



Ricardo Froitzheim Rinelli de Almeida

**Modelagem Geológica do Entorno da
Lagoa de Jacarepaguá**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. José Tavares Araruna Júnior
Co-orientador: Prof. Patrício José Moreira Pires



Ricardo Froitzheim Rinelli de Almeida

**Modelagem Geológica do Entorno da
Lagoa de Jacarepaguá**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. José Tavares Araruna Júnior

Orientador

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof. Patrício José Moreira Pires

Co-orientador

Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Alberto de Sampaio Ferraz Jardim Sayão

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof. Monica Priscilla Hernandez Moncada

Universidade Federal Fluminense

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 02 de Dezembro de 2011

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

Ricardo Froitzheim Rinelli de Almeida

Graduou-se em Engenharia Ambiental, pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, em 2008. Durante a graduação, atuou nas áreas de resíduos sólidos urbanos, licenciamento ambiental, trabalhos sociais na Amazônia e investigação e remediação de solos e águas subterrâneas contaminados por hidrocarbonetos do petróleo. Após, dedicou-se a área de investigação de áreas contaminadas e, antes de iniciar o mestrado trabalhou com investigações geotécnicas em um aterro sanitário (SPT, CPTU, vane test e amostragem shelby) e determinação de parâmetros hidráulicos em solos não-saturados com um permeômetro de Guelph e um tensiômetro. Ingressou no curso de mestrado em Engenharia Civil (Geotecnia) no ano de 2009, atuando na área de geotecnia ambiental. Desenvolveu pesquisa na Lagoa de Jacarepaguá, com a modelagem geológica e investigações geofísicas da área.

Ficha Catalográfica

Almeida, Ricardo Froitzheim Rinelli de

Modelagem geológica do entorno da lagoa de Jacarepaguá / Ricardo Froitzheim Rinelli de Almeida ; orientador: José Tavares Araruna Júnior ; co-orientador: Patrício José Moreira Pires. – 2011.

175 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 2011.

Inclui bibliografia

1. Engenharia civil – Teses. 2. Modelagem Geológica. 3. Geoestatística. 4. Radar de Penetração. I. Araruna Junior, José Tavares. II. Pires, Patrício José Moreira. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. IV. Título.

CDD: 624

À minha família, natural ou escolhida, com amor e carinho.

Se planejamos para um ano, plantamos arroz.
Se planejamos para dez anos, plantamos árvores.
Se planejamos para cem anos, preparamos pessoas.
(antigo ditado chinês de autor desconhecido)

"É graça divina começar bem,
graça maior ainda persistir na caminhada certa,
mas a graça das graças é não desistir nunca."
(Dom Hélder Câmara)

Agradecimentos

Agradeço à minha família, meus pais (José Carlos e Maria Juliana), minha irmã (Renata) e meu irmão (Rafael) pelo apoio desde sempre, e agora, principalmente, à minha filha Victória que me enche de vontade para fazer o melhor possível sempre.

Agradeço àquela que sempre foi a minha melhor amiga durante a época da graduação e hoje é o meu grande amor, Paula Elias Benedetti, que continua me entendendo, acompanhando, amando e vivendo ao meu lado. Te amo!

Ao meu orientador, professor José Tavares Araruna, pelo trabalho oferecido e aprendizado adquirido nesse tempo.

Ao meu co-orientador, Patrício Pires, pelos ensinamentos e ajudas desde a graduação até o final desta dissertação. Um amigo e profissional de grande caráter que me espelha muito.

Ao amigo Rogério Ross, que desde antes de trabalhar na PUC sempre me ajudou nos trabalhos em campo, ou em qualquer outro lugar. Um grande exemplo que tenho a seguir de força, vontade e bom humor, obrigado.

À toda equipe do Laboratório de Geotecnia, Mônica, Amaury, David e Josué, que sempre me ajudaram com amizade e prontidão. Obrigado por tudo e desculpe-me pelos inúmeros pedidos de ajuda.

Agradeço também aos técnicos do Laboratório de Estruturas, José Nilson, Euclides e Evandro, pelas ajudas diretas e indiretas para com os meus trabalhos.

