



**Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMA – RS Fundação
Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – FEPAM**

A1MC Engenharia e Projetos

**Zoneamento ambiental para a atividade de extração de areia no
lago Guaíba: sondagem de reconhecimento com recuperação de
testemunho**

Relatório técnico final

Porto Alegre
17 de Setembro de 2019

A1MC Engenharia e Projetos

Zoneamento ambiental para a atividade de extração de areia no lago Guaíba: sondagem de reconhecimento com recuperação de testemunho

Relatório Técnico Final apresentado ao SEMA e à FEPAM como parte dos requisitos necessários à conclusão dos serviços de sondagem de reconhecimento com recuperação de testemunho, realizados na área do lago Guaíba.

Emissão Inicial

Porto Alegre
17 de Setembro de 2019

RESUMO

O zoneamento ambiental voltado a atividades produtivas é um dos instrumentos enunciados na política estadual de meio ambiente, e é no entorno do lago Guaíba que ocorre a maior concentração populacional do Estado do Rio Grande do Sul. O presente trabalho refere-se a uma etapa desse processo para a atividade de extração de areia na região, visando não só o uso da água do lago, mas também a proteção dos ecossistemas e o uso racional dos recursos ambientais. Esta etapa consiste na sondagem de reconhecimento com recuperação de testemunho na região, realizando mapeamento, modelamento do pacote sedimentar depositado na área do lago, extraindo amostras para futuras análises químicas e granulométricas, e identificando o substrato rochoso estável e as camadas de solo encontradas. Através do método de sondagem SPT, adaptado conforme NBR 6486:2001, foram sondados 115 pontos espalhados em uma malha com um espaçamento regular de 2 quilômetros e, posteriormente, mais 11 em áreas de interesse específico, totalizando 378 amostras recolhidas para análise em laboratório, e 268 caixas de testemunho recuperado armazenadas para futuras exposições. Ainda nestes pontos, foram medidos - in loco - os parâmetros de qualidade da água, tais como temperatura, pH, condutividade, oxigênio dissolvido e potencial redox. A logística operacional consistiu na montagem de um tripé de sondagem sobre uma balsa, sendo guiada por uma lancha e um rebocador de apoio. A atividade foi essencial para a descrição do solo da região, determinando a espessura e estratigrafia do pacote sedimentar, bem como a discriminação da ocorrência dos sedimentos arenosos e dos finos. Os resultados obtidos compõem um rol de diretrizes que serão analisadas integralmente para a elaboração do zoneamento ambiental do Lago Guaíba, portanto este estudo servirá de base para outros, para que se possa ter conclusões ainda mais precisas sobre o caso. O que se pode adiantar, de uma visão geral, é que a região apresenta muitos materiais finos (silte e argila) ao longo de grande parte de sua extensão, sendo a maioria desses encontrados nas camadas de solo mais superficiais, enquanto os materiais predominantemente arenosos se situam em profundidades maiores.

Palavras-chave: Zoneamento Ambiental; Lago Guaíba; Sondagem de Reconhecimento; Recuperação de Testemunho.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 — Área estudada.	9
Figura 2 — Pontos inicialmente projetados.	13
Figura 3 — Conferência do GPS.	14
Figura 4 — GPS RTK minimizando as margens de erro.	16
Figura 5 — Lancha e balsa sendo adaptada.	17
Figura 6 — Balsa acoplada à lancha.	18
Figura 7 — Ilustração de um tripé de sondagem.	19
Figura 8 — Amostra F81 A1 subdividida para cada ensaio.	20
Figura 9 — Sub-amostra F14 A2 para ensaio de granulometria.	21
Figura 10 — Primeira entrega de amostras.	22
Figura 11 — Testemunho retirado do amostrador.	23
Figura 12 — Todas as 268 caixas de testemunho.	24
Figura 13 — Caixas de testemunho do furo 37.	25
Figura 14 — Identificação das profundidades e das amostragens na caixa.	26
Figura 15 — Equipe de sondagem em ação.	27
Figura 16 — Boletim de campo do furo 37.	28
Figura 17 — Relatório de sondagem do furo 37.	30
Figura 18 — Cadeia de custódia do furo 37.	31
Figura 19 — Medição dos parâmetros da água através da sonda.	32
Figura 20 — Localização das sondagens descritas no apêndice H.	34
Figura 21 — Modelo litológico 3D.	36
Figura 22 — Parte do mapa das isolinhas.	37

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	8
2.1 ÁREA ESTUDADA.....	8
2.2 OBJETIVOS.....	9
2.2.1 Objetivo principal	9
2.2.2 Objetivos secundários	10
2.3 EQUIPE TÉCNICA.....	10
2.4 JUSTIFICATIVA.....	10
2.5 PRODUTOS RESULTANTES.....	11
3 MATERIAIS, MÉTODOS E RESULTADOS	12
3.1 MALHA DAS COORDENADAS SONDADAS	12
3.1.1 Informações técnicas e metodologia adotada	13
3.1.2 Revisão e análise crítica dos pontos amostrados	15
3.2 LOGÍSTICA OPERACIONAL.....	17
3.3 AMOSTRAS E TESTEMUNHOS DO SOLO.....	19
3.3.1 Amostragens	20
3.3.2 Testemunhos de sondagem	22
3.4 LAUDOS DE SONDAGEM.....	26
3.4.1 Boletim de sondagem	27
3.4.2 Cadeia de custódia	31
3.5 PERFIS, MAPAS E MODELAGEM DO PACOTE SEDIMENTAR.....	33
3.5.1 Sondagens e perfis estratigráficos	33
3.5.2 Seções transversais	34
3.5.3 Modelagem do pacote sedimentar	35
3.5.4 Mapa de isolinhas	37
3.5.5 Mapeamento da espessura das camadas: mapa de isópacas	38
3.5.6 Mapeamento de distribuição das litologias	38
4 RESUMO DOS RESULTADOS	39
5 CONCLUSÃO	42
APÊNDICE A — COORDENADAS PROJETADAS X COORDENADAS SONDADAS	
APÊNDICE B — PROFUNDIDADES E RECUPERAÇÕES DE TESTEMUNHO POR FURO	
APÊNDICE C — CONTEÚDO DAS CAIXAS DE TESTEMUNHO	
APÊNDICE D — IMAGENS DAS CAIXAS DE TESTEMUNHO SEPARADAS POR FURO	
APÊNDICE E — RELATÓRIOS DE SONDAGEM.....	

APÊNDICE F — CADEIAS DE CUSTÓDIA	
APÊNDICE G — PERFIS DE SONDAGEM	
APÊNDICE H — INTERPRETAÇÕES ESTRATIGRÁFICAS	
APÊNDICE I — SEÇÕES TRANSVERSAIS	
APÊNDICE J — MAPA DAS ISOLINHAS	
APÊNDICE K — MAPA DAS ISÓPACAS	
APÊNDICE L — MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DAS LITOLOGIAS	
ANEXO A — APARELHAGEM DA NBR 6484:2001	
ANEXO B — PLANO DE AMOSTRAGEM BOP15768-18	
ANEXO C — ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DA SONDA SX 836	
ANEXO D — ART DOS SERVIÇOS PRESTADOS	

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho refere-se a uma etapa do processo de zoneamento ambiental para a atividade de extração de areia no lago Guaíba. Esta etapa consiste na sondagem de reconhecimento com recuperação de testemunho na região, realizando mapeamento, modelamento do pacote sedimentar depositado na área do lago, extraindo amostras para futuras análises químicas e granulométricas, e identificando o substrato rochoso estável e as camadas de solo encontradas.

A sondagem de solo é um procedimento essencial para conhecer as características do terreno, muitas vezes solicitada até mesmo antes da compra do mesmo, a fim de verificar se é viável economicamente a realização de um empreendimento no determinado local. Neste caso, a execução de sondagem consiste na aquisição de informações técnicas, de forma direta, essenciais para a caracterização geológica e modelagem do pacote sedimentar do lago, bem como para a especificação de áreas com maior fragilidade ambiental. Os dados obtidos integrarão a base que será utilizada na confecção do mapa de suscetibilidade a alterações na qualidade ambiental da área de estudo, com zoneamento escalonado das áreas mais e menos propícias a impactos negativos decorrentes da atividade de mineração de areia (escala 1:25.000), bem como para a determinação de diretrizes ambientais e recomendações técnicas. A sondagem servirá ainda para a obtenção das amostras que serão analisadas posteriormente em laboratório.

