



FELIPE BALIEIRO GASPARINI

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS AMBIENTAIS E ANTRÓPICOS
SOBRE A DINÂMICA DE AQUÍFEROS ESTUARINOS: ESTUDO DE CASO EM ÁREA
INDUSTRIAL, CUBATÃO/SP**

CAMPINAS

2014



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

FELIPE BALIEIRO GASPARINI

**“ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS AMBIENTAIS E ANTRÓPICOS
SOBRE A DINÂMICA DE AQUÍFEROS ESTUARINOS: ESTUDO DE CASO EM ÁREA
INDUSTRIAL, CUBATÃO/SP”**

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Sueli Yoshinaga Pereira

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA AO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DA UNICAMP NO PROGRAMA DE GEOCIÊNCIAS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO
DE MESTRE EM GEOCIÊNCIAS NA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO GEOCIÊNCIAS E
RECURSOS NATURAIS**

**ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA
DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ALUNO FELIPE BALIEIRO
GASPARINI ORIENTADO PELA PROF^a. DR^a. SUELI YOSHINAGA
PEREIRA**

CAMPINAS

2014

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca do Instituto de Geociências
Cássia Raquel da Silva - CRB 8/5752

G213a Gasparini, Felipe Balieiro, 1989-
Análise da influência de parâmetros ambientais e antrópicos sobre a dinâmica de aquíferos estuarinos : estudo de caso em área industrial, Cubatão/SP / Felipe Balieiro Gasparini. – Campinas, SP : [s.n.], 2014.

Orientador: Sueli Yoshinaga Pereira.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1. Hidrogeologia. 2. Estuários - Cubatão (SP). 3. Cubatão (SP) - Aspectos ambientais. I. Pereira, Sueli Yoshinaga, 1961-. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Geociências. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Analysis of the influency of environmental and anthropic parameters on estuarine aquifers dynamic : case study on a industrial area, Cubatao/SP

Palavras-chave em inglês:

Hydrogeology

Estuaries - Cubatão (SP)

Cubatão (SP) - Environmental aspects

Área de concentração: Geologia e Recursos Naturais

Titulação: Mestre em Geociências

Banca examinadora:

Sueli Yoshinaga Pereira [Orientador]

Alexandre Campana Vidal

Silvia Cremonez Nascimento

Data de defesa: 14-08-2014

Programa de Pós-Graduação: Geociências



UNICAMP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS NA
ÁREA DE GEOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**

AUTOR: Felipe Balieiro Gasparini

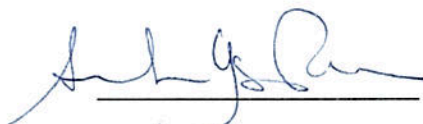
**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS AMBIENTAIS E ANTRÓPICOS
SOBRE A DINÂMICA DE AQUIFEROS ESTUARINOS: ESTUDO DE CASO EM
ÁREA INDUSTRIAL, CUBATÃO/SP**

ORIENTADORA: Profa. Dra. Sueli Yoshinaga Pereira

Aprovado em: 14 / 08 / 2014

EXAMINADORES:

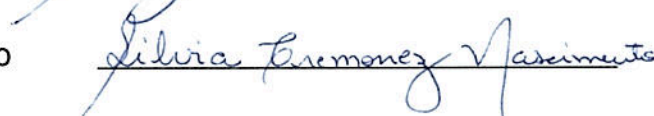
Profa. Dra. Sueli Yoshinaga Pereira

 - Presidente

Prof. Dr. Alexandre Campana Vidal



Profa. Dra. Silvia Cremonez Nascimento



Campinas, 14 de agosto de 2014

Aos meus pais, Reinaldo e Eloá,
e irmã Daniela

AGRADECIMENTOS

Registro meus agradecimentos as pessoas e entidades, sem as quais a realização desta dissertação não seria possível.

A Prof^a. Dr^a. Sueli Yoshinaga por ter acreditado em meu potencial e me orientado por todo o processo de desenvolvimento desta dissertação, pela amizade, paciência e ainda pelo exemplo de profissionalismo e dedicação à pesquisa.

Ao Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas, pela infra-estrutura fornecida e oportunidade de realização deste estudo.

Ao Eng. Paulo Negrão, pelo grande caráter e amizade, que possibilitaram o início do meu histórico acadêmico e por todo o suporte e ensinamentos oferecidos para a realização desta dissertação.

Ao Dr. Robert W. Cleary, por permitir o desenvolvimento desta pesquisa e pelo compartilhamento de seus conhecimentos e experiências relacionados aos temas abordados nesta dissertação.

A Servmar Serviços Técnicos Ambientais Ltda., em particular à M.Sc. Geól^a Aline Bernice, por compreender que o estudo é parte essencial para a formação de um bom profissional, e por todas as horas cedidas para o desenvolvimento desta pesquisa. Também um agradecimento a todos os colegas pelos esclarecimentos e revisões de temas mais específicos.

Ao Eng. Valter Leite e M.Sc. Cristiano Leonardo pelo grande companheirismo e suporte durante os serviços realizados em campo.

Aos meus tios Dr. Ronaldo e Rose Morato e a M.Sc. Waldener Endo pela grande ajuda e compartilhamento de experiências para o refinamento da base estatística desta dissertação.

A minha avó Hilda Gasparini (*in memoriam*), por me ensinar que a família é o que temos de mais valioso para nos ajudar a vencer quaisquer desafios.

*“Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa,
nunca tem medo e nunca se arrepende”.* (Leonardo Da Vinci)

SÚMULA CURRICULAR

Felipe Balieiro Gasparini

É engenheiro ambiental (2011) pela Faculdade Oswaldo Cruz, com o trabalho de conclusão de curso focado no comportamento hidrogeológico de substâncias organocloradas no manto de intemperismo e aquíferos fraturados na cidade de Diadema (SP). Em 2012 iniciou seu programa de mestrado na Universidade Estadual de Campinas, abordando o estudo de caso em uma área industrial de Cubatão (SP), com a análise da influência de parâmetros ambientais e antrópicos sobre a dinâmica de aquíferos estuarinos.

Trabalha desde 2008 na empresa de consultoria ambiental Servmar Serviços Técnicos e Ambientais Ltda., como consultor ambiental com experiência na área de hidrogeologia e engenharia ambiental, com ênfase em gerenciamento de áreas contaminadas.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS AMBIENTAIS E ANTRÓPICOS
SOBRE A DINÂMICA DE AQUIFEROS ESTUARINOS: ESTUDO DE CASO EM ÁREA
INDUSTRIAL, CUBATÃO/SP**

RESUMO

Dissertação de Mestrado

Felipe Balieiro Gasparini

O estudo hidrogeológico de aquíferos estuarinos em áreas industriais apresenta complexidade em seu entendimento devido às interações físicas naturais e/ou antrópicas que interferem na sua dinâmica, tais como as flutuações da maré, alterações do regime de rios, mudanças sazonais das chuvas, e os sistemas de remediação instalados nas áreas impactadas. A presente dissertação visa, portanto, caracterizar os tipos de aquíferos e a dinâmica das águas subterrâneas em um ambiente estuarino adjacente ao rio Cubatão situado no município de Cubatão/SP, em uma área sob influência da maré e processos industriais. A pesquisa abordou os seguintes estudos: (1) caracterização e levantamento do histórico do uso da área pela indústria; (2) caracterização da geometria e monitoramento das águas dos aquíferos locais; (3) análise do monitoramento dos parâmetros climáticos como pressão e temperatura do ar atmosférico e intensidade das chuvas, e; (4) monitoramento hidrológico e da influência da maré oceânica no rio Cubatão. O comportamento dos aquíferos (livre e confinado) e do rio Cubatão foi monitorado nos períodos chuvoso (novembro de 2012 a janeiro de 2013) e pouco chuvoso (julho e outubro de 2013). Em síntese, os resultados não indicaram influência das chuvas na recarga do aquífero livre. No entanto, existe uma forte relação entre o aquífero livre, as alturas da maré oceânica no rio Cubatão e a injeção de ar pelo sistema de remediação. Há o predomínio da dinâmica natural do rio Cubatão, seja em períodos de vazante como de cheia. O trecho do rio Cubatão na área pesquisada é influente em relação ao aquífero livre, devido a relação da curvatura desse e à diferença das cargas hidráulicas entre o rio e o aquífero, excetuando os momentos de operação do sistema de remediação do módulo mais próximo. Os valores de condutividade elétrica apresentam-se similares entre o rio Cubatão e o aquífero livre, e baixos nas águas do aquífero confinado, indicando a influência do rio com o aquífero no primeiro caso e a descarga de águas doces regionais no segundo. Este trabalho contribuiu para o melhor entendimento da dinâmica das águas subterrâneas em aquíferos estuarinos sob forte influência de condicionantes externas, como variação do rio e da maré e operações de atividades antrópicas (sistemas de remediação de contaminantes).