Ao grande amigo, professor e eterno orientador, Antônio Roberto, por todas as ajudas e conversas de hoje e sempre. Outro grande exemplo que tenho para minha vida.

Aos professores da Geotecnia do Departamento de Engenharia Civil, em especial aos professores Tácio e Vargas, por quem sempre demonstrei grande admiração, pelas orientações desde o começo da minha carreira profissional.

Em especial, ao estimado mestre Franklin, a quem admiro desde a graduação e me ajudou muito na identificação e padronização dos materiais geológicos nesta Dissertação. Tenho certeza que aprendi muito com o senhor, diretamente indiretamente, através dos seus alunos que hoje são mestres, doutores e PhD's.

Ao amigo Rafael Nunes, pelas ajudas e orientações com o ArcGIS, assim como pelos trabalhos realizados e os que estão por vir.

Ao meu grande irmão, Thiago Carnavale, que ao mesmo tempo tem tantas características diferentes e tantas iguais a mim. Obrigado por ser um exemplo de força, amizade, humildade e palhaçadas.

Aos amigos do mestrado, desde os mais antigos desde a graduação até os que vieram de fora, inclusive os não-brasileños.

À todos da Ambiental, Alexandre Conti, Aline Guidry, Antônio Sant'anna, Bernardo Oliveira, Branca Delmonte, Felipe Nabuco, Flávio Molina, Gabriel Góes, Letícia Freire, Luiz Lobo, Marcio Belleti, Olívia Julianelli, Raphael Rieboldt, Ricardo Vitalino e Thiago Pessoa, com o qual já trabalhei, estudei, viajei e vivi, mas sei que ainda não foi nada, comparado com tudo que ainda há por vir.

À todos os meus amigos do começo da graduação, em 2002, Daniel Celli, Daniel Dominguez, Felipe Petri, Felipe Kaiuca, Marcelo Luna, Mariana Guedes, Mônica Borges, Rodrigo Tinoco, Rodrigo Santos, Romário e Vitor Couto, os quais são verdadeiros amigos que sei que fiz para toda a vida.

Aos meus irmãos Arthur Damasceno, Daniel Protogenes, Rafael Salavessa, Bruno Lima, Eduardo Cortez, entre outros, que são a família que escolhi, mais próximos ou mais distantes, mas para sempre.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela possibilidade de realização deste trabalho devido aos dois anos de bolsa de estudo.

Por fim, à todos aqueles que contribuíram direta, ou indiretamente, de alguma forma para este trabalho, nem que seja apenas com a torcida. Obrigado!

Resumo

Almeida, Ricardo Froitzheim Rinelli de; Araruna Jr., Jose Tavares; Pires, Patrício José Moreira. **Modelagem Geológica do Entorno da Lagoa de Jacarepaguá**. Rio de Janeiro, 2011. 175p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O presente trabalho tem por objetivo obter e reunir informações de dentro e do entorno da Lagoa de Jacarepaguá, Rio de Janeiro, e realizar modelagens para auxiliar na gestão governamental da área, muito propendida em função do seu crescimento populacional e sua visibilidade devido aos eventos esportivos que ocorrerão no local, em especial, os Jogos Olímpicos de 2016. Foram realizadas duas modelagens, uma batimétrica e uma geológica, que obedeceram à mesma metodologia de trabalho: coleta de dados, desenvolvimento e validação do modelo através de sondagens geofísicas utilizando o georradar. Para a primeira modelagem foi realizada a batimetria na Lagoa, adquirindo-se profundidades georreferenciadas em campo para elaboração de modelos 3D e 2D das profundidades, identificando assim, cavas provenientes de dragagens para aterros de empreendimentos às suas margens. Por fim, foram realizadas sondagens GPR no interior da Lagoa com o intuito de se comparar com seções pré-determinadas do modelo. No entanto os radargramas não apresentaram bons resultados devido à condutividade elétrica da água, ainda salina apesar da distância do mar. Já a segunda modelagem foi desenvolvida a partir de dados obtidos de sondagens pré-existentes na área que resultaram em modelos 3D, Litológicos e Cronoestratigráficos, donde foram traçadas seções transversais para obter uma visualização espacial melhor. A validação deste modelo, a partir da comparação de seções GPR com seções extraídas do modelo, obteve resultados satisfatórios, ratificando assim o modelo geológico processado. A partir deste modelo geológico foram identificadas camadas em profundidades específicas, localizando assim zonas com concentrações de solos moles na área de estudo.