2. DIRETRIZES DA PESQUISA

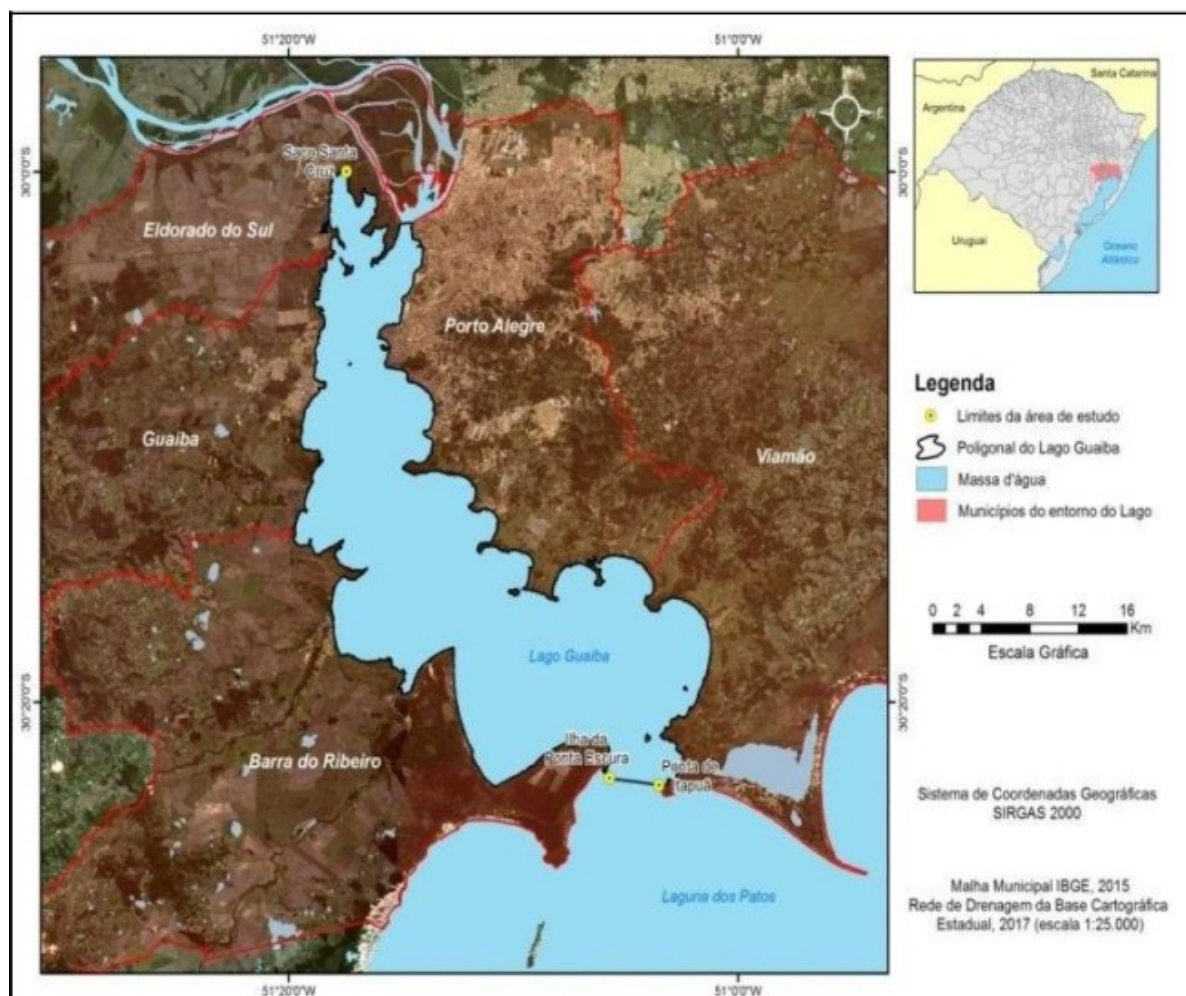
Um bom planejamento é fundamental para a obtenção de resultados expressivos. A seguir serão expostas as diretrizes que serão traçadas no trabalho, juntamente com sua proposta de metodologia, mostrando a questão a área estudada, os objetivos da pesquisa, a equipe técnica participante, a justificativa, e seus produtos resultantes.

2.1 ÁREA ESTUDADA

As sondagens e amostragens foram realizadas no espaço físico (área de estudo) ocupado pela área do lago Guaíba, com cerca de 496 km², conforme malha de sondagem com espaçamento regular, tendo como limite norte o Saco Santa Cruz e, como limite sul, a Ponta de Itapuã e a Ilha da Ponta Escura no encontro com a Laguna dos Patos. As coordenadas geográficas dos limites da área de estudo são:

- Norte
 - Saco Santa Cruz
Latitude: -29,999632°
Longitude: -51,290641°
- Sul
 - Ponta de Itapuã
Latitude: -30,384957°
Longitude: -51,059895°
 - Ilha da Ponta Escura
Latitude: -30,380781°
Longitude: -51,095629°

Figura 1 - Área estudada.



(fonte: termo de referência)

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo geral da pesquisa é realizar o zoneamento ambiental da região do lago Guaíba, para servir de base para atividades de extração de areia. Já como este trabalho é uma das etapas da pesquisa, o objetivo principal da sondagem é a extração e análise das amostras obtidas nesse procedimento, juntamente com a identificação das camadas de solo, dos níveis de água e do substrato rochoso estável em alguns pontos.

2.2.2 Objetivos secundários

Além da identificação dos materiais constituintes do solo, o trabalho também visa medir os parâmetros de qualidade da água de cada ponto de sondagem, assim como deixar os materiais resultantes - como relatórios e testemunhos - à disposição para futuras pesquisas na região.

2.3 EQUIPE TÉCNICA

A equipe responsável pelos serviços será composta pelos seguintes integrantes:

- Anderson Alex Santos: gerente;
- José Mauro Chevitarese: supervisor de contrato;
- Ana Mara Gonçalves de Souza: supervisor de contrato;
- Rafael Henrique Costa: engenheiro civil responsável técnico pelo contrato;
- Moisés de Campos Almeida: coordenador da logística de execução; controle de produção;
- Gustavo Monteiro Vieira: fiscal de execução e engenheiro de coparticipação; acompanhamento das amostragens e testemunhos, auxílio na logística e realização dos relatórios;
- Rafael da Silva: sondador; execução de sondagem em campo, coleta das amostragens, dados da sonda, e preenchimento dos boletins de campo;
- Gelson Gouvea: auxiliar de produção 1; auxílio nos serviços em campo;
- José Dias: auxiliar de produção 2; auxílio nos serviços em campo;
- Márcio Silva: mestre de sabotagem da embarcação;
- Cristiano Torelli: piloto fluvial;
- Éverson Guimarães: topógrafo; definição das malhas e coordenadas dos pontos, juntamente com um ajudante;
- Eliége Alves do Nascimento: geóloga; realização dos mapas, perfis e modelagens;
- Rosalia Barili: geóloga; realização dos mapas, perfis e modelagens.

2.4 JUSTIFICATIVA

A atividade é essencial para a determinação da espessura e estratigrafia do pacote sedimentar presente a partir do leito (fundo) do lago Guaíba, visando a identificação e discriminação de ocorrência de sedimentos arenosos (alvo da mineração) e sedimentos finos (silte e argila), bem

como o reconhecimento do substrato rochoso estável (*bedrock*) e determinação da composição química para avaliação de possível contaminação do substrato do Lago Guaíba, com execução de testes de toxicidade para avaliação do potencial de impacto biológico, com a finalidade de estabelecer o “Zoneamento Ambiental para atividade de extração de areia do lago Guaíba”.

2.5 PRODUTOS RESULTANTES

Os produtos resultantes deste serviço comporão um rol de diretrizes que serão analisadas posteriormente em uma análise integrada e elaboração do zoneamento ambiental do Lago Guaíba. São eles:

- a) Malha das coordenadas dos pontos executados;
- b) Amostragens de solo para análises químicas e granulométricas;
- c) Testemunhos de sondagem devidamente acondicionados;
- d) Laudos de sondagem com os parâmetros analisados em campo;
- e) Perfis estratigráficos interpretados a partir do levantamento efetuado;
- f) Modelagem do pacote sedimentar;
- g) Mapa de isolinhas das cotas da superfície do *bedrock*, referenciadas ao marégrafo de Imbituba, na escala 1:25.000;
- h) Mapa de isópacas do pacote sedimentar, na escala 1:25.000;
- i) Mapa de distribuição de todas as litologias identificadas em subsuperfície, na escala 1:25.000;
- j) Relatório técnico final (presente documento).

