7
JP-185	15,20	SP-11	13
JP-187	13,60	SP-11	4
JP-406	7,10	SP-12	12
JP-395	8,10	SP-15	18
JP-392	6,50	SP-16	0
JP-391	7,20	SP-17	19
JP-386	10,90	SP-18	11
JP-385	10,90	SP-19	37
JP-196	10,20	SP-20	0
JP-377	9,80	SP-20	0

Esta comparação permitiu demonstrar, por extrapolação e para toda a região investigada, uma caracterização estimativa sobre a resistência à penetração (SPT) em sedimentos atravessados por sondagens jet-probe, uma vez que este método não fornece tal tipo de informação.

Os dados mostrados na tabela anterior são ilustrados na figura a seguir:



A análise do gráfico comparativo apresentado – que associa profundidades máximas, alcançadas em sondagens por jet-probe, a informações de resistência do solo (SPT), obtidas em idênticas profundidades, nas sondagens a percussão relativamente próximas, confirmam o conhecimento que se tem sobre a complexidade dos solos do Porto do Rio de Janeiro.

Tais solos apresentam grande heterogeneidade em sua natureza e resistência, tanto em área quanto em profundidade, mostrando uma tendência geral e não linear, de variação da resistência

à penetração (SPT) – extraída de sondagens a percussão – em função das profundidades máximas alcançadas em furos jet-probe relativamente próximos.

É evidente que tal análise, como outras, deve ser preferencialmente associada às demais informações originadas em metodologias investigativas distintas – não se excetuando as eventuais indicações, quanto a materiais de alta resistência e/ou rochas, originadas de informações colhidas durante as operações de dragagem – a fim de permitir os ajustes necessários ao modelo geológico inicialmente concebido para a área de interesse.

Em apoio a esta assertiva, e exemplificando os comentários acima, avaliações e interpretações sobre os elementos contidos em plantas de integração de dados geológico-geofísicos, elaboradas pelo INPH, e nos resultados de sondagens mistas, a percussão e por jet-probe, possibilitaram determinar e mapear o contorno estrutural da superfície de diversos corpos rochosos, em áreas do Porto do Rio de Janeiro.

Tais corpos estão situados em profundidades que, hoje, interferem com os projetos de aprofundamento para as áreas correspondentes do Porto do Rio de Janeiro, citando-se, especificamente:

- Interferências ao longo do cais do Caju (Sítio 2 – volume III deste anteprojeto);
- Interferência próxima ao talude do canal de acesso ao cais do Caju (Sítio 1 – Volume III deste anteprojeto).

No Volume III, **IDENTIFICAÇÃO DE SÍTIOS COM PROVÁVEL OCORRÊNCIA DE CORPOS ROCHOSOS SUJEITOS A EVENTUAL DERROCAMENTO**, podem ser observados os elementos técnicos que nortearam a identificação dos Sítios 1 e 2.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Todas as informações reunidas pelo INPH, ao longo dos anos, confirmam os dados regionais extraídos da literatura técnica, sobretudo aqueles relacionados à área de influência do Porto do Rio de Janeiro e seus acessos.

O arcabouço geológico, presente na Baía de Guanabara e, particularmente, nas áreas do Porto do Rio de Janeiro, é basicamente constituído de gnaisses e migmatitos – que, de maneira simples e geral, podem ser descritas como rochas que guardam, localmente, características de um gnaiss ou de um granito –, com eventuais intrusões de veios pegmatíticos ou de rochas de natureza básica, como basaltos e diabásios.

Neste particular, os tipos litológicos encontrados no Porto do Rio de Janeiro – compostos de rochas extremamente duras – se diferenciam, e muito, de outros tipos litológicos mais brandos e até friáveis, tais como xistos, arenitos, folhelhos e siltitos, que podem ser comparados, algumas vezes, aos eventuais horizontes intemperizados de rochas de origem granítica ou gnáissica, bastante comuns em países tropicais e com as condições climáticas próprias do nosso País.