Palavras-chave

Modelagem Geológica; Geoestatística; Radar de Penetração.

Abstract

Almeida, Ricardo Froitzheim Rinelli de; Araruna Jr., Jose Tavares (advisor); Pires, Patrício José Moreira (co-advisor). **Geological Modeling of the Vicinities of Jacarepaguá Lagoon**. Rio de Janeiro, 2011. 175p. M.Sc. Dissertation – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade do Rio de Janeiro.

The present work has the goal of obtaining and gathering pieces of information from the inside and surrounding of Jacarepaguá Lagoon, Rio de Janeiro, and to make models to help in the governmental management of the area, that is so featured because of its population growth and its visibility due to sporting events that will take place in this location, specially the 2016 Olympic Games. Two models have been made, bathymetric and geological ones, which followed the same work methodology: data collection, development and validation of the model through geophysical survey using georadar. For the first model a bathymetry was done in Lagoon getting georeferenced depths on field to elaborate 3D and 2D models of depths, in order to identify ditches originated from dredging of embankments of actions on its borders. Finally, GPR (*Ground Penetration Radar*) surveys were made on the inside of Lagoon with the purpose to compare the predetermined sections of the model. Although the radargrams did not show good results due to the water electric conductivity, the water was still saline despite the distance of the ocean. The second model was developed based on data from pre-existing surveys of the area that achieved 3D models, lithological and cronostratigraphic, where transverse sections were done so that it could be possible to obtain a better space visualization. The validation of this model from the comparison of GPR sections with sections extracted from the model, obtained satisfactory results, complementing the geological processed model interpretation. From this geological model, layers were identified in specific depths, locating concentrated zones of soft soils on the studying area.

Keywords

Geological Modeling; Geoestatistics; Ground Penetrating radar.

Sumário

1	Introdução	20
1.1.	Objetivos	21
1.2.	Organização do Trabalho	22
2	Caracterização da Área de Estudo	23
2.1.	Evolução Histórica da Ocupação Populacional	24
2.2.	Caracterização Fisiográfica	35
3	Ferramentas	49
3.1.	Metodologia	49
3.1.1.	Modelo Batimétrico	51
3.1.2.	Modelo Geológico	53
3.2.	Equipamentos	54
3.2.1.	Veículo Anfíbio	55
3.2.2.	Bote Inflável	57
3.2.3.	GPS	58
3.2.4.	Sonar	63
3.2.5.	GPR	65
3.2.6.	Célula de Fluxo e Condutímetro	72
3.2.7.	Draga	73
3.3.	<i>Softwares</i>	73
3.3.1.	ArcGIS	74
3.3.2.	<i>Rockworks</i>	74
3.3.3.	<i>Logplot</i>	83
3.3.4.	<i>RadExplorer</i>	84
3.3.5.	<i>GPS Mapper</i>	84
4	Apresentação e Discussão dos Resultados	86
4.1.	Modelo Batimétrico	86
4.1.1.	Dados de Entrada – Batimetria	86
4.1.2.	Processamento do Modelo Batimétrico	90
4.1.3.	Interpretação do Modelo Batimétrico	94
4.1.3.1.	Validação do Nível d'água em relação à maré	94

4.1.3.2. Comparação com Sondagens GPR	97
4.2. Modelo Geológico	106
4.2.1. Dados de Entrada – Sondagens	106
4.2.2. Processamento do Modelo Geológico	111
4.2.2.1. Modelo Litológico	113
4.2.2.2. Modelo Estratigráfico	123
4.2.3. Interpretação do Modelo Geológico	128
4.2.3.1. Seção Leste-Oeste	129
4.2.3.2. Seção Nordeste-Sudoeste	139
4.2.4. Mapeamento de Solos Moles	149
5 Considerações Finais	154
5.1. Conclusões	154
5.2. Sugestões e Recomendações	156
6 Referências Bibliográficas	158
7 Apêndice	162