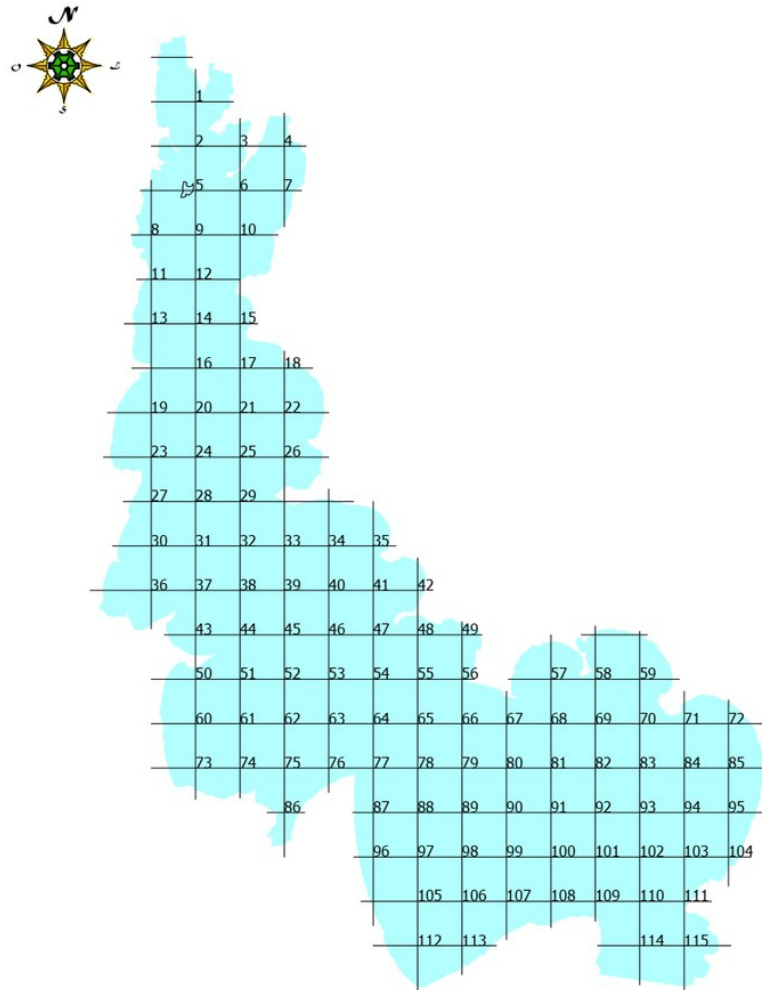
3. MATERIAIS, MÉTODOS E RESULTADOS

Ao longo do serviço, foi necessário implantar diversos métodos para que os resultados finais fossem atendidos. Neste capítulo será descrito todos estes métodos adotados, assim como os materiais utilizados em cada um. Visto que esses procedimentos estão diretamente ligados aos resultados, os mesmos também farão parte do capítulo, para aproveitar a linha de raciocínio em cada tópico para cada produto.

3.1 MALHA DAS COORDENADAS SONDADAS

Antes da realização do serviço em campo, foi necessário projetar uma malha para identificar quais seriam os pontos estudados ao longo da região de estudo. A presente seção tem a finalidade de descrever os materiais e métodos utilizados para a coleta das coordenadas dos pontos efetivamente sondados, bem como comparar com os projetados e explicar quaisquer deslocamentos ou margens de erro encontrados na realização do serviço.

Figura 2 - Pontos inicialmente projetados.



(fonte: elaborada pelo autor)

3.1.1 Informações técnicas e metodologia adotada

A malha inicial foi confeccionada utilizando a distância de 2 km entre os pontos (utilizando a projeção UTM Zona 22S) e transformação de coordenadas utilizando o datum SIRGAS 2000. Ela foi gerada à partir do modelo constante no termo de referência e elaborada à partir de interpolação de cartas topográficas e imagens de satélite, observando as diretrizes do referido termo. A determinação das linhas na direção Norte-Sul foram feitas respeitando o Norte verdadeiro das cartas, foi determinado uma linha central e à partir desta foram feitos offsets de 2.000 metros. A determinação das linhas sentido Leste-Oeste foram feitas à partir de uma linha

imaginária perpendicular às linhas Norte-Sul, partindo 2.000 metros à partir do ponto mais ao sul projeto, no caso a Ponta de Itapuã, e à partir deste foram traçados offsets de 2.000 metros.

Em campo, os pontos foram marcados através de um GPS da marca GarminGPSMap 421s (<https://buy.garmin.com/pt-BR/BR/p/102069>), e conferidos com um GNSS SpectraPrecision EPOCH 50 RTK (<http://spectra-precision-hrvatska.com/EPOCH-50-engleski.pdf>), de precisão horizontal 10 milímetros + 1PPM RMS. Este serviço foi realizado não só para verificar e ajustar as diferenças de precisão entre os dois equipamentos, mas também para melhor reconhecimento dos pontos a serem sondados, analisando os canais e já idealizando os possíveis deslocamentos necessários.

Figura 3 - Conferência do GPS.



(fonte: elaborada pelo autor)

Os equipamentos tiveram uma diferença pequena de precisão entre eles, de no máximo 10 a 15 metros de distância, que foi tratada como desprezível em um raio de dois quilômetros entre os furos de sondagem, portanto foi utilizado apenas o GPS da embarcação (Garmin) para dar prosseguimento aos serviços.

3.1.2 Revisão e análise crítica dos pontos amostrados

Já como este é um serviço que não consegue atingir uma precisão milimétrica, devido a influência de fatores externos (vento, tamanho da área, equipamentos, distância entre tripé de sondagem e sensor do GPS), os pontos foram revisados para minimizar – ao máximo – a margem de erro.

Foram verificados alguns casos com maiores diferenças entre os pontos projetados e efetivamente sondados, que são os que tiveram que ser deslocados devido ao elevado nível da lâmina d'água encontrada no local, o que é justificado pelos canais do Guaíba. Foi o caso dos furos 4, 54, 55, 78, 79 e 124, que tiveram deslocamentos de até 400 metros.

Os demais pontos foram realizados em uma distância máxima de 30 metros do projetado. Vale ressaltar que esta distância pode ser explicada pela seguinte soma de fatores: precisão do Garmin utilizado (10 a 15 metros); distância em campo entre o centro do tripé de sondagem e do sensor do GPS (5 a 8 metros); ventos e ondas deslocando a embarcação entre o tempo que o GPS sinaliza o local de parada e o tempo em que os funcionários ancoram a balsa com os pilões (2 a 5 metros); conversão (graus minutos e segundos para decimais), aproximação e reconversão das coordenadas geográficas (aproximadamente 1 metro). Estes fatores foram precisamente analisados e revisados para minimizar esta margem e acusar o ponto mais real possível.

Figura 4 - GPS RTK minimizando as margens de erro.



(fonte: elaborada pelo autor)

Fazendo uma análise mais crítica e técnica a respeito da variação das coordenadas destes pontos, percebemos que não há uma mudança muito significativa nas camadas do solo neste raio em que se situa a margem de erro. A profundidade de lâmina d'água também pode variar alguns centímetros, mas vale ressaltar que esta já apresenta mudanças diariamente ao longo do Guaíba. Dessa forma, podemos afirmar que as sondagens e demais ensaios realizados nestas novas coordenadas mantêm a credibilidade do serviço, dando sequência ao zoneamento da área.

A tabela comparando as coordenadas projetadas com as reais obtidas em campo se encontra no apêndice A.

3.2 LOGÍSTICA OPERACIONAL

Para que fosse possível realizar o serviço em campo com êxito, foi necessário fazer um planejamento da logística que seria implementada na execução.

A logística operacional contou com uma embarcação por balsa liberada pela marinha, com uma equipe de dois tripulantes habilitados a bordo, juntamente com um sondador e dois ajudantes para os serviços de sondagem, e esporadicamente mais um ou dois fiscais. Esta equipe ficou no lago diretamente entre uma e duas semanas. O tripé de sondagem foi montado sobre a balsa, que teve uma lancha com motor de popa e um rebocador de apoio.

Figura 5 - Lancha e balsa sendo adaptada.



(fonte: elaborada pelo autor)

A balsa foi totalmente adaptada para atender os serviços. O tripé de sondagem foi soldado sobre ela, foram montados dois pilões nas extremidades para servir como âncora no momento da execução dos furos, além da colocação de uma bancada com toldo e outros pequenos ajustes que proporcionaram mais organização e qualidade ao processo.

Os navegantes fizeram relatórios diariamente, e os dados obtidos em campo foram resumidos na cadeia de custódia ambiental fornecida pela NSF Bioensaios, de maneira a padronizar o processo e facilitar o entendimento entre escritório, laboratório e campo.

O ponto de partida e de retirada foram ambos na ilha das Pintadas, sendo o furo 6 o primeiro ponto de coleta das amostras, realizado no dia 30 de Janeiro de 2019, e o furo 116 o último, amostrado no dia 1º de Abril de 2019.

Figura 6 - Balsa acoplada à lancha.