O fato é que, na natureza, raramente apenas um parâmetro é suficiente para definir questões relacionadas à execução de um projeto de engenharia, tais como o tipo e composição do substrato, suas propriedades físicas, químicas e mecânicas, dentre tantas outras, tão ou mais importantes.

Embora, na maior parte das vezes, uma área investigada através de métodos geofísicos, possa apresentar características acústicas e geométricas associáveis ao embasamento rochoso e/ou outros refletores relevantes, é sempre desejável correlacioná-lo antes com dados geotécnicos e/ou oriundos de levantamentos geofísicos suplementares, que reforcem as análises previamente efetuadas.

Isto porque métodos de investigação indireta, como os geofísicos, não possuem a capacidade de, apenas por si, garantirem uma correlação efetiva com as camadas geológicas existentes abaixo de superfícies, cobertas por água ou não.

Anomalias acústicas e outras feições interpretadas em registros sísmicos, tais como linhas que definem o topo do embasamento acústico ou outros refletores, áreas dragadas e/ou de baixa permeabilidade acústica, estão prioritariamente associadas, segundo Meyer, Lessa & Ramos⁽⁴⁾, a *“um ou mais campos de força físicos, que devem, posteriormente, ser traduzidas em termos geológicos”*.

Estes autores lembram, ainda, que a *“geofísica não localiza corpos geológicos definidos e específicos, mas fornece somente a distribuição de determinados parâmetros físicos, que deve ser interpretada em termos geológicos, muitas vezes de maneira conservadora”*, e que, em virtude *“dos fenômenos geológicos serem, geralmente, gradacionais através de todos os graus e entre amplos limites, impõe-se a necessidade de calibração desses dados físicos, através do conhecimento de um número suficiente das variáveis geológicas da área em estudo”*.

Isto quer dizer que não existe, necessariamente, uma correspondência biunívoca entre dados geofísicos e geológicos, pois os parâmetros físicos atuantes num determinado meio (camada de solo) atravessado por ondas acústicas, comumente oferecem uma resposta diversa à análise puramente geológica desse mesmo meio, levando à necessidade de correlacionar, da forma mais criteriosa possível, inúmeras variáveis a fim de alcançar conclusões satisfatórias.

⁽⁴⁾ Meyer, V.L.O., Lessa, G. & Ramos, R.G.N., *Geofísica Aplicada à Engenharia Civil: Algumas Considerações*, In: 1º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, ABGE, Anais (Vol. 1, pp. 199-208), Rio de Janeiro-RJ, 1976.



Tal fato, aliado à natural e óbvia dificuldade para a realização e interpretação de resultados de investigações em áreas cobertas por água, são as principais razões para que os técnicos do INPH usualmente insistam na utilização e correlação de tantas informações, algumas vezes aparentemente díspares.

Os dados disponíveis, normalmente compilados de diversas fontes e épocas distintas, são traduzidos em camadas de informações sobre uma mesma base cartográfica, o que permite a avaliação integrada dos dados geológicos preexistentes, à luz do projeto em voga, proporcionando uma melhor compreensão do solo e subsolo marinhos, economia em levantamentos desnecessários e maior objetividade nos estudos que, apesar desses cuidados, ainda sejam primordiais.

Concluindo a exposição acima, importa ressaltar que, apesar de todos os cuidados e estudos criteriosos efetuados em apoio a um projeto, sempre ainda poderá restar alguma inconsistência, que deve ser convenientemente avaliada e considerada na definição de índices de segurança.

A exemplo do que ocorre com os refletores sísmicos interpretados – que obedecem a leis físicas específicas –, a estratigrafia dos horizontes geológicos, determinados em sondagens por jet-probe, a percussão ou mistas, representam, evidentemente, apenas uma indicação provável destes horizontes, constatados nas verticais de cada sondagem, devendo-se avaliar com cautela a necessidade de eventuais inferências em áreas onde não haja ocorrido a execução de sondagens e/ou em que os dados disponíveis sejam inconclusivos.