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Mapa de Localização da Baixada de Jacarepaguá com as lagoas e alguns bairros (<i>Google Earth</i>).....	23
Figura 2.2 – Mapa de Localização com indicação dos maciços e bacias de drenagem (Prefeitura do Rio de Janeiro, 2011).....	24
Figura 2.3 – Mapa com os loteamentos da cidade do Rio de Janeiro em 1867 (Mappery, 2008).	25
Figura 2.4 – Algumas áreas aterradas na cidade do Rio de Janeiro: (a) Centro, (b) Glória e (c) Lagoa (IPP, 2011).....	26
Figura 2.5 – Áreas de planejamento da cidade do Rio de Janeiro (adaptado de IPP, 2008).....	30
Figura 2.6 – Evolução da ocupação do entorno do Complexo Lagunar de Jacarepaguá (Castro e Custódio, 2005 e <i>Google Earth</i> , 2011).....	31
Figura 2.7 – Carta consolidada de estruturação do espaço (Bahiana, 2007).	33
Figura 2.8 – Províncias geomorfológicas (adaptado de Roncarati e Neves, 1976).	36
Figura 2.9 – Representação esquemática da formação da Baixada de Jacarepaguá e de suas restingas, interna e externa (modificado de Cabral, 1979).....	38
Figura 2.10 – Ocorrência pretérita localizada dos cordões de praia de enseada em função da direção de incidência das ondas (adaptado de Roncarati e Neves, 1976).	39
Figura 2.11 – Estabelecimento da primeira ilha barreira e da primeira zona lagunar entre 7.000 e 5.000 anos BP (adaptado de Maia <i>et al</i> , 1984).	40
Figura 2.12 – Construção da primeira zona de progradação durante a regressão entre 5.100 e 4.000 anos BP (adaptado de Maia <i>et al</i> , 1984).	41
Figura 2.13 – Estabelecimento da segunda ilha barreira e da laguna externa durante a transgressão entre 3.800 e 3.500 anos BP (adaptado de Maia <i>et al</i> , 1984).....	42
Figura 2.14 – Construção da segunda zona de progradação durante a regressão de 3.500 anos BP até o presente (adaptado de Maia <i>et al</i> , 1984).	43
Figura 2.15 – Distribuição de depósitos orgânicos na planície paludial de acordo com a salinidade da água (adaptado de Roncarati e Neves, 1976).....	43
Figura 2.16 – Perfil esquematizado das relações de contato dos cordões litorâneos (Roncarati e Neves, 1976)	44

Figura 2.17 – Coluna cronoestratigráfica da Baixada de Jacarepaguá (adaptado de Roncarati e Neves, 1976).	45
Figura 3.1 – A progressão do conhecimento geocientífico (adaptado de <i>Netherlands Institute Geoscience TNO – National Geological Survey, 2000 apud Turner, 2006</i>).	50
Figura 3.2 – Fluxograma dos processos de modelagem geológica (adaptado de Turner, 2006).	51
Figura 3.3 – Radargrama em lâmina d’água (adaptado de <i>MALA GeoScience, 2010</i>).	52
Figura 3.4 – Batimetria realizada com o GPR e superfícies do sedimento e do embasamento (adaptado de <i>MALA GeoScience, 2010</i>).	53
(a) capota fechada. (b) capota aberta.	55
Figura 3.5 – Veículo Anfíbio com a (a) capota fechada e a (b) capota aberta.	55
Figura 3.6 – Veículo Anfíbio adaptado para os equipamentos. (a) Tela do Sonar com receptor GPS, (b) Sonar e (c) Suporte para o motor de popa.	56
Figura 3.7 – Motor de popa de 8 HP utilizado nos trabalhos de campo na Lagoa.	57
Figura 3.8 – Bote inflável utilizado na realização das sondagens geofísicas GPR na Lagoa.	57
Figura 3.9 – Segmentos do Sistema <i>NAVSTAR GPS</i> (adaptado de ICPD, 2011).	59
Figura 3.10 – Determinação de posição de um ponto através de distâncias de pontos conhecidos (Friedmann, 2009).	60
Figura 3.11 – GPS <i>Garmin 76CSx</i> .	61
Figura 3.12 – Sistema GPS geodésico com seus acessórios (Souza, 2005).	62
Figura 3.13 – Receptor do GPS geodésico acoplado ao GPR.	62
Figura 3.14 – Sonar integrado ao GPS da <i>Raymarine Inc.</i>	63
Figura 3.15 – Imagens da tela do Sonar com receptor GPS.	63
Figura 3.16 – Leitura manual em função da leitura do sonar em profundidade.	64
Figura 3.17 – Diagrama esquemático de um sistema GPR (adaptado de Davis e Annan, 1989).	65
Figura 3.18 – Relação linear entre frequência da antena com a probabilidade máxima de penetração (Smith e Jol, 1995).	68
Figura 3.19 – Esquema de levantamento GPR com antenas tipo “esqui” e radargrama obtido (adaptado de Davis e Annan, 1989).	69
Figura 3.20 – Antena blindada de 250 MHz com a unidade controle, computador e as baterias do sistema GPR.	70
Figura 3.21 – Antena não-blindada de 100 MHz com a unidade controle, computador e as baterias do sistema GPR.	71