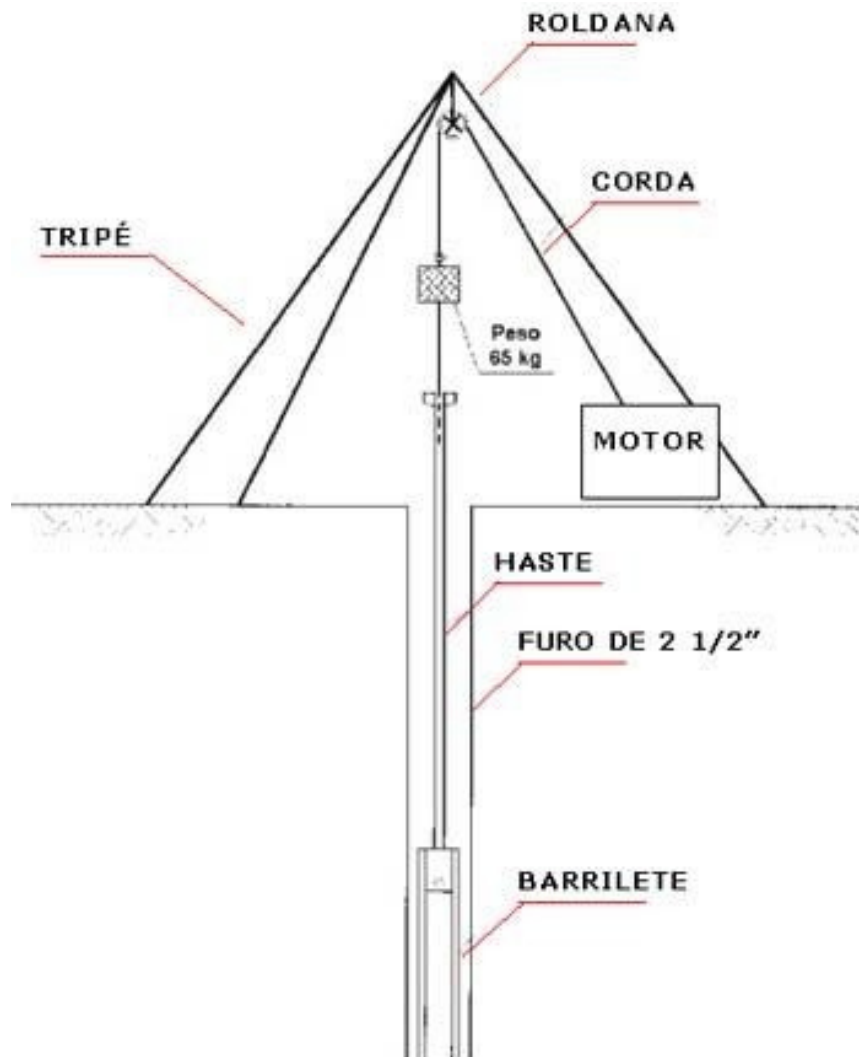
(fonte: elaborada pelo autor)

Todas as autorizações e concessões necessárias à tipologia de serviço foram adquiridas para que tudo estivesse dentro das normas da região.

3.3 AMOSTRAS E TESTEMUNHOS DO SOLO

A sondagem SPT é utilizada normalmente para medir a resistência dos solos, mas neste caso, já como não era o objetivo do estudo, ela serviu apenas para identificação e recolhimento do solo nos pontos observados. Para a extração das amostras e dos testemunhos do solo, o processo foi realizado com base na NBR 6484:2001, utilizando um amostrador padrão com ponteira adaptada para a coleta dos materiais no fundo do lago, e fazendo algumas variações no método de cravação, visto que o objetivo do ensaio não era exatamente o mesmo. As especificações técnicas dos equipamentos podem ser verificadas na norma, com as suas ilustrações inclusas no anexo A.

Figura 7 - Ilustração de um tripé de sondagem.



(fonte: site escola engenharia)

3.3.1 Amostragens

Em cada ponto sondado, foram retiradas três amostragens: a primeira (A1) na superfície do solo, a segunda (A2) normalmente em uma profundidade intermediária do furo, e a última (A3) no final da sondagem. Essas amostras pesavam quase uma quilograma e foram subdivididas em quatro sub-amostras, sendo cada uma armazenada em um frasco específico que seria destinado a um ensaio diferente em laboratório. Foram estes: análises de granulometria, de química orgânica/hidrocarbonetos e outros, ambiental/nutrientes/COD e outros, e de metais. Em oito pontos escolhidos pela FEPAM - 13, 14, 15, 20, 23, 24, 25 e 26 -, ainda foi coletada uma sub-amostra extra em cada superfície de solo (A1), para verificar a presença de dioxinas e furanos.

Figura 8 - Amostra F81 A1 subdividida para cada ensaio.



(fonte: elaborada pelo autor)

Essas amostras foram armazenadas em frascos disponibilizados pela NSF Bioensaios, acondicionadas em isopores com gelo artificial reutilizável (gelox), que estiveram mantidos em um refrigerador horizontal de chão em uma temperatura de 0 a 6°C, seguindo o Plano de Amostragem BOP15768-18, exposto no anexo B. Para atender as necessidades de cada ensaio, foi utilizada uma balança digital para verificar o peso de cada sub-amostra, conforme figura 9, que está considerando o peso do pote.

Figura 9 - Sub-amostra F14 A2 para ensaio de granulometria.



(fonte: elaborada pelo autor)

Os materiais foram repassados a empresa responsável pelos ensaios em alguns pontos de encontro, variando desde locais na zona sul de Porto Alegre, até a Ilha das Pintadas, dependendo sempre do local onde a embarcação estava, a fim de não parar o serviço, sendo todos eles entregues dentro do período de até 13 dias após a coleta, para que as propriedades do material se mantivessem até o estudo em laboratório. Foram realizadas 11 entregas e um total de 378 amostras e 1520 sub-amostras.

Figura 10 - Primeira entrega de amostras.



(fonte: elaborada pelo autor)

Para evitar a contaminação das amostras, o sondador utilizou luvas estéreis descartáveis e os equipamentos em contato com a água e o solo foram lavados entre cada retirada de material, tendo uma lavagem mais específica a cada 20 pontos coletados.

3.3.2 Testemunhos de sondagem

Um dos principais desafios do estudo era o de conseguir uma recuperação de acima de 90% do solo perfurado, e o resultado disso pode ser comprovado através dos testemunhos de sondagem. O apêndice B apresenta uma tabela com todas as porcentagens de recuperação.

Com a penetração do amostrador padrão e retirada a cada 65cm de profundidade alcançada, obteve-se uma representação física do terreno sondado de até 10,40 metros em cada ponto, exceto nos cinco primeiros pontos realizados - 6, 7, 9, 10 e 11 -, que tiveram penetrações a cada 60 centímetros e um total de 10 metros sondados, e nos seis furos - 15, 18, 29, 41, 55 e 119 - que atingiram o substrato rochoso estável antes. A porcentagem de alcance desse *bedrock* em 10% dos furos totais não foi atingida, pois nos demais pontos não foram encontrados indícios de rocha próxima ao limite de sondagem, muito menos casos de rocha aflorando.

Figura 11 - Testemunho retirado do amostrador.



(fonte: elaborada pelo autor)

Nos cinco primeiros pontos sondados houve uma grande dificuldade de recolher o testemunho pelo amostrador quando o mesmo atingia profundidades com camadas de areia muito compacta. Primeiro que ele não conseguia penetrar grande parte desse solo, e segundo que, quando ele era retirado, o furo desmoronava e a areia tapava o buraco. Nos boletins desses pontos, a recuperação foi nula nessas camadas, mas foi possível identificar o solo através da lavagem por trépano. Essas situações foram apresentadas à FEPAM, e foi decidido que nesses casos a sondagem poderia ser com o trépano, que perfura o solo com uma ponta, sem o amostrador, recolhendo o material puramente arenoso através da bica - que fica situada acima do

revestimento - e também com a ajuda de um balde, em casos mais extremos, para que se pudesse testemunhar todo o solo perfurado.

Os testemunhos foram acondicionados em caixas plásticas de 3 e de 4 bojos com tampa para armazenamento de testemunhos e mantidos à disposição por um período de 6 meses a partir do término dos serviços, até serem entregues a um dos centros de pesquisa científica da UFRGS, contando com um total de 268 caixas.

Figura 12 - Todas as 268 caixas de testemunho.



(fonte: elaborada pelo autor)

As caixas foram numeradas de 1 a 267 e cada uma possui uma nomenclatura identificada externamente, tanto em uma de suas faces laterais, quanto na tampa, deixando explícito qual furo e qual parte dele a caixa contém em seu interior. Houve um caso em que, para melhor organização, uma caixa foi dividida em duas, que foram identificadas como 81-A e 81-B. Para otimizar o espaço, algumas delas possuem partes de dois furos, que foram casos onde terminou um e começou outro. Os boletins de sondagem estão plastificados dentro das caixas de número 1 de cada respectivo furo, portanto - por exemplo - uma caixa que representa o final do furo 10 e início do 11, terá o boletim do ponto 11 amarrado por um lacre em seu interior.

Figura 13 - Caixas de testemunho do furo 37.



(fonte: elaborada pelo autor)

Dentro das caixas o perfil do solo inicia sempre da direita para esquerda, no sentido de cima para baixo. As profundidades referentes a cada 65 centímetros estão identificadas tanto nas laterais e quanto nos espaçadores, com caneta de tinta permanente da cor vermelha. As

manobras em que foram retiradas as amostras para laboratório estão identificadas com um asterisco (*A1, *A2 e *A3), comprometendo com o comprimento do testemunho nas caixas, visto que cada amostragem pesava quase uma quilograma.

Figura 14 - Identificação das profundidades e das amostragens na caixa.