Palavras-chave: Hidrogeologia. Aquíferos estuarinos. Rio Cubatão.



**UNIVERSITY OF CAMPINAS
INSTITUTE OF GEOSCIENCE**

**ANALYSIS OF THE INFLUENCY OF ENVIRONMENTAL AND ANTHROPIC
PARAMETERS ON ESTUARINE AQUIFERS DYNAMIC: CASE STUDY ON A
INDUSTRIAL AREA, CUBATAO/SP**

ABSTRACT

Masters Degree

Felipe Balieiro Gasparini

The complexity of hydrogeological studies of estuarine aquifers on industrial areas is due to natural and/or anthropogenic physical interactions that interfere on its dynamics, such as tide fluctuation, changes in the state of rivers, seasonal rain variation rates, and remediation systems installed on impacted areas. This work aimed to characterize the aquifer types and the groundwater dynamics on a estuarine environment adjacent to Cubatao river, located on Cubatao city (Sao Paulo State, Brazil), on an area influenced by tides and industrial processes. The research approached the following topics: (1) characterization and survey of the area's historical use by the industry; (2) hydrogeological characterization and monitoring of the local aquifers; (3) climate parameters analysis, as pressure and temperature of the atmospheric air and rain intensity; and (4) monitoring of the hydrology and the tide influence over Cubatao river. The behavior of the unconfined and confined aquifers and the Cubatao river was monitored on rainy (November of 2012 to January of 2013) and less rainy (July and October of 2013) periods. In summary, the results indicated no rain influence on the unconfined aquifer recharge. However, there is a strong relation between the unconfined aquifer, the oceanic tide heights on Cubatao river and the air injection by the remediation system at the industry plant. Nonetheless, the influence of natural dynamics on the Cubatao river prevail, whether in periods of high or low tides. The stretch of the Cubatao river at the study area is characterized as a losing river in relation to the unconfined aquifer, due to its curvature and the hydraulic head difference between the river and the aquifer, except during operational moments of the nearest module of the remediation system. Moreover, the electrical conductivity values were similar between the Cubatao river and the unconfined aquifer, and lower on the confined aquifer waters, indicating the river influence over the aquifer on the first case and the discharge of fresh regional water on the second. Finally, this research contributed to improve the understanding of estuarine aquifers dynamics under strong influence of external factors, such as river and tide variation and anthropic activities (contaminant remediation systems) operation.

Keywords: Hydrogeology. Estuarine aquifers. Cubatao river.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	OBJETIVOS.....	3
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
3.1	Aquíferos Sedimentares Estuarinos	5
3.2	Análise correlacional das variáveis selecionadas	11
4	MATERIAIS E MÉTODOS	13
4.1	Revisão bibliográfica	13
4.2	Descrição da área de estudo	14
4.3	Fisiografia regional	18
4.3.1	Aspectos climáticos	18
4.3.2	Hidrologia	18
4.3.3	Geologia.....	20
4.3.4	Hidrogeologia	24
4.4	Determinação dos parâmetros físicos.....	25
4.5	Características do sistema de remediação	26
4.6	Critério de seleção dos poços	27
4.6.1	Baterias de Poços de Observação (OW)	31
4.6.2	Poços de Monitoramento Profundos (DW).....	31
4.6.3	Poços de Injeção de Ar (SW) e Extração de Vapores (SVE)	32
4.6.4	Poços de Monitoramento Multinível (CMT [®])	33
4.6.5	Bateria de Poços de Monitoramento Multinível (PMN).....	33
4.7	Levantamento e tratamento dos parâmetros físicos	34

4.7.1	Campanhas de monitoramento contínuo.....	34
4.7.2	Determinação dos parâmetros hidrogeológicos	41
4.7.3	Monitoramento dos níveis de água e condutividades elétricas dos aquíferos	43
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
5.1	Geometria dos aquíferos.....	45
5.2	Comportamento hidrodinâmico dos aquíferos	49
5.2.1	Dados climáticos.....	50
5.2.2	Dados hidrológicos	51
5.2.3	Dados hidrogeológicos.....	62
6	CONCLUSÕES.....	85
7	REFERÊNCIAS.....	87
	ANEXO 1 Perfis litológico-constitutivos e seções hidrogeológicas	93
	ANEXO 2 Matrizes dos coeficientes de correlação (ρ de Pearson)	127
	ANEXO 3 Relatório das medições com o ADCP (programa de computador River Surveyor Live)	133
	ANEXO 4 Resultados das condutividades hidráulicas (programa de computador Aquifer Test).....	141
	ANEXO 5 Mapas potenciométricos e gradientes das condutividades elétricas da água subterrânea	151

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Sistema hipotético de planície fluvial com a interação entre corpos de água superficiais e subterrâneos	8
Figura 4.1 — Localização da área de estudo	14
Figura 4.2 — Croqui da área total do empreendimento em estudo e disposição do trecho adjacente do rio Cubatão.....	16
Figura 4.3 — Croqui da área de estudo com a localização das antigas lagoas de resíduos.	17
Figura 4.4 — Bacia do rio Cubatão	19
Figura 4.5 — Geologia regional do Município de Cubatão.....	21
Figura 4.6 — Carta de Unidades básicas de compartimentação. Escala 1:25.000	22
Figura 4.7 — Croqui esquemático dos parâmetros considerados.....	25
Figura 4.8 — Croqui detalhado da área de estudo com a disposição dos poços	29
Figura 4.9 — Distribuição dos equipamentos e localização dos trechos das travessias.....	40
Figura 5.1 — Disposições dos cortes para as seções geológicas.....	45
Figura 5.2 — Mapeamento do leito do rio Cubatão no Trechos 01, 02 e 03.....	57
Figura 5.3 — Análise do regime e da estrutura do leito do rio Cubatão em períodos de cheias da maré.....	60
Figura 5.4 — Gráficos de contorno das velocidades absolutas de escoamento do rio Cubatão no Trecho 01	61
Figura 5.5 — Relação de zonas de recarga e descarga no aquífero livre (11/10/2013 – Módulo 03 inoperante).....	79
Figura 5.6 — Sistema de contribuição entre o rio Cubatão e os aquíferos locais	81
Figura 6.1 — Fluxograma da interação entre os parâmetros considerados	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 — Relação de poços de monitoramento selecionados para o levantamento de dados hidrogeológicos	28
Tabela 4.2 — Relação entre condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos.....	36
Tabela 4.3 — Poços selecionados para o levantamento dos níveis de água de acordo com as porções dos aquíferos locais	44
Tabela 5.1 — Resultados das condutividades hidráulicas obtidas	62
Tabela 5.2 — Interpretações dos resultados dos gradientes hidráulicos e velocidades lineares médias obtidas na primeira campanha de monitoramento contínuo em função da operação do sistema de remediação	73
Tabela 5.3 — Cargas hidráulicas e condutividades elétricas dos aquíferos monitorados (11 a 13/10/2013)	77
Tabela 5.4 — Relação de fluxos verticais e zonas de recarga/descarga do aquífero livre (11/10/2013 – Módulo 03 inoperante)	78
Tabela 5.5 — Relação de fluxos verticais entre os aquíferos livre e confinado (11/10/2013 – Módulo 03 inoperante).....	80