Figura 3.22 – Antenas RTA de (a) 50 MHz e (b) 100 MHz, com a unidade controle, computador, mochila e as baterias do sistema GPR.	72
Figura 3.23 – Equipamento com célula de fluxo, condutivímetro e bomba submersível de 12 volts.	73
(a) fechada (b) aberta	73
Figura 3.24 – Draga Van Veen (a) fechada e (b) aberta.	73
Figura 3.25 – Volume constante utilizado para construção do sólido (<i>RockWorks</i> , 2008).....	74
Figura 3.26 – Função <i>Randomize Blending</i> (a) desligada e (b) ligada (<i>RockWorks</i> , 2008).	75
(a) normal (b) inclinada	76
Figura 3.27 – Função <i>Tilted Modeling</i> (a) normal e (b) inclinada (<i>RockWorks</i> , 2008).....	76
Figura 3.28 – Opção <i>Buffer Size</i> da função <i>Upper Surface Grid Filter</i> (<i>RockWorks</i> , 2008).	76
Figura 3.29 – Exemplo de semivariograma. (Wikipedia, 2011b).	78
Figura 3.30 – Função <i>High-Fidelity</i> do <i>Rockworks</i> (<i>RockWorks</i> , 2008).	79
Figura 3.31 – Função <i>Densify</i> do <i>Rockworks</i> (<i>RockWorks</i> , 2008).	80
Figura 3.32 – Função <i>Maximun Distance Filter</i> do <i>Rockworks</i> (<i>RockWorks</i> , 2008).....	80
Figura 3.33 – Função <i>Onlap</i> do <i>Rockworks</i> (<i>RockWorks</i> , 2008).....	81
Figura 3.34 – Exemplo de modelo de Aquífero do <i>Rockworks</i> (<i>RockWorks</i> , 2008).....	81
Figura 3.35 – Exemplo de modelo <i>I-Data</i> do <i>Rockworks</i> (<i>RockWorks</i> , 2008).....	82
Figura 3.36 – Exemplo de modelo <i>T-Data</i> do <i>Rockworks</i> (<i>RockWorks</i> , 2008).	82
Figura 3.37 – Exemplo de modelo <i>P-Data</i> do <i>Rockworks</i> (<i>RockWorks</i> , 2008).	83
Figura 3.38 – <i>Layout</i> do boletim de sondagem padrão no <i>Logplot</i>	83
Figura 3.39 - <i>Layout</i> do <i>software GPS Mapper</i>	85
Figura 4.1 – Divisão da Lagoa de Jacarepaguá em áreas.	87
Figura 4.2 – Levantamento batimétrico da Área 1.....	88
Figura 4.3 – Levantamento batimétrico da Área 2.....	88
Figura 4.4 – Levantamento batimétrico da Área 3.....	89
Figura 4.5 – Levantamento batimétrico da Área 4.....	89
Figura 4.6 – Vista SW-NE do Modelo Batimétrico 3D da Lagoa de Jacarepaguá. ...	91
Figura 4.7 – Vista NE-SW do Modelo Batimétrico da Lagoa de Jacarepaguá.	91
Figura 4.8 – Vista lateral SW-NE do Modelo Batimétrico da Lagoa de Jacarepaguá.	92