(fonte: elaborada pelo autor)

O apêndice C apresenta uma tabela resumindo o conteúdo de cada caixa, facilitando a visualização e identificação dos testemunhos, e o apêndice D contém as fotos das caixas, separadas por furo sondado.

3.4 LAUDOS DE SONDAGEM

Seguindo com os produtos realizados em campo, foram disponibilizados para a equipe dois tipos de boletins a serem preenchidos, a fim de relatar os dados obtidos in loco: os boletins de sondagem, e as cadeias de custódia. O boletim foi feito pela própria empresa sondadora, já as cadeias foram fornecidas pelo laboratório, para que pudessem compatibilizar as informações na hora dos ensaios.

Figura 15 - Equipe de sondagem em ação.



(fonte: elaborada pelo autor)

3.4.1 Boletim de sondagem

Este boletim foi uma criação exclusiva da empresa, sendo baseado nos relatórios de sondagem SPT, contando com informações como o tipo de solo, coordenadas, nível da lâmina d'água, entre outras a serem explicadas abaixo, porém sem identificar a resistência do solo, visto que não era um dos objetivos da pesquisa.

Figura 16 - Boletim de campo do furo 37.

CLIENTE : FEPAM

OBRA : LAGO GUAÍBA

OBRA : 26 / 2018

COORDENADAS : _____

A1MC
Engenharia e Projetos
contato@a1mcengenharia.com.br

BOLETIM DE SONDAGEM A PERCUSSÃO TIPO SPT

INÍCIO: <u>14/02/19</u>	Lâmina d'água: <u>1,80 m</u>	SONDADOR: <u>Rafael</u>
TÉRMINO: <u>14/02/19</u>	Horário: das <u>6:10</u> às <u>9:30</u> h	FURO: <u>37</u>
BENTONITA: <u>não</u>	REVESTIMENTO: <u>12 m</u>	

MANOBRAS PERFORAÇÃO		RECUPERAÇÃO TESTEMUNHOS		AMOSTRAGENS		DESCRIÇÃO DO MATERIAL
de	a	RQD	AMOSTRA	PROF.		
(m)	(m)	(cm)	(nº)	Prof. (m)	(m)	
1,80	2,45	65	1	1,90	1,80	AREIA FINA PL/ARGILOSA cor cinza variado.
2,45	3,10	55				
3,10	3,75	59				
3,75	4,40	62			3,79	AREIA FINA cor cinza claro.
4,40	5,05	55				
5,05	5,70	65			5,12	AREIA FINA cor LARANJA.
5,70	6,35	59				
6,35	7,00	62	2			
7,00	7,65	65				
7,65	8,30	62				
8,30	8,95	59				
8,95	9,60	65				
9,60	10,25	65				
10,25	10,90	58				
10,90	11,55	54				
11,55	12,20	50	3	11,60		

(fonte: elaborada pelo autor)

Na figura 16 é possível verificar as informações a serem retiradas em campo. No cabeçalho observamos o logo da empresa sondadora (AIMC) e os dados da obra, assim como um espaço para preenchimento das coordenadas do ponto. Logo abaixo são identificados dias de início e término da perfuração, assim como as horas. A lâmina d'água era medida diretamente pelo GPS da lancha, e correspondia a distância vertical entre o espelho d'água e a superfície do solo no ponto. Vale ressaltar que o aparelho já considerava a diferença de calado da embarcação, que era de 50 centímetros, portanto os níveis já foram precisamente medidos no local, naquela determinada data.

Outras informações comuns encontradas nos boletins de sondagem SPT - e que fizeram parte do boletim criado - foram o nome do sondador, o número do furo, a quantidade de revestimento montado no ponto, e o uso ou não de bentonita. Já como esta substância provavelmente contaminaria as amostras, ela não foi utilizada. Na segunda metade do boletim, o item manobras de perfuração se refere a profundidade inicial e final de cada avanço e recolhimento do testemunho, iniciando sempre da profundidade identificada na lâmina d'água, e terminando 10,40 metros após, ou até encontrar o substrato rochoso estável. O comprimento da manobra foi de 65 centímetros, exceto para os cinco primeiros pontos sondados, conforme já mencionado. Na sequência aparece o comprimento de testemunho retirado do solo, utilizado para o cálculo da recuperação. Na coluna referente as amostragens, elas são numeradas de 1 a 3, sendo identificadas as profundidades iniciais de recolhimento destas amostras. Por fim, a descrição das camadas do solo, juntamente com suas profundidades de ocorrência.

Estas informações adquiridas foram fundamentais para a elaboração do documento base do contrato, que não só serviu de referência para os mapas, mas também resume todas as amostragens e testemunhos: o relatório de sondagem.

Figura 17 - Relatório de sondagem do furo 37.

CLIENTE : FEPAMOBRA : LAGO GUAÍBANº OBRA : 26 / 2018COORDENADAS LATITUDE/LONGITUDE : -30.224782436 / -51.285508692

A1MC ϕ
 Engenharia e Projetos
 contato@almcengenharia.com.br

BOLETIM DE SONDAGEM A PERCUSSÃO TIPO SPT

INÍCIO:	14/02/2019	LÂMINA D'ÁGUA:	<u>1,80</u> m	SONDADOR:	Rafael	
TÉRMINO:	14/02/2019	HORÁRIO:	das <u>06h10min</u> às <u>09h30min</u>	FURO:	37	
RECUPERAÇÃO TOTAL:	92,31%	REVESTIMENTO:	<u>12</u> m			
BOLETIM DE SONDAGEM A PERCUSSÃO TIPO SPT						
MANOBRAS PERFURAÇÃO		RECUPERAÇÃO TESTEMUNHOS E AMOSTRAGENS		DESCRIÇÃO DO MATERIAL		
de (m)	a (m)	REC (%)	AMOSTRA (nº)			Prof. (m)
1,80	2,45	100	37 - A1	1,90	1,80	Areia de granulometria fina, pouco argilosa, cor cinza variado
2,45	3,10	85				
3,10	3,75	91				
3,75	4,40	95			3,79	Areia de granulometria fina, cor cinza claro
4,40	5,05	85				
5,05	5,70	100			5,12	Areia de granulometria fina, cor laranja
5,70	6,35	91				
6,35	7,00	95	37 - A2	6,45		
7,00	7,65	100				
7,65	8,30	95				
8,30	8,95	91				
8,95	9,60	100				
9,60	10,25	100				
10,25	10,90	89				
10,90	11,55	83				
11,55	12,20	77	37 - A3	11,60	12,20	
12,20	12,85					LIMITE DE SONDAGEM
12,85	13,50					Solicitado pelo cliente (10m de solo).
13,50	14,15					
14,15	14,80					
14,80	15,45					

(fonte: elaborada pelo autor)

Como é observado na figura 17, o relatório é o boletim passado a limpo, contendo informações bem parecidas. Percebe-se que há uma diferença apenas na recuperação por camada, já que - em campo - o sondador preenchia com o comprimento do testemunho, e no relatório este dado aparece dividido pelo comprimento da manobra, como uma porcentagem, sendo apresentando também uma média das recuperações, mencionada como recuperação total. Outro fato para ser observado é a coloração das amostras, visto que as camadas foram descritas durante a sondagem, portanto alguns dos materiais encontrados nas caixas de testemunho podem estar com cores diferentes das dos relatórios, visto que na hora a amostra estava úmida e, conseqüentemente, mais escura. Os arquivos são encontrados no apêndice E.

3.4.2 Cadeia de custódia

A cadeia de custódia foi um documento exigido pelo laboratório, para sua própria utilização, a fim de contemplar todas as informações de campo necessárias para as análises das amostras. Estes documentos podem ser verificados no apêndice F.

Figura 18 - Cadeia de custódia do furo 37.

*Identificação da amostra (Será descrito em laudo analítico)		Temp. (°C)	Umidade (%)		pH	Profundidade (m)	Altitude (m)	Condutividade (µS/cm)	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Velocidade (m/s)	Legenda						Coordenadas	Nº do Item de SOP
												P - Projeto A - Amostra							
E 37 A1		6:22																	50 4 1
E 37 A2		7:56																	50 4 2
E 37 A3		9:21																	50 4 1
AGUA		9:35	23,8	4,83	7,2	250	716												AS 0 0

Observações durante a amostragem:

Legenda para preenchimento de MATRIZ:
 AA-ÁGUA | AB-ÁGUA BRUTA | AT-ÁGUA TRATADA | AS-ÁGUA SUPERFICIAL | ASB-ÁGUA SUBTERRÂNEA
 ASB-ÁGUA SUBTERRÂNEA | ASB-ÁGUA SUBTERRÂNEA | ASB-ÁGUA SUBTERRÂNEA | ASB-ÁGUA SUBTERRÂNEA | ASB-ÁGUA SUBTERRÂNEA
 ASB-ÁGUA SUBTERRÂNEA | ASB-ÁGUA SUBTERRÂNEA | ASB-ÁGUA SUBTERRÂNEA | ASB-ÁGUA SUBTERRÂNEA | ASB-ÁGUA SUBTERRÂNEA

*Amostragem Realizada Pelo: [] Técnico da NSF [] Cliente [] Outro (x) ASMC
 Transporte até o laboratório pelo responsável pela amostragem: [] Sim [x] Não

Nome do responsável pela amostragem: Rafael Assi
 Responsável pelo Acompanhamento da Amostragem: Gustavo Assi
 Transportado por: Assi
 Recebido por: Assi

Data/Hora entrega: _____
 Data/Hora recebimento: _____

www.nsf-bioenergia.com.br | 11-34936668 | rprosch@nsf.org | atendimento_cliente@nsf.org

(fonte: elaborada pelo autor)

O cabeçalho contém informações sobre o dia e suas condições climáticas, além de mencionar o cliente e o contrato, e o rodapé serviu como controle, para preenchimento do próprio laboratório. A primeira lacuna a ser preenchida é com o número do furo e sua amostra (A1, A2 ou A3), identificando a hora precisa das suas respectivas extrações.