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 5.1 — Diagrama de caixa das pressões atmosféricas entre as campanhas de monitoramento contínuo	50
Gráfico 5.2 — Diagrama de caixa das oscilações dos níveis superficiais do rio Cubatão ..	51
Gráfico 5.3 — Inter-relação entre a variação da altura de maré e o nível superficial do rio Cubatão (22/11/2012 a 03/01/2013 e 05 a 08/07/2013).....	53
Gráfico 5.4 — Inter-relação entre o nível superficial e a condutividade elétrica do rio Cubatão (22/11/2012 a 03/01/2013 e 05 a 08/07/2013).....	56
Gráfico 5.5 — Registro das condições da altura da maré em relação ao período de execução de cada travessia (05 a 08/07/2013).....	57
Gráfico 5.6 — Comparação das cargas hidráulicas dos poços monitorados com o índice pluviométrico registrado (22/11/2012 a 03/01/2013 e 05 a 08/07/2013)	64
Gráfico 5.7 — Comportamento das cargas hidráulicas do conjunto de poços PMN-02 frente ao funcionamento do sistema de remediação (10 a 17/12/12).....	65
Gráfico 5.8 — Inter-relação entre a variação das cargas hidráulicas do poço PMN-02A e o nível superficial do rio Cubatão (22/11/2012 a 03/01/2013 e 05 a 08/07/2013)	67
Gráfico 5.9 — Inter-relação entre as cargas hidráulicas do PMN-02A e níveis superficiais e vazões do rio Cubatão (05 a 08/07/2013)	68
Gráfico 5.10 — Diagramas de caixa das cargas hidráulicas registradas em ambas as campanhas de monitoramento contínuo.....	69
Gráfico 5.11 — Variação das velocidades lineares médias nas porções superior e inferior do aquífero livre.....	72
Gráfico 5.12 — Inter-relação entre as velocidades lineares médias das porções superior e inferior do aquífero livre e velocidades de escoamento do rio Cubatão (05 a 07/07/2013)	72
Gráfico 5.13 — Comportamento das velocidades lineares médias em relação às cargas hidráulicas do PMN-02A e PMN-04A da porção inferior do aquífero livre (10 a 17/12/12)	75

Gráfico 5.14 — Registro das condições da altura da maré em relação ao período de execução de cada monitoramento (11 a 13/10/2013)	76
---	----

1 INTRODUÇÃO

A cidade de Cubatão foi fundada em 1833, quando o povoado de Porto Geral de Cubatão foi elevado à categoria de município (TORRES; BRAGA; BORGES, 2002). Esta passou a se desenvolver industrialmente a partir de 1920, devido à relativa abundância de água proveniente das bacia hidrográfica do rio Cubatão e à presença da atual Usina Hidrelétrica Henry Borden, que foi nomeada inicialmente de Usina Hidrelétrica de Cubatão (CETESB, 1983). Logo após este período, entre 1950 e 1960, surgiram dois fatores que permitiram um grande avanço no desenvolvimento do Polo Industrial de Cubatão, entre eles estão as construções da Refinaria Presidente Arthur Bernardes e a conclusão da obra da Rodovia Anchieta. Com a expansão industrial em 1980, Cubatão presenciou um grave cenário de poluição atmosférica e das águas superficiais, sendo implementadas pelo Governo do Estado de São Paulo em 1980 e 1990 diversas medidas de controle ambiental. O mapeamento das fontes de contaminação constatou a presença de grandes quantidades de contaminantes industriais no subsolo e nas águas subterrâneas (CETESB, 1983).

A realização do estudo hidrogeológico em uma área industrial de Cubatão é complexa devido às interações físicas e químicas que operam em larga escala em estuários, tais como: (1) as flutuações da maré (diretamente relacionadas as distintas fases da Lua) exercidas pelo oceano e sua consequente influência no rio Cubatão; (2) variações sazonais (ou frentes das chuvas); (3) a descarga de efluentes industriais nos corpos de água superficiais como a Usina Hidrelétrica Henry Borden (águas provenientes do reservatório Billings), localizada a montante da área de estudo, como também; (4) as atividades de recuperação ambiental exercidas para remediar contaminações antrópicas no local de estudo.

O estudo hidrogeológico detalhado em estuários é importante no sentido de caracterizar como as influências externas (parâmetros físicos), aplicadas no comportamento dos aquíferos locais, afetam a dinâmica das possíveis fontes e plumas de contaminação, levando em consideração que grande parte dos trabalhos nacionais e internacionais, são relacionados ao estudo do comportamento de corpos de água superficiais. Desse modo este estudo avalia uma área industrial específica do município de Cubatão, limitada pelo rio Cubatão, objetivando entender essa dinâmica com base na caracterização destes parâmetros físicos.

2 OBJETIVOS

O presente estudo tem como objetivo principal a caracterização e análise dos parâmetros físicos (antrópicos e naturais) que influenciam diretamente no comportamento dos aquíferos estuarinos locais.

Dentre as condições presentes dispostas na área de estudo, enfatizaram-se como objetivos secundários a: (1) caracterização dos aquíferos existentes; (2) avaliação das frentes de chuva e maré que influenciam os corpos de água superficiais e subterrâneos; (3) entendimento da interação entre os aquíferos e rio Cubatão, e; (4) análise da influência aplicada pelo funcionamento do sistema de remediação dos contaminantes presentes na área perante aos aquíferos locais.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Aquíferos Sedimentares Estuarinos

Grande parte das pesquisas relacionadas aos aquíferos estuarinos focam seu desenvolvimento em relação à intrusão da cunha salina entre o mar e aquíferos costeiros e poucos levam em consideração as demais variáveis dispostas no meio, como as ambientais, climáticas, hidrológicas e antrópicas que influenciam direta ou indiretamente no comportamento dos aquíferos adjacentes.

De acordo com Feitosa (2008), Braithwaite (1855) foi o responsável pela primeira publicação científica relacionada ao comportamento das interações entre aquíferos e corpos de águas superficiais, interpretando diferentes interfaces de águas doces/salobras em regiões costeiras; entretanto uma das principais contribuições relativas à compreensão dos sistemas dinâmicos em meios porosos e as primeiras leis quantitativas foram publicadas por Badon (1889), Herzberg (1901) e posteriormente por Hubbert (1940). Logo após, diversas contribuições surgiram, e entre estas é possível destacar em ordem cronológica as publicações de Lusczynski (1961), Harvey e Odum (1990), Hughes, Binning e Willgoose (1998), Woessner (2000), Alberti, Francani, La Licata (2009), Lenkopane et al. (2009), Abarca et al. (2013) e Liu, Knobbe e Butler (2013).

Lusczynski (1961) relacionou em um experimento, cargas hidráulicas de fluídos líquidos com diferentes densidades, comparando o nível da água em um piezômetro preenchido com água subterrânea salina provinda de um ponto específico de um aquífero confinado, com o nível da água provindo de outro ponto do aquífero com água subterrânea não salina; ambos os aquíferos situados em Long Island, Nova York, EUA. Neste estudo foi evidenciado que a densidade de um fluído altera diretamente o comportamento do mesmo em um poço de monitoramento. Esta conclusão tem relação direta com a propriedade física da condutividade hidráulica saturada, a qual expressa a facilidade em que um fluido tem de fluir em um meio poroso, sendo influenciada pelas condições deste (densidade e viscosidade) e pela estrutura do sedimento em questão.