Figura 4.9 – Vista lateral NE-SW do Modelo Batimétrico da Lagoa de Jacarepaguá.	92
Figura 4.10 – Mapa 2D do Modelo Batimétrico da Lagoa de Jacarepaguá.	93
Figura 4.11 – Mapa 2D do Modelo Batimétrico da Lagoa de Jacarepaguá plotado no <i>Google Earth</i>	93
Figura 4.12 – Indicação dos pontos de medição no nível d'água.	95
Figura 4.13 – Medições do nível d'água nas pontes sobre o (a) Arroio Pavuna e (b) Lagoa do Camorim.	95
Figura 4.14 – Gráfico das medições do nível d'água nas pontes sobre o Arroio Pavuna e Lagoa do Camorim.	96
Figura 4.15 – Seção GPR realizada com a antena não-blindada de 100 MHz na Lagoa de Jacarepaguá.	98
Figura 4.16 – Radargrama da antena não-blindada com frequência de 100 MHz. ...	98
Figura 4.17 – Radargrama da antena não-blindada com frequência de 100 MHz, com identificação de interferências.	99
Figura 4.18 – Seção GPR realizada com a antena blindada de 250 MHz na Lagoa de Jacarepaguá.	100
Figura 4.19 – Radargrama da antena blindada com frequência de 250 MHz.	100
Figura 4.20 – Radargrama da antena não-blindada com frequência de 250 MHz, com identificação de interferências.	101
Figura 4.21 – Célula de Fluxo, Condutímetro e <i>Datalogger</i> sendo utilizados em campo.	102
Figura 4.22 – Bombas acopladas ao peso sendo utilizadas em campo.	102
Figura 4.23 – Localização dos pontos de medição da condutividade elétrica na Lagoa de Jacarepaguá.	103
Figura 4.24 – Condutividade elétrica em função da profundidade na Área 1.	103
Figura 4.25 – Condutividade elétrica em função da profundidade na Área 2.	104
Figura 4.26 – Condutividade elétrica em função da profundidade na Área 3.	104
Figura 4.27 – Condutividade elétrica em função da profundidade na Área 4.	105
Figura 4.28 – Localização dos pontos de sondagem.	108
Figura 4.29 - Sondagens utilizadas, com vista SW-NE.	112
Figura 4.30 - Sondagens utilizadas, com vista NE-SW.	113
Figura 4.31 – Dimensões do projeto.	114
Figura 4.32 – Modelo Litológico, com vista SW-NE.	114
Figura 4.33 – Modelo Litológico, com vista NE-SW.	115
Figura 4.34 – Localização das seções transversais feitas no modelo.	116
Figura 4.35 – Seções do Modelo Litológico com vista SE-NW.	117

Figura 4.36 – Seções do Modelo Litológico com vista SW-NE.	117
Figura 4.37 – Seções do Modelo Litológico com vista NW-SE.	118
Figura 4.38 – Seções do Modelo Litológico com vista NE-SW.	118
Figura 4.39 – Modelo Litológico gerado com interpolação e sem Sobreposição, vista SW-NE.	120
Figura 4.40 – Modelo Litológico gerado com interpolação e Sobreposição, vista SW-NE.	120
Figura 4.41 – Modelo Litológico gerado com interpolação e sem Sobreposição, vista NE-SW.	121
Figura 4.42 – Modelo Litológico gerado com interpolação e Sobreposição, vista NE-SW.	121
Figura 4.43 – Seções do Modelo Litológico gerado com interpolação, vista SW- NE.	122
Figura 4.44 – Seções do Modelo Litológico gerado com interpolação, vista SE- NW.	122
Figura 4.45 – Seções do Modelo Litológico gerado com interpolação, vista NE- SW.	123
Figura 4.46 – Seções do Modelo Litológico gerado com interpolação, vista NW- SE.	123
Figura 4.47 – Modelo Estratigráfico sem Sobreposição, vista SW-NE.	124
Figura 4.48 – Modelo Estratigráfico com Sobreposição, vista SW-NE.	124
Figura 4.49 – Modelo Estratigráfico sem Sobreposição, vista NE-SW.	125
Figura 4.50 – Modelo Estratigráfico com Sobreposição, vista NE-SW.	125
Figura 4.51 – Seções do Modelo Estratigráfico, vista SW-NE.	126
Figura 4.52 – Seções do Modelo Estratigráfico, vista SE-NW.	126
Figura 4.53 – Seções do Modelo Estratigráfico, vista NE-SW.	127
Figura 4.54 – Seções do Modelo Estratigráfico, vista NW-SE.	127
Figura 4.55 – Passagem das antenas de (a) 50 MHz e (b) 100 MHz na seção E- W.	129
Figura 4.56 – Mapa de localização da seção Leste-Oeste no <i>GPS Mapper</i>	130
Figura 4.57 – Radargrama da antena de 100 MHz no sentido E-W sem processamento.	131
Figura 4.58 – Radargrama da antena de 100 MHz no sentido E-W com processamento.	131
Figura 4.59 – Radargrama da antena de 100 MHz no sentido E-W com processamento e indicação de possíveis camadas, totalmente transparentes.	132