Após as linhas referentes às amostras de solo, foram relatados os dados da amostra de água. Alguns dos produtos solicitados pelo termo de referência se encontram nas próximas colunas, tais como os parâmetros de qualidade da água (temperatura, pH, condutividade e oxigênio dissolvido), e a medida do potencial redox. Estes itens foram observados a partir de uma sonda multiparâmetros de modelo SX 836, sempre após o término das perfurações, e relatados na cadeia em uma linha após as amostragens. A água era coletada em um balde, e as medidas eram tiradas em um copo de vidro, com o líquido sempre sendo trocado a cada parâmetro observado. As especificações técnicas do aparelho podem ser encontradas no anexo C.

Figura 19 - Medição dos parâmetros da água através da sonda.



(fonte: elaborada pelo autor)

Na parte mais à direita da cadeia, são descritos a matriz, conforme legenda especificada pelo laboratório, o número de frascos entregues de cada amostra, e o número correspondente ao item do plano de amostragem BOP15768-18, para controle interno. O resto das colunas ficou para preenchimento do próprio laboratório.

3.5 PERFIS, MAPAS E MODELAGEM DO PACOTE SEDIMENTAR

Neste tópico serão apresentadas as metodologias empregadas para geração dos entregáveis indicados no termo de referência. Os dados recebidos para confecção de tais documentos incluíram as planilhas de descrição de campo, com indicação de profundidade e coordenadas das sondagens, os boletins de sondagens e os dados de cota da equipe de topografia. Além das metodologias apresentadas aqui, haverá uma breve descrição e sucinta interpretação dos tipos de sedimentos que predominam nos locais de cada sondagem descrita abaixo.

A seguir são listados os entregáveis, as metodologias empregadas e a interpretação realizada. Os entregáveis estão anexados ao trabalho.

3.5.1 Sondagens e perfis estratigráficos

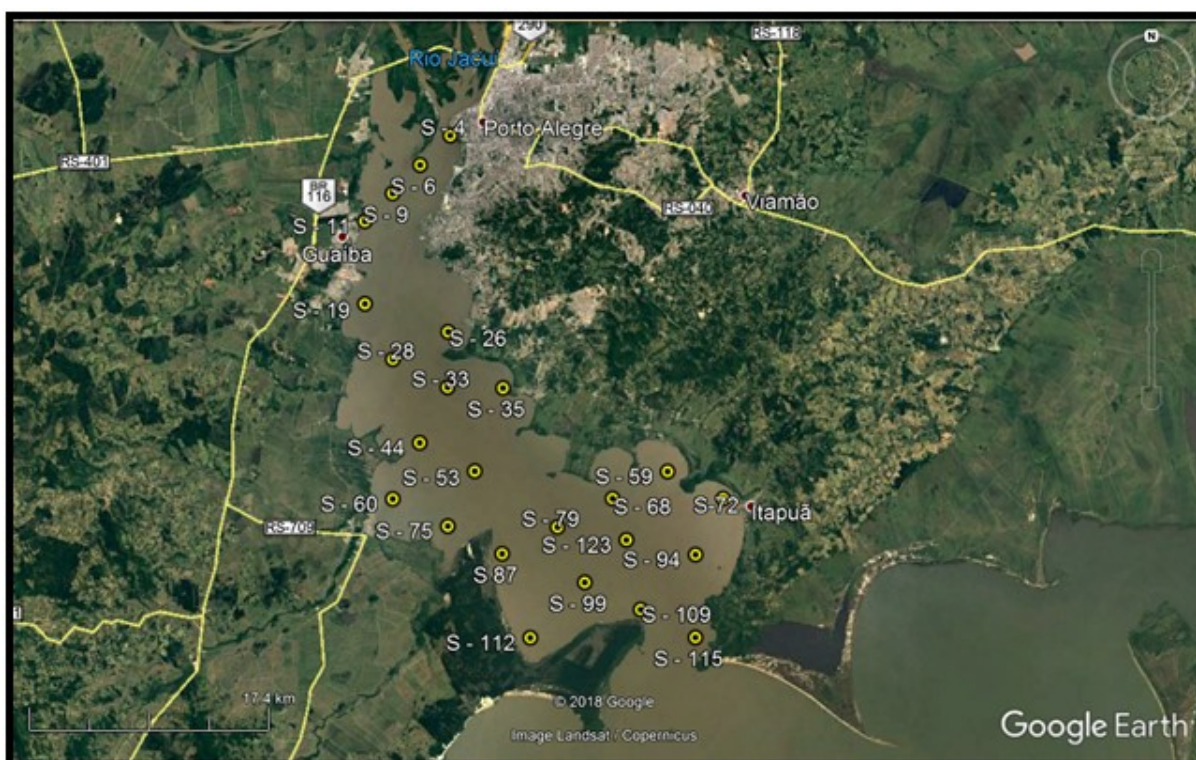
Para confecção dos perfis litológicos das sondagens foram utilizados os relatórios de sondagens que apresentaram dados referentes à profundidade, coordenadas geográficas e descrição das amostras realizadas em campo. Os perfis foram desenhados e redigidos com auxílio do Programa Adobe Illustrator CS5.1 e serão entregues em formato PDF. Posteriormente os dados de cota, fornecidos pela equipe de topografia, foram inseridos para auxiliar na correlação entre as camadas de sedimentos das sondagens.

Em relação à descrição dos sedimentos, foram realizadas verificações das amostras para conferir a descrição realizada em campo. Posteriormente algumas correções e agrupamentos foram realizados com o intuito de normalizar em classes mais amplas de dados para análise geoespacial. Os perfis de sondagem estão apresentados no apêndice G, identificando a variação granulométrica descrita ao longo do perfil.

A interpretação estratigráfica apresentada no apêndice H foi realizada com base em uma rápida análise de 24 sondagens escolhidas de forma que recobrissem toda a extensão da área do lago

Guaíba (figura 20). A descrição teve como objetivo principal a identificação de setores com características sedimentológicas e de deposição semelhantes. Além da interpretação sedimentológica/estratigráfica preliminar, as sondagens serviram de base e para os materiais produzidos neste trabalho, os quais sejam: os mapas, o modelo geológico e as seções transversais.

Figura 20 - Localização das sondagens descritas no apêndice H.



(fonte: elaborada pelo autor)

3.5.2 Seções transversais

Para um melhor entendimento da variação lateral das camadas de sedimento e de sua distribuição vertical, foram montadas seções transversais correlacionadas às sondagens.

Para confecção delas foram utilizados os dados de profundidade das camadas amarrados às cotas fornecidas pela equipe de topografia. As seções transversais iniciais foram feitas utilizando-se o alinhamento das sondagens perpendiculares ao fluxo do lago Guaíba, ou seja, alinhadas em SW- NE. Também foram feitas seções paralelas ao fluxo do lago Guaíba, no sentido NW- SE. As seções foram montadas através do programa Adobe Illustrator CS5.1 e serão entregues em formato PDF.

Para auxiliar na visualização dos dados, um exagero vertical foi aplicado, tendo em vista que a profundidade das sondagens é muito inferior do que o espaçamento entre as sondagens. Assim as seções têm um exagero vertical de 100x. As seções verticais, assim como os perfis de sondagem foram desenhados levando em conta as informações obtidas em campo, sejam elas de profundidade, cotas, e espaçamento entre os pontos sondados. Os arquivos se encontram no apêndice I.

3.5.3 Modelagem do pacote sedimentar

Foram gerados dois blocos/modelos geológicos 3D, um litológico e outro estratigráfico, sendo o modelo litológico subdividido em 5 outros modelos correspondentes à cada sedimento descrito. Na confecção, foi utilizado o software RockWorks 15 e os dados em Excel do relatório de sondagem. Os dados foram interpolados pelo método IDW (ponderação do inverso da distância) presente no RockWorks e posteriormente exportados para o formato shapefile.

O projeto foi criado clicando na guia pastas na parte superior do menu do Rockworks, onde foi salvo dentro da pasta MODELOS_3D_ROCKWORKS. Dentro desta pasta o RockWorks criou três arquivos: System; MODELOS_3D_ROCKWORKS.ldb e MODELOS_3D_ROCKWORKS.mdb. Para que o Rockworks funcione corretamente, os arquivos .ldb e .mdb tem que ter o mesmo nome que a pasta onde estão salvos.