Harvey e Odum (1990) contribuíram para o conhecimento de ambientes estuarinos com a publicação um artigo com os resultados de uma investigação da subsuperfície hidrogeológica de duas zonas intermarés, de modo a estudar os tipos de fluxos hidrogeológicos e o comportamento da descarga da água subterrânea de uma área de planície para o mangue localizados na costa do estado da Virginia, EUA. Estes pesquisadores utilizaram como base de raciocínio a Lei de Henry Darcy (apud FETTER, 1994) para efetuar o cálculo da descarga da água subterrânea, métodos de balanço das águas intersticiais para a determinação dos fluxos verticais e modelagens matemáticas para averiguação da distribuição salina neste local.

Devido à constatação de intensos gradientes hidráulicos ascendentes, a área analisada foi caracterizada como uma zona de descarga do aquífero, diminuindo seu potencial hidráulico de acordo com o distanciamento da costa (HARVEY; ODUM, 1990). Das análises da disposição potenciométrica, concluiu-se que: (1) o rebaixamento do nível freático ocorre devido à drenagem e a evapotranspiração; (2) as cargas hidráulicas não apresentam variações expressivas com a oscilação da maré, e; (3) as respostas às pressões da dessaturação do solo e infiltração se mostraram rápidas e são transmitidas a todas as profundidades do solo do mangue, sendo a taxa de recarga do aquífero maior pela incidência de infiltração do que pela descarga (HARVEY; ODUM, 1990).

Os estudos supracitados nos levam ao entendimento de como o comportamento das marés influenciam os níveis superficiais de corpos de água em ambientes estuarinos, considerando que a disposição das águas subterrâneas da área sob estudo é um resultado, entre outros fatores, da contribuição destes parâmetros.

Um estuário pode ser definido como um corpo de água costeiro que conecta o oceano a um vale fluvial, e que apresenta padrões de circulação hidrodinâmica controlados pela descarga fluvial, correntes de maré e geometria do local. Nessas regiões, a maré provém da junção de ondas de maré progressivas e estacionárias, diferentemente dos oceanos; assim, as velocidades máximas de corrente de maré ocorrem no meio da vazante e as inversões do sentido do escoamento do rio ocorrem na baixamar e na preamar (PRITCHARD, 1955).

As áreas estuarinas são compostas, de acordo com sua disposição espacial, por três tipos de ambientes, diferenciados pelo comportamento dos corpos superficiais. Entre eles estão: (1) zona de supramaré; área de planície, situada geograficamente acima do nível do mar, servindo de principal área de recarga de aquíferos estuarinos em conjunto com as águas que migram da região do planalto, não sendo influenciada por corpos superficiais; (2) zona de intermarés: engloba os corpos superficiais (rios e riachos) que sofrem alterações de nível de acordo com a variação da maré, ficando exposta subaereamente e encoberta pela água de acordo com a variação sazonal, e; (3) zona inframaré ou submaré: área que se mantém abaixo do nível da maré baixa (HARVEY; ODUM, 1990).

Relacionado às definições das zonas estuarinas, Hughes, Binning e Willgoose (1998) realizaram um estudo em uma área experimental de mangue no Rio Hunter, Austrália, a fim de caracterizar e fornecer dados para um modelo hidrogeológico de uma zona intermarés. O estudo obteve os valores do fluxo das águas subterrânea em uma pequena escala (36,00 m) por meio de uma estação meteorológica e *transects*, para que fossem monitoradas as cargas hidráulicas e níveis da maré, e; modelagem de elemento finito bidimensional utilizando o programa de computador SEEP/W para analisar o movimento da água subterrânea contida no solo. As taxas de evapotranspiração foram maiores na zona de manguezal dominada pelas marés do que nas zonas fora da influência da maré. Hipersalinidade e incrustação demonstraram que os fluxos de evapotranspiração são bem importantes durante períodos sem chuva, acreditando-se influenciar significativamente na concentração de sal, tanto na superfície da matriz do solo, quanto no aquífero subjacente. As respostas da água subterrânea às flutuações da maré concluíram-se uniformes na zona intermarés, devido à presença de sedimentos subsuperficiais altamente permeáveis, localizados abaixo de sedimentos superficiais menos permeáveis (HUGHES; BINNING; WILLGOOSE, 1998).

Os comportamentos hidrogeológicos de regiões estuarinas são, em parte, similares aos de planícies fluviais, levando em consideração as interações entre corpos de água superficiais e subterrâneos. Woessner (2000), realizou uma pesquisa bibliográfica a respeito da interação entre corpos de água superficiais e subterrâneos em planícies fluviais, indicando três metodologias para a caracterização dessa interação: (1) medição dos níveis de água em poços instalados na planície fluvial, nas margens dos canais e nos leitos dos rios; (2) comparação de variáveis geoquímicas entre as águas subterrâneas e superficiais; e (3) condução de estudos unidimensionais com traçadores nos canais dos rios sob análise.

As interpretações desse autor concluíram que as condições hidrogeológicas em planícies fluviais são controladas pela diferença dos potenciais hidráulicos entre os corpos de água superficiais e subterrâneos e pela geometria e posição do leito do rio. A Figura 3.1 ilustra um sistema hipotético de planície fluvial, onde nota-se que as mudanças no curso do leito do rio gera diferentes zonas de interação desse em relação ao aquífero local.

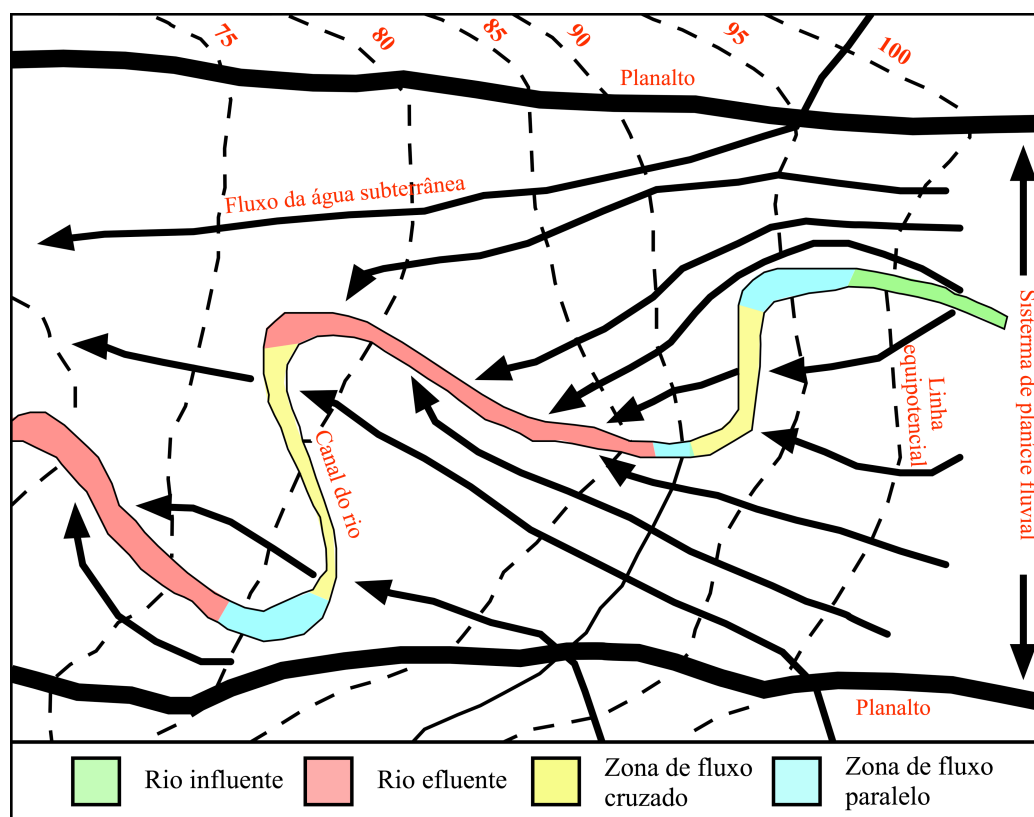


Figura 3.1 – Sistema hipotético de planície fluvial com a interação entre corpos de água superficiais e subterrâneos (modificado de WOESSNER, 2000)