Figura 4.60 – Radargrama da antena de 100 MHz no sentido E-W com processamento e indicação de possíveis camadas, com alguma transparência.....	132
Figura 4.61 – Radargrama da antena de 100 MHz no sentido E-W com processamento e indicação de possíveis camadas, totalmente opacas.	133
Figura 4.62 – Radargrama da antena de 50 MHz no sentido E-W sem processamento.	134
Figura 4.63 – Radargrama da antena de 50 MHz no sentido E-W com processamento.	134
Figura 4.64 – Radargrama da antena de 50 MHz no sentido E-W com processamento e indicação de possíveis camadas, totalmente transparentes.....	135
Figura 4.65 – Radargrama da antena de 50 MHz no sentido E-W com processamento e indicação de possíveis camadas, com alguma transparência.....	135
Figura 4.66 – Radargrama da antena de 50 MHz no sentido E-W com processamento e indicação de possíveis camadas, totalmente opacas.	136
Figura 4.67 – Seção E-W do Modelo Litológico sem interpolação (escala 1H:10V).....	137
Figura 4.68 – Seção E-W do Modelo Litológico com interpolação e Sobreposição (escala 1H:10V).	137
Figura 4.69 – Passagem das antenas RTA de (a) 50 MHz e (b) 100 MHz na seção Nordeste-Sudoeste.	139
Figura 4.70 – Mapa de localização da seção Nordeste-Sudoeste no <i>GPS Mapper</i>	140
Figura 4.71 – Radargrama da antena de 100 MHz no sentido NE-SW sem processamento.	141
Figura 4.72 – Radargrama da antena de 100 MHz no sentido NE-SW com processamento.	141
Figura 4.73 – Radargrama da antena de 100 MHz no sentido NE-SW com processamento e indicação de possíveis camadas, totalmente transparentes.....	142
Figura 4.74 – Radargrama da antena de 100 MHz no sentido NE-SW com processamento e indicação de possíveis camadas, com alguma transparência.	142
Figura 4.75 – Radargrama da antena de 100 MHz no sentido NE-SW com processamento e indicação de possíveis camadas, totalmente opacas.	143

Figura 4.76 – Radargrama da antena de 50 MHz no sentido NE-SW sem processamento.	144
Figura 4.77 – Radargrama da antena de 50 MHz no sentido NE-SW com processamento.	144
Figura 4.78 – Radargrama da antena de 50 MHz no sentido NE-SW com processamento e indicação de possíveis camadas, totalmente transparentes.	145
Figura 4.79 – Radargrama da antena de 50 MHz no sentido NE-SW com processamento e indicação de possíveis camadas, com alguma transparência.	145
Figura 4.80 – Radargrama da antena de 50 MHz no sentido NE-SW com processamento e indicação de possíveis camadas, totalmente opacas.	146
Figura 4.81 – Seção NE-SW do Modelo Litológico sem interpolação (escala 1H:10V).	147
Figura 4.82 – Seção NE-SW do Modelo Litológico com interpolação e com Sobreposição (escala 1H:10V).	147
Figura 4.83 – Localização das sondagens que apresentaram solo mole no entorno da Lagoa de Jacarepáguá.	150
Figura 4.84 – Camadas de diferentes materiais existentes na área com vista S-N.	152
Figura 4.85 – Camadas de diferentes materiais existentes na área com vista N-S.	153
Figura 4.86 – Camadas de solos moles na área com vista S-N.	153
Figura 4.87 – Camadas de solos moles na área com vista N-S.	153