O Rockworks trabalha apenas em UTM, portanto foi definido a projeção cartográfica para UTM WGS-84 (NAD-83) Zona UTM -22 hemisfério sul.

Foi importado um arquivo Excel contendo os dados de sondagens, formatado conforme o arquivo de exemplo do próprio software. Após a importação dos dados de poços, foi escaneado a localização de cada poço para gerar as dimensões do modelo 3D. A dimensão do modelo foi baseada nos dados das sondagens feitas.

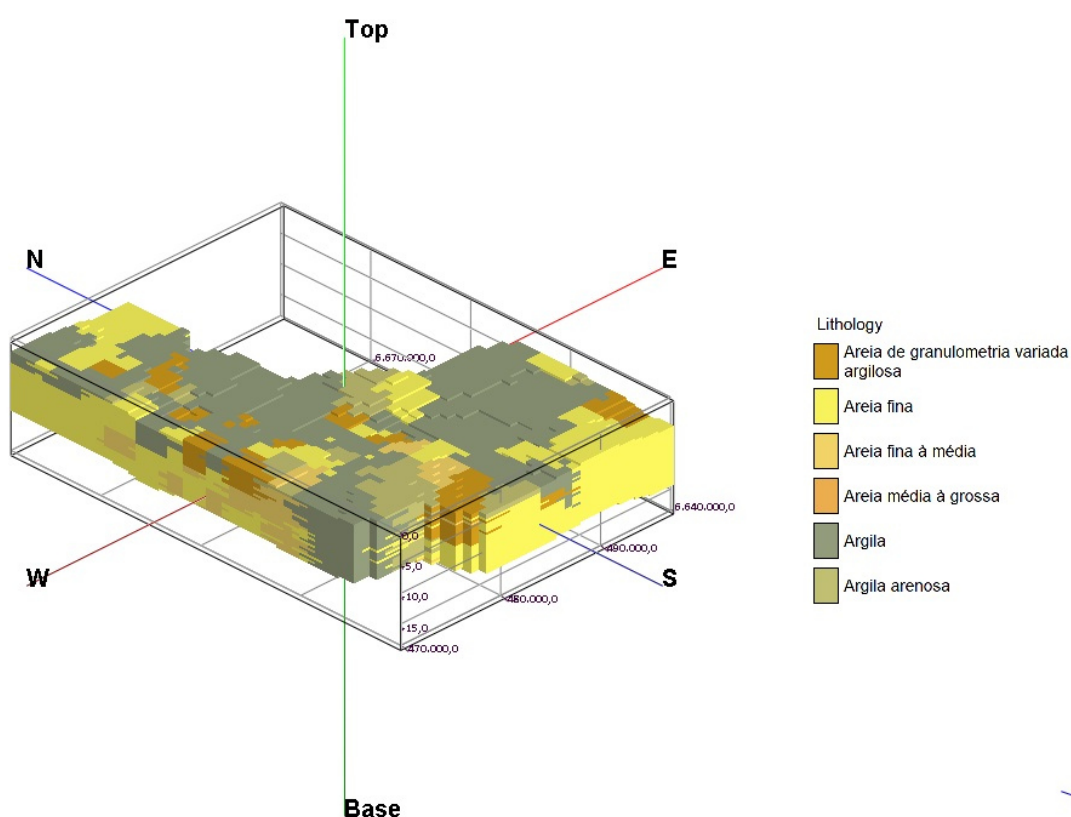
A primeira etapa realizada foi a criação de um mapa de localização dos pontos através da guia maps.

Os Poços em 3D foram gerados através da aba Striplogs/ Multiple Logs. Dentro da aba “3D Striplog Designer” tu pode seleccionar quais os tipos de dados dos poços que irão ser mostrados.

Para a geração do diagrama 3D da Litologia, foi selecionado os itens “title” e “lithology”. Para melhor visualização foi utilizado o recurso de exagero na aba “view”. Por fim, o arquivo foi salvo no formato .Rw3D.

Para geração do bloco litológico 3D, primeiramente foi editado o lithology types table para que cada litologia tivesse um G-values, cor e padrão únicos. O modelo foi criado acessando Lithology/ Model/ Create New model. A figura 21 ilustra o resultado, que apresenta toda a região estudada e desconsidera a lâmina d'água.

Figura 21 - Modelo litológico 3D



(fonte: elaborada pelo autor)

O arquivo .Rwmod criado é um arranjo numérico baseado nos G-values que representam a litologia interpolada em 3D. O método de interpolação pode ser definido no botão modeling option. Para esse trabalho foi selecionado o closest point option, onde pode ser criado o arquivo .Rw3D.

3.5.4 Mapa de isolinhas

As isolinhas foram criadas à partir da interpolação das alturas dos pontos criados à partir da soma da profundidade da batimetria com a profundidade da perfuração de sondagem, alturas estas referenciadas no nível médio dos mares.

A geração das curvas foi feita no *software* AutoCad Civil 3D e resultou no mapa das isolinhas, que se encontra no apêndice J.

Figura 22 - Parte do mapa das isolinhas.



(fonte: elaborada pelo autor)

3.5.5 Mapeamento da espessura das camadas: mapa de isópacas

O mapeamento da espessura das camadas foi confeccionado com o uso de informações das descrições associadas à localização das mesmas e suas espessuras. Os dados foram interpolados utilizando o IDW (ponderação do inverso da distância) como algoritmo no *software* ArcGis. Foram confeccionados 5 mapas referentes aos 5 tipos de sedimentos descritos na escala

1:25.000 subdivididos em conjuntos de 3 pranchas A0 - A, B e C. O mapa do sedimento “Areia média grossa” não foi gerado, visto que este é descrito apenas em um ponto, inviabilizando sua interpolação. Assim cada mapa, de determinado tamanho de sedimento, indica regiões de mesma espessura representando uma distribuição por valores iguais, e podem ser encontrados no apêndice K.

3.5.6 Mapeamento de distribuição das litologias

O mapeamento da ocorrência das camadas foi elaborado utilizando os dados de descrições litológicas associadas à localização das mesmas e suas cotas. Foram confeccionados 18 mapas na escala 1:25.000 subdivididos em conjuntos de 3 pranchas A0, cada qual correspondendo a uma cota de profundidade de 0 a -18m. O mapeamento das ocorrências litológicas descritas, e os polígonos delimitando estas foram feitos baseados na meia distância entre as sondagens com sedimentos diferentes em uma mesma camada. Desta forma, a sequência de mapas - observada no apêndice L - apresenta o fatiamento metro a metro do Lago Guaíba, evidenciando a posição estimada para cada tipo de sedimentos nestas camadas.

4. RESUMO DOS RESULTADOS

Em estudos apresentados por Bachi e Toldo (2000) foi realizada a caracterização do sedimento de fundo através da coleta de 187 amostras e estimados os percentuais de sedimentos de fundo e de matéria orgânica. Também foram geradas cartas classificando o sedimento segundo a sua textura e granulometria.

Os dados mostraram que, quanto mais próximo das margens, os percentuais de areia nas amostras aumentam e, quando se aproxima da região do canal de navegação, se encontram os maiores percentuais de silte e matéria orgânica.

O estudo aqui apresentado abrange 126 sondagens de reconhecimento e amostragens, contém uma malha regular ao longo de toda a área do Lago Guaíba (496 km²). Para cada sondagem foi definido um limite de 10 metros de sedimentos perfurados ou até o limite do impenetrável (*bedrock*).

De fato, os resultados são os arquivos gerados que se encontram nos apêndices.

O apêndice A demonstra um comparativo entre as coordenadas projetadas na malha inicial e as devidamente sondadas. A metodologia utilizada foi citada e explicada no item 3.1, resultando num total de 126 pontos.

O apêndice B é uma tabela resumindo as profundidades alcançadas em cada furo, juntamente com uma média. Nela pode ser facilmente observado quais os furos que encontraram o substrato rochoso estável (*bedrock*), que foram os que não chegaram nos 10 metros perfurados em solo. As recuperações de testemunho encontradas em cada furo, apresentando ainda um valor de recuperação total, calculado pela média dos furos. Devido à grande dificuldade da tarefa, alguns furos não alcançaram a profundidade estimada de 90%, mas a média geral foi de 95,42% de recuperação de todo o terreno estudado, cumprindo o objetivo. Nos cinco primeiros pontos sondados, como já foi citado no item 3.3.2, não foi possível penetrar com o amostrador nas camadas de areia muito compacta, portanto estas não entraram na conta da recuperação destes furos, apenas foram identificadas e devidamente caracterizadas para preenchimento do boletim

de sondagem. Vale ressaltar que estes casos foram solucionados após reunião com a FEPAM, e as demais camadas semelhantes foram testemunhadas.