Com base na Figura 3.1, este mesmo autor classifica as interações entre corpos de águas superficiais e subterrâneos em quatro tipos, dentre estes estão: (1) a contribuição do rio para o aquífero (rio influente), quando seus níveis superficiais são mais elevados do que as cargas hidráulicas do aquífero, e na ocorrência de alterações na disposição do leito do rio (margens mais profundas), indicativos do aumento de pressão sobre a margem do rio, correspondendo a uma zona de infiltração deste para os aquíferos locais; (2) o abastecimento do rio pelo aquífero (rio efluente), quando as cargas hidráulicas do aquífero são maiores do que os níveis superficiais do rio; esta zona ocorre normalmente após a curvatura de um rio; (3) zona de “fluxo cruzado” ou *flow-through*, quando o nível do rio está menos elevado que as cargas hidráulicas dos aquíferos em sua margem oposta ao contato com o aquífero; e (4) a ocorrência de uma zona de “fluxo paralelo” ou *parallel-flow*, em situações em que o nível do rio e das cargas hidráulicas é igual, não havendo compartilhamento entre esses corpos de água.

É possível citar estudos mais recentes a respeito da interação de corpos de água superficiais e subterrâneos, como o de Alberti, Francani, La Licata (2009), que desenvolveram uma pesquisa sobre a intrusão de água salina marinha em uma refinaria de petróleo localizada na costa da Itália, auxiliada por um modelo de fluxo estacionário (densidade-dependente), com o objetivo de determinar a posição da cunha salina sob influência do rio adjacente (Esino), de atividades industriais e de diferentes estruturas hidrogeológicas. Assim como Harvey e Odum (1990), os resultados demonstraram que o mar, em conexão com o rio, aumenta a invasão de água salgada no aquífero costeiro e que a cunha salina apresentou uma inclinação elevada em uma larga parte da área de estudo, penetrando em apenas alguns metros da costa.

Lenkopane et al. (2009) executou experimentos numéricos para a confecção de uma seção em duas dimensões de um estuário parcialmente penetrável, utilizando o programa de computador de modelagem matemática FEFLOW[®], com o objetivo de explorar os efeitos da variação da salinidade e da entrada de água doce no estuário em relação às dinâmicas das águas subterrâneas de um estuário próximo.

De acordo com este autor, os resultados da modelagem foram organizados em três partes, de acordo com as diferentes condições de salinidade do estuário, chamadas de salinidade constante, flutuações da salinidade e descargas sazonais de água doce. Com estas divisões foi possível concluir que o tempo de residência da água subterrânea é altamente dependente das condições de contorno do estuário, incluindo se a salinidade é constante ou variável com as oscilações da maré. Os resultados do modelo numérico deste estudo forneceram novas perspectivas a respeito do transporte de águas subterrâneas, entretanto o mesmo foi limitado, por não considerar fatores importantes como heterogeneidade e anisotropia. Estes conceitos são importantes para interpretação de sistemas reais que podem estar sob influência de fatores que alteram os gradientes hidráulicos, como a utilização de bombeamentos próximos à rede de poços de monitoramento da água subterrânea.

Abarca et al. (2013) realizaram uma modelagem matemática para caracterização da dinâmica da água subterrânea abaixo da zona de descarga da Baía de Waquoti, Massachusetts, por meio da interpretação da disposição da salinidade nesta matriz. Os resultados obtidos permitiram a visualização da ocorrência do acúmulo de água salgada nas marés cheias devido as taxas de infiltração serem superiores às de descarga da água salgada nestes períodos. Em consequência, os períodos de vazante apresentaram uma diminuição expressiva dos teores salinos no aquífero, pelo aporte de água doce.

As taxas mais elevadas do aporte de água salgada nos aquíferos locais foram observados em períodos de sizígia durante a lua nova, por proporcionarem as maiores variações dos níveis superficiais dos corpos de água e com isto aumentar as taxas de infiltração dos períodos de cheias. Este fato destaca a sensibilidade do aporte de água salgada nos aquíferos costeiros em decorrência das marés e do ciclo lunar, onde até as menores amplitudes da maré (menores de 0,50 m), influenciaram a dinâmica dos aquíferos.

O estudo mais recente encontrado a respeito da caracterização do comportamento hidrodinâmico de aquíferos estuarinos refere-se ao de Liu, Knobbe e Butler (2013), que desenvolveram testes na zona nordeste do estado de Kansas, EUA, para verificação da viabilidade da aplicação de um novo método para a caracterização da condutividade hidráulica e fluxo da água subterrânea (*hanceforth*, GFC).

Este método baseia-se no aumento da temperatura produzido pelo aquecimento forçado da água subterrânea, levando em consideração que a água subterrânea tem sido reconhecida como um controle crítico de transporte de solutos em subsuperfície; os métodos convencionais, segundo os autores, não fornecem a resolução adequada para a determinação de zonas de fluxo em aquíferos costeiros contaminados.

Com o método utilizado de alta resolução por sensores de fibra ótica sensíveis ao calor para monitoramento da resposta da temperatura ao calor ativo em um poço de monitoramento da água subterrânea, foram obtidos perfis térmicos verticais com uma resolução de 0,01 m em um aquífero arenoso, os quais revelaram a existência de zonas de velocidades baixas que seriam dificilmente detectadas utilizando métodos convencionais. Estes perfis também demonstraram que as variações verticais da condutividade hidráulica podem não ser um indicador preciso da variação do fluxo da água subterrânea em aquíferos altamente heterogêneos.

3.2 Análise correlacional das variáveis selecionadas

A interpretação dos dados obtidos nesta pesquisa foi, em parte, por meio de tratamentos estatísticos, de modo a quantificar matematicamente o grau de correlação (similaridade) entre as diferentes variáveis selecionadas. Segundo Garson (2009), o conceito de correlação está associado à medida de associação bivariada (força) do grau de relacionamento entre duas variáveis e Moore (2007) referencia este conceito a medida da direção e do grau da relação linear entre duas variáveis quantitativas.

Dentre os tratamentos realizados, foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson (ρ), o qual mede o grau da correlação pela medida da variância compartilhada entre duas variáveis de escala métrica. Este coeficiente de associação linear é adimensional e assume valores entre -1 e 1, onde ρ igual a 1 ou -1 representa uma correlação perfeita positiva ou negativa entre as duas variáveis, ou seja, expressa se o comportamento entre elas é totalmente inverso ou direto, e; $\rho = 0$ significa que não há relação linear entre as duas variáveis. Calcula-se o coeficiente de correlação de Pearson segundo a Equação 1.

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

onde $x_1, x_2, \dots, x_n$ e $y_1, y_2, \dots, y_n$ são os valores medidos e $\bar{x}$ e $\bar{y}$ representam as médias aritméticas de ambas as variáveis.

A interpretação da magnitude dos valores de correlação de Pearson varia de pesquisadores. Cohen (1988), considera que valores entre 0,10 e 0,29 apresentam fraca correlação; valores entre 0,30 e 0,49 são considerados moderados; e valores entre 0,50 e 1,00 representam uma forte correlação. Em outra classificação, Dancey e Reidy (2006) consideram correlações de 0,10 até 0,30 como fracas; 0,40 até 0,60 como moderadas, e; 0,70 até 1,00 como fortes, sendo esta classificação adotada nas interpretações estatísticas dessa pesquisa.

Um segundo tipo de tratamento estatístico foi utilizado de modo a verificar as similaridades entre mesmas variáveis, em distintos períodos sazonais, o qual consistiu na criação de diagramas de caixa, em inglês *box plot*, que possibilitaram a identificação da localização de 50% dos valores mais prováveis, a mediana e os quartis dos dados obtidos para uma variável específica.

De acordo com Braga (2010), a composição de um diagrama de caixa consiste em uma base referente ao quartil inferior, que representa 25% dos menores valores registrados, e o topo da caixa o quartil superior, que representa 75% dos valores observados. A caixa portanto representa 50% de todos os valores observados, concentrados na tendência central dos valores, eliminando os 25% menores valores e 25% maiores valores ($75\% - 25\% = 50\%$). Neste diagrama também encontram-se segmentos de reta verticais denominadas de “fio de bigode”, ou em inglês “*Whiskers*”, os quais representam os maiores e menores valores observados. Tanto a altura da caixa como o tamanho do *Whisker* fornecem informações sobre a dispersão dos dados, sendo possível visualizar se existe uma equivalência em um conjunto de dados.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Revisão bibliográfica

Foram interpretadas, como base inicial, informações contidas em diferentes artigos publicados a respeito do comportamento de aquíferos estuarinos, dando ênfase nas metodologias utilizadas para obtenção dos dados desejados pelos autores. Da mesma forma, verificou-se o que a escolha de determinadas metodologias e procedimentos implicaram nos resultados, obtendo um senso crítico a respeito destes estudos, viabilizando a determinação dos procedimentos desta monografia com base em algo já experimentado anteriormente.

Posteriormente, foram analisadas as informações contidas em relatórios técnicos confeccionados por consultorias que realizaram trabalhos ambientais na área em questão. A análise do histórico consistiu na consulta de mais de 200 relatórios técnicos protocolados e disponíveis para vistas no acervo da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), entre estes, foram selecionados cinco relatórios que continham informações pertinentes para a análise preliminar da situação hidrogeológica entre as interações externas ao aquífero local (ERM, 1997; SERVIMAR, 2005, 2006; WATERLOO, 2009; AECOM, 2012).

A leitura dos cinco relatórios supracitados indicou uma transformação dinâmica da área sob pesquisa ao longo dos anos, como alterações do terreno, construção e aterro de reservatórios, dutos e lagoas de incêndio, de modo que foi necessário selecionar os relatórios mais recentes por terem maior representatividade da atual condição da área. No entanto, essas transformações foram mapeadas para a realização da presente pesquisa.

4.2 Descrição da área de estudo

Localizada na cidade de Cubatão no Estado de São Paulo (latitude $23^{\circ} 53' 44''$ S e longitude $46^{\circ} 25' 32''$ O), próxima à escarpa da Serra do Mar, a área em estudo está localizada em um terreno sob propriedade de uma indústria petroquímica que produz matérias primas de produtos derivados de hidrocarbonetos aromáticos. E Esta limita-se entre a Rodovia Cônego Domênico Rangone, Avenida Nove de Abril e o rio Cubatão, o qual tem sua nascente no ponto geográfico de latitude $23^{\circ} 56' 11''$ S e longitude $46^{\circ} 57' 20''$ O, e deságua no município de Santos por cursos de águas superficiais em meio ao mangue (Figura 4.1).

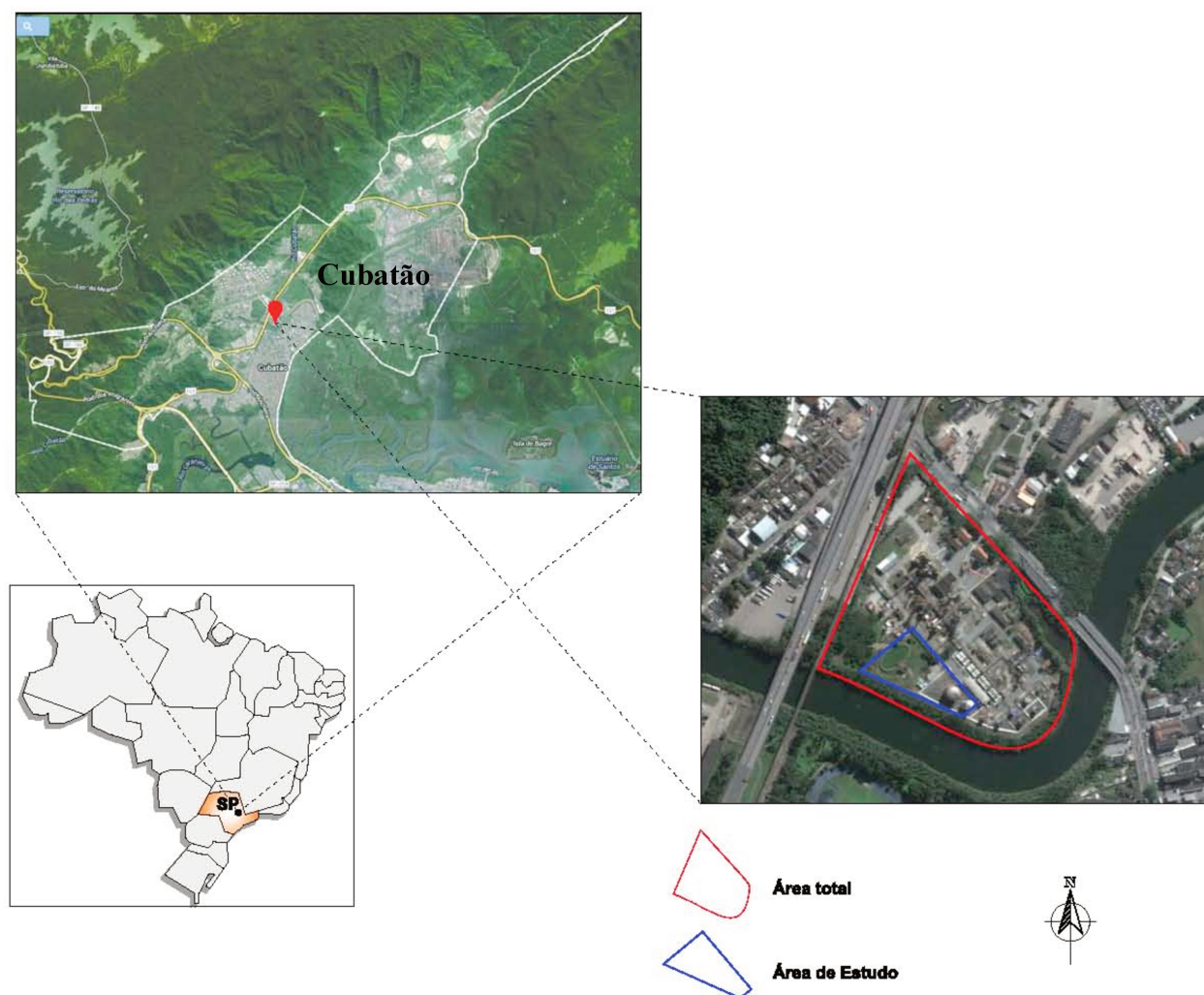


Figura 4.1 — Localização da área de estudo

Devido à extensão da área total do terreno (55.838,51 m²) e o elevado número de poços instalados levantados nos relatórios analisados (cerca de 225 poços), foi selecionada neste estudo somente parte da área total (9.723,23 m²), com o objetivo de analisar com mais detalhe um local que tem um contato direto com as influências físicas da maré oceânica aplicadas no trecho do rio Cubatão adjacente ao ponto de interesse, apenas considerando os dados levantados nas medições de poços mais relevantes pelas empresas de consultorias ambientais e nos serviços realizados em campo para este estudo. A Figura 4.2 apresenta o croqui da área total do empreendimento, bem como a disposição do trecho adjacente do rio Cubatão.

A área de estudo está em operação desde outubro de 1957, composta por instalações industriais (petroquímica) voltadas para a fabricação de monômero de estireno, tendo como matérias primas benzeno e eteno. Serviços ambientais iniciaram-se na área da petroquímica em 1996, com a realização de sondagens geotécnicas, ensaios e avaliações hidrogeológicas, caracterizações geofísicas e ambientais e o monitoramento da qualidade das águas subterrâneas e superficiais.

Do ponto de vista de alterações da estrutura local, foram constatadas seis áreas com elevadas concentrações de compostos orgânicos voláteis (VOC), coincidentes com a localização de seis antigas lagoas de armazenamento da borra de estireno, subproduto do processo (ERM, 1997), das quais, apenas duas destas localizam-se na área selecionada para esta pesquisa, identificadas respectivamente de A e B, conforme apresentado na Figura 4.3.

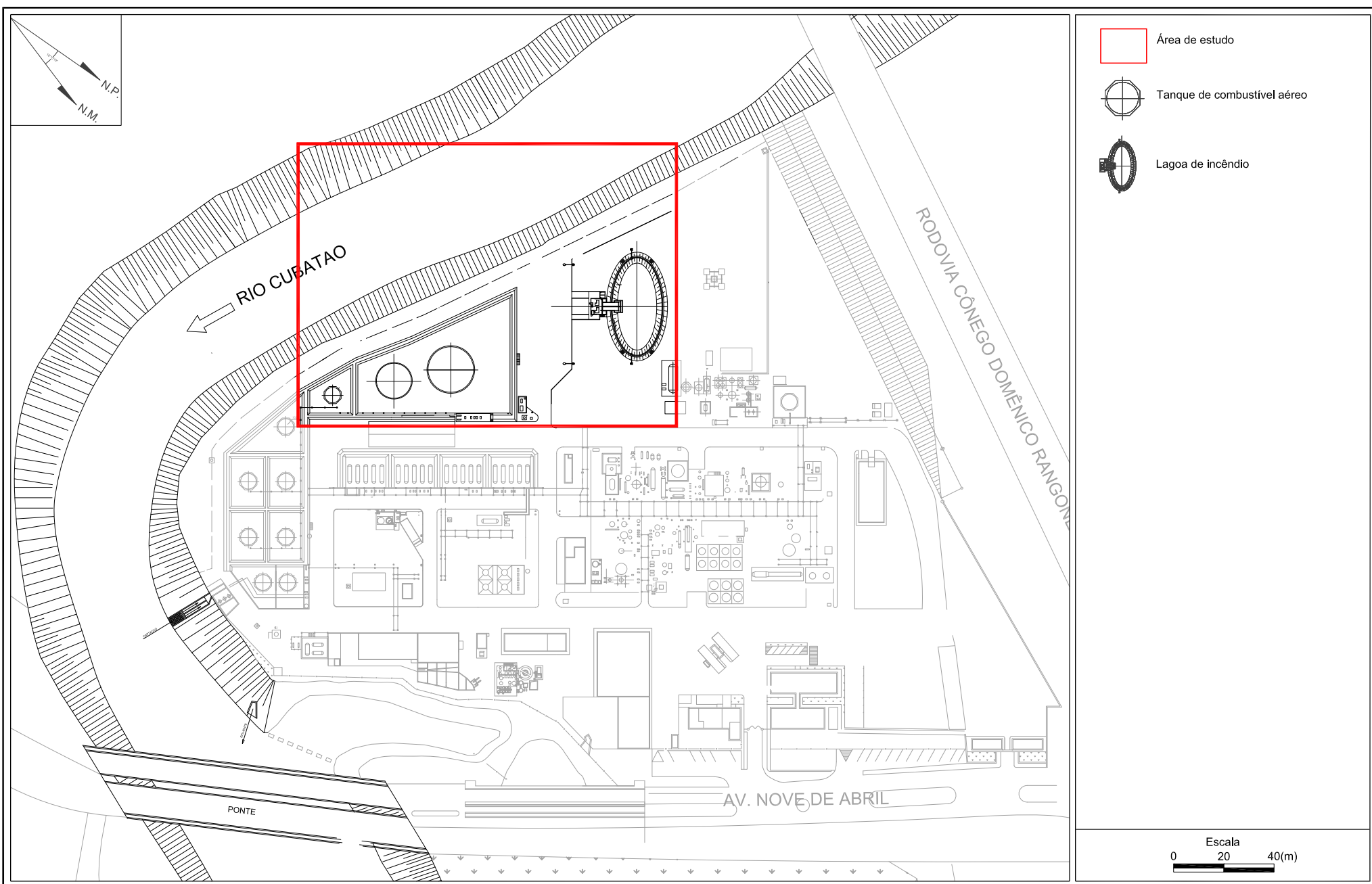


Figura 4.2 — Croqui da área total do empreendimento em estudo e disposição do trecho adjacente do rio Cubatão

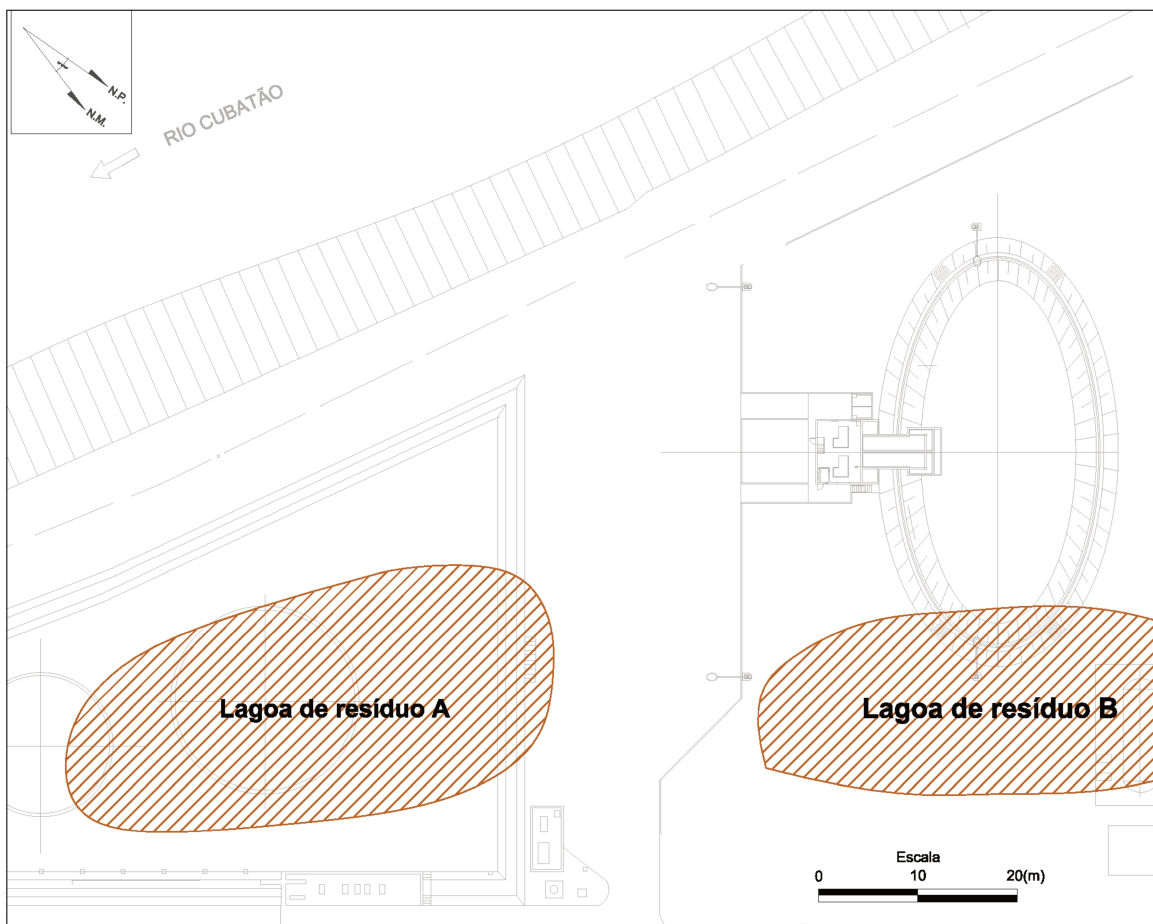


Figura 4.3 — Croqui da área de estudo com a localização das antigas lagoas de resíduos

As lagoas aterradas foram consideradas como alteração do terreno subsuperficial, que podem influenciar diretamente na dinâmica das águas subterrâneas locais, no sentido de que suas posições e o tipo de material utilizado para aterrá-las, podem interferir diretamente na condutividade hidráulica, velocidade e direção do fluxo de água subterrânea.

4.3 Fisiografia regional

4.3.1 Aspectos climáticos

De acordo com o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC, 2013), a região litorânea apresenta o registro dos maiores índices pluviométricos e de temperatura dentre as regiões do Estado de São Paulo, com índices anuais médios que variam até 2.000,00 mm e 22,00 °C, respectivamente. As encostas da Serra do Mar apresentam altos índices de umidade devido à condensação dos ventos oceânicos e as taxas elevadas de evaporação nos manguezais adjacentes, acarretando em um elevado índice de precipitações onde a umidade relativa do ar supera valores de 80,00 % (TORRES; BRAGA; BORGES, 2002).

Segundo a classificação climática de Köppen e Geiger (1936), o clima da região onde se localiza a cidade de Cubatão é classificado como tropical marítimo de temperatura média anual em torno de 23,00 °C, próxima a registrada por CPTEC (2013). A região costeira apresenta os maiores índices de chuva nos meses de fevereiro e março, com uma variação da umidade relativa do ar entre 65,00 % a 97,00 %, sendo a média anual de 85,00 %.

4.3.2 Hidrologia

A área sob pesquisa situa-se na bacia hidrográfica do rio Cubatão e enquadra-se na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) número 07 Baixada Santista (CRH, 2006). De acordo com Cerucci e Mancuso (2007), a bacia tem uma área total de 185,00 km² e conta com rios torrenciais que nascem na Serra do Mar e se tornam, após o trecho da escarpa, em rios de planície que por fim desaguam na costa oceânica. Os rios principais desta bacia são Cubatão, Mogi e Perequê (Figura 4.4). Esses rios estão localizados entre a Serra do Mar e a faixa do mar (planície sedimentar), caracterizados por não apresentarem grandes extensões devido à proximidade com a Serra do Mar, e ocorrem em região de baixa declividade, sendo comum a formação de meandros originados pelo lento fluxo deste rios, proporcionando um ambiente propício à um elevado processo de aluvionamento (TORRES; BRAGA; BORGES, 2002).

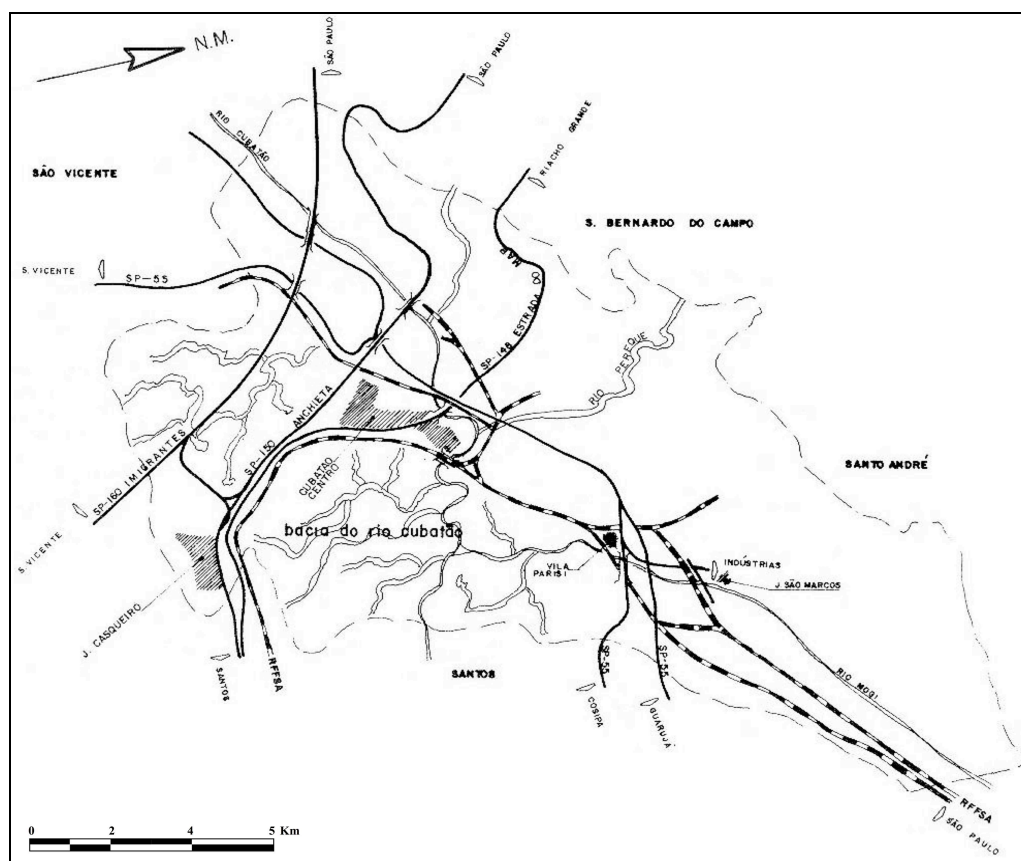


Figura 4.4 — Bacia do rio Cubatão

Modificado de Silva et al. (2012)

O rio Cubatão tem sua nascente localizada na Serra do Mar e deságua no estuário de Santos por meio de canais dentro do mangue, sendo grande parte de seu curso localizada em uma zona de intermaré. Esse recebe em sua margem esquerda o Rio Pilões e a vazante da foz do rio Passareúva, fluindo pelo município de Cubatão. Os principais afluentes desse rio são o Rio Capivari (margem direita) e Rio das Pedras e Perequê (margem esquerda), rios torrenciais que têm suas nascentes na Serra do Mar (TORRES; BRAGA; BORGES, 2002). O rio Cubatão está enquadrado, segundo Decreto 10.755/77 (SÃO PAULO, 1977), no padrão de qualidade classe 01, no qual não são tolerados lançamentos de efluentes, devido à sua função como abastecedor de cinco municípios. Entretanto, ele encontra-se em risco pois recebe constantemente a descarga de efluentes domésticos e industriais, e parte dos dejetos presentes no reservatório Billings, despejados no rio Cubatão pela Usina Hidrelétrica Henry Borden (SILVA et al., 2012).

4.3.3 Geologia

A área de estudo situa-se na planície costeira, na porção interna do Estuário Santista no município de Cubatão, próximo aos contrafortes da Serra de Paranapiacaba-Cubatão (popularmente Serra do Mar). Essa região apresenta dois compartimentos bem distintos: a serra, com altas declividades e altitudes (que atingem 800 metros) e a planície, com alguns metros acima do nível do mar.