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Comparativo do crescimento populacional entre a cidade do Rio de Janeiro e os bairros de Jacarepaguá e Barra da Tijuca (Modificado de IPP, 2011).....	28
Tabela 2.2 – População residente segundo a Área de Planejamento 4, Regiões Administrativas e Bairros - Município do Rio de Janeiro - 1991/2000/2010 (IBGE, 2011).....	29
Tabela 2.3 – População residente segundo as Áreas de Planejamento – Município do Rio de Janeiro - 1991/2000/2010 (IBGE, 2011).	30
Tabela 2.4 – Impactos ambientais urbanos encontrados na AP-4 (adaptado de Magrini, 1990 e Mota, 1999 <i>apud</i> Silva, 2006).	34
Tabela 3.1 – Profundidades obtidas pelas leituras manuais e pelo Sonar.....	64
Tabela 3.2 – Exemplos de valores de propriedades elétricas para materiais geológicos típicos em uma faixa de frequência de 80 a 120 MHz. (Adaptado de van Heteren <i>et al.</i> , 1998; Davis e Annan, 1989; Theimer <i>et al.</i> , 1994 e van Overmeeren, 1994 <i>apud</i> Neal e Roberts, 2000).	67
Tabela 3.3 – Comparação entre os Métodos de Interpolação (Modificado de Krajewski e Gibbs, 1966 <i>apud</i> Alessi, 2011).	78
Tabela 4.1 – Medições do nível d'água nas pontes sobre o Arroio Pavuna e a Lagoa do Camorim.	96
Tabela 4.2 – Informações sob as sondagens obtidas.	107
Tabela 4.3 – Critérios de classificação dos tipos litológicos (ASTM D2487, 2010; ABNT NBR 6502, 1995 e ABNT NBR 7250, 1982).	110
Tabela 4.4 – Critérios de classificação para as camadas estratigráficas e suas litologias relacionadas. (adaptado de IBGE, 1999; ABNT NBR 6502, 1995; Cabral, 1979; Roncarati e Neves, 1976).....	111
Tabela 4.5 – Informações sobre os solos moles de projetos no entorno da Lagoa de Jacarepaguá.	151

Lista de Abreviaturas e Siglas

2D	2 dimensões
3D	3 dimensões
ABGE	Associação Brasileira de Geologia de Engenharia
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AP	Área de Planejamento
BP	<i>Before Present</i>
COPPETEC	Coordenação de Projetos, Pesquisas e Estudos Tecnológicos
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
ESE	És-sudeste
Geo-Rio	Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro
GIS	<i>Geographic Information System</i>
GPR	<i>Ground Penetrating Radar</i>
GPS	<i>Global Position System</i>
GSIS	<i>Geoscientific Information System</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia Estatística
ICPD	Instituto CEUB de Pesquisa e Desenvolvimento
I-Data	<i>Interval Data</i>
IPP	Instituto Pereira Passos
LabGIS	Laboratório de Geoprocessamento
LAMMA	Laboratório de Avaliação, Monitoramento e Mitigação Ambiental
NBR	Norma Brasileira
NE-SW	Nordeste-Sudoeste
NW-SE	Noroeste-Sudeste
P-Data	<i>Point Data</i>
PUC-Rio	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
Rio Urbe	Empresa Municipal de Urbanização
RP	Região Administrativa
RTA	<i>Rough Terrain Antenna</i>
SAD69	<i>South American Datum</i> de 1969
SE-NW	Sudeste-Noroeste
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SW-NE	Sudoeste-Nordeste
T-Data	<i>Time Data</i>
UTM	<i>Universal Transversa de Mercator</i>
WGS84	<i>World Geodetic System</i> de 1984
WNW	Oés-noroeste