O apêndice C contém uma tabela que facilita a identificação de cada caixa de testemunho, sendo numeradas de 1 a 267 - vale lembrar que são 268 unidades, devido ao caso do 81-A e 81-B. Ela relata quais são os pontos sondados contidos em cada estoque, juntamente com a numeração da caixa do furo e da profundidade testemunhada, contando ainda com a amostra para laboratório retirada em cada caixa, quando houver. Por exemplo: a caixa número 10 contém a caixa 1 do furo 5, que testemunha as profundidades sondadas de 2 a 7,20 metros, relatando que foram retiradas as amostragens A1 e A2 para os ensaios de laboratório; a caixa número 11 apresenta a continuação do furo 5, identificado pela caixa 2, com profundidades de 7,20 a 12,40 metros, contendo a amostragem A3. A última coluna é específica para observações julgadas necessárias para um melhor entendimento da tabela, para situações fora do padrão, como é o caso de quando o início ou final do furo se encontra em uma caixa de numeração afastada das outras partes, ou quando o relatório de sondagem não está na caixa 1 do respectivo ponto.

Todas as fotos das caixas de testemunho abertas estão no apêndice D, e foram separadas por furo sondado, portanto podem aparecer de uma a até quatro caixas em um só retrato. O início do testemunho sempre aparece na direita da imagem, e o final na esquerda, no sentido de cima para baixo. Vale ressaltar que elas são apenas ilustrações para se ter uma base, e dificilmente poderá servir para alguma comprovação. Para isto, as 268 caixas serão disponibilizadas a um dos centros de pesquisa da UFRGS.

O apêndice E contempla os relatórios de sondagem, identificando as amostragens, testemunhos e as camadas do solo em cada furo. As características do solo variaram bastante em cada ponto ao longo da área estudada, porém, de uma visão geral, a região apresenta muitos materiais finos (silte e argila) ao longo de grande parte de sua extensão, sendo a maioria desses encontrados nas camadas de solo mais superficiais, enquanto os materiais predominantemente arenosos se situam nas profundezas

Todas as 126 cadeias de custódia estão apêndice F. Com esses documentos, o laboratório pôde compatibilizar os resultados obtidos nos ensaios com os de campo. No final foi deixada uma linha para as medidas dos parâmetros de qualidade da água, tornando a cadeia ainda mais informativa para futuros estudos.

Os apêndices G e H deste trabalho descrevem as sondagens e os perfis do solo, onde foi possível identificar diferenças na caracterização dos sedimentos de fundo do Lago apresentada por Bachi e Toldo (2000). Isto ocorre devido à coleta das amostras mais profundas. Em função do tempo limitado para entrega e a quantidade de amostras disponíveis, foram selecionadas 24 sondagens para uma breve descrição e posterior caracterização e interpretação dos sedimentos observados, conforme apêndice H, seguindo uma ordem de acordo com a sua posição geográfica, ou seja, descritas da direção Sul para o Norte da área em estudo.

Os apêndices I, J, K e L se referem aos mapas citados ao longo da seção 3.5, e são autoexplicativos.

5. CONCLUSÃO

Além de recolher amostras para a realização de ensaios mais específicos em laboratório, a atividade também foi crucial para a discriminação da ocorrência de sedimentos arenosos (alvo da mineração) e de sedimentos finos (silte e argila). Ou seja, percebe-se que a pesquisa foi fundamental para o processo de zoneamento ambiental para a atividade de extração de areia no lago Guaíba, visto que foram relatadas informações técnicas essenciais para a caracterização geológica e modelagem do pacote sedimentar da região, permitindo a identificação das áreas com maior fragilidade ambiental.

Com base nas sondagens descritas, foi possível identificar que a grande maioria (com exceção de seis sondagens) apresenta perfis caracterizados por sedimentos finos (argila e silte) nos primeiros 4 metros (podendo haver pequenas variações na espessura de uma sondagem para outra) e que em direção a parte mais profunda das sondagens a predominância passa ser de sedimentos formados por grãos do tamanho areia e suas variações, desde areia muito fina a areia grossa, e que por vezes possui grânulos maiores identificados como minerais carreados de outras áreas fontes que circundam o lago.

Sabemos que são três as principais fontes de material que alimentam os sedimentos presentes no lago Guaíba, são elas: embasamento granítico-gnáissico de idades Proterozoicas que fazem parte do Escudo Sul-Riograndense, as Coberturas Sedimentares e Intrusivas Básicas do Paleozoico/Mesozoico pertencentes à Bacia do Paraná e as coberturas Sedimentares constituída por depósitos do Cenozoico.

A maior quantidade de material argilo-siltoso é proveniente da carga sedimentar trazida pelo aporte fluvial, através da ação das correntes e do fluxo das águas. Uma pequena fração arenosa também é trazida pelos rios, entretanto a maior parte fica retida na entrada do Guaíba. Apenas o material mais fino seja transportado em grande quantidade por suspensão para as outras áreas mais distais do lago.

Com relação à sedimentação do material fino fica evidenciada a sedimentação por decantação, em condições de baixa energia (pouca ação de ondas/correntes ou presença de barreiras físicas). Ocasionalmente, níveis de areia argilosa evidenciam um possível retorno de um transporte ativo

de sedimentos, que pode estar relacionado à entrada de material arenoso (quando o material é mais imaturo, com presença de feldspato e grânulos maiores e fragmento de rocha) ou ao retrabalho de sedimento inconsolidado mais antigo (quando predominantemente quartzoso).

Já o material arenoso presente em maiores profundidades no lago é característico das fácies sedimentares do sistema Barreira Lagunar I. Essas fácies são descritas por Villwock & Tomazelli (1995) como areias quartzo-feldspáticas avermelhadas, de granulação fina a média, muito bem arredondadas, semi-consolidadas e que, normalmente, apresentam um elevado conteúdo em matriz siltico-argilosa de origem diagenética. Esse sistema sofreu a influência de vários eventos transgressivo-regressivos que se sucederam durante o período Quaternário, e a cada novo ingresso marinho, parte da região era afogada, retrabalhando os depósitos ali existentes. Assim, o pacote sedimentar que se acumulou neste local reflete estes diferentes episódios envolvendo depósitos aluviais, lagunares, lacustres e paludiais de diversas idades.

Conforme a profundidade das sondagens analisadas aumenta é identificado um sedimento arenoso composto por quartzo de granulometria fina grãos bem arredondado e bem selecionados podendo estar relacionado a depósitos eólicos e de *backshore* do sistema laguna barreira.

A presença de fragmentos de conchas associados a estes depósitos arenosos, podem evidenciar a relação com depósitos relacionados a *shoreface* e *foreshore*. Quando inteiras as conchas podem ser definidas como de organismos bivalves, possivelmente moluscos, porém quando se encontram fragmentas não é possível identificar o tipo de organismo ou até mesmo o tipo de concha.

Em trabalhos anteriores, os sedimentos eólicos aqui entendidos como pertencentes à Barreira I foram mapeados como integrantes da Formação Itapoã de Delaney (1965), enquanto que a evolução paleogeográfica do Sistema Laguna- Barreira I durante o Quaternário foi apresentada por Jost (1971) e Arienti (1986).

O Sistema Lagunar Guaíba iniciou-se há aproximadamente 400ka e as diferentes composições dos sedimentos observados nas sondagens aqui descritas estão amplamente distribuídos ao longo de toda a área, porém é possível observar que quanto mais próximo às descargas das drenagens, maior a presença de sedimentos mais grosseiros característico principalmente de outras áreas fontes e ainda pouco retrabalhados na dinâmica do lago.

Um estudo mais aprofundado se faz necessário para um melhor entendimento das relações destas camadas, com a identificação de fácies bem definidas, bem como de estruturas sedimentares. Esse estudo mais detalhado também auxiliará na identificação dos organismos que deram origem aos fragmentos de conchas e conchas inteiras encontradas, bem como a identificação de outros constituintes biológicos (pólen, esporos, ostracodes, foraminíferos, etc.), auxiliando na interpretação estratigráfica.

A partir dos dados obtidos, poderão ser determinadas diretrizes ambientais e recomendações técnicas, assim como outros mapas informativos da região poderão ser realizados, como - por exemplo - o de suscetibilidade a alterações na qualidade ambiental do lago. Todos esses resultados comporão um rol de diretrizes que serão analisadas integralmente para a elaboração do zoneamento ambiental do lago Guaíba, portanto este estudo servirá de base sólida para outros, para que se possa dar seguimento no estudo de viabilidade de extração de areia na região, e ter conclusões ainda mais precisas sobre o caso.

Como este trabalho é apenas uma parte de todo um processo a ser feito, pode-se dizer que os objetivos foram alcançados e as expectativas foram superadas, visto que era um grande desafio para todos. Espera-se que a pesquisa sirva de estímulo para muitas outras, não só na área estudada, mas também em outras regiões que necessitam de um zoneamento ambiental, para que os ecossistemas fiquem mais protegidos, os recursos minerais sejam utilizados de maneira cada vez mais racional, e o meio ambiente ganhe sua devida importância no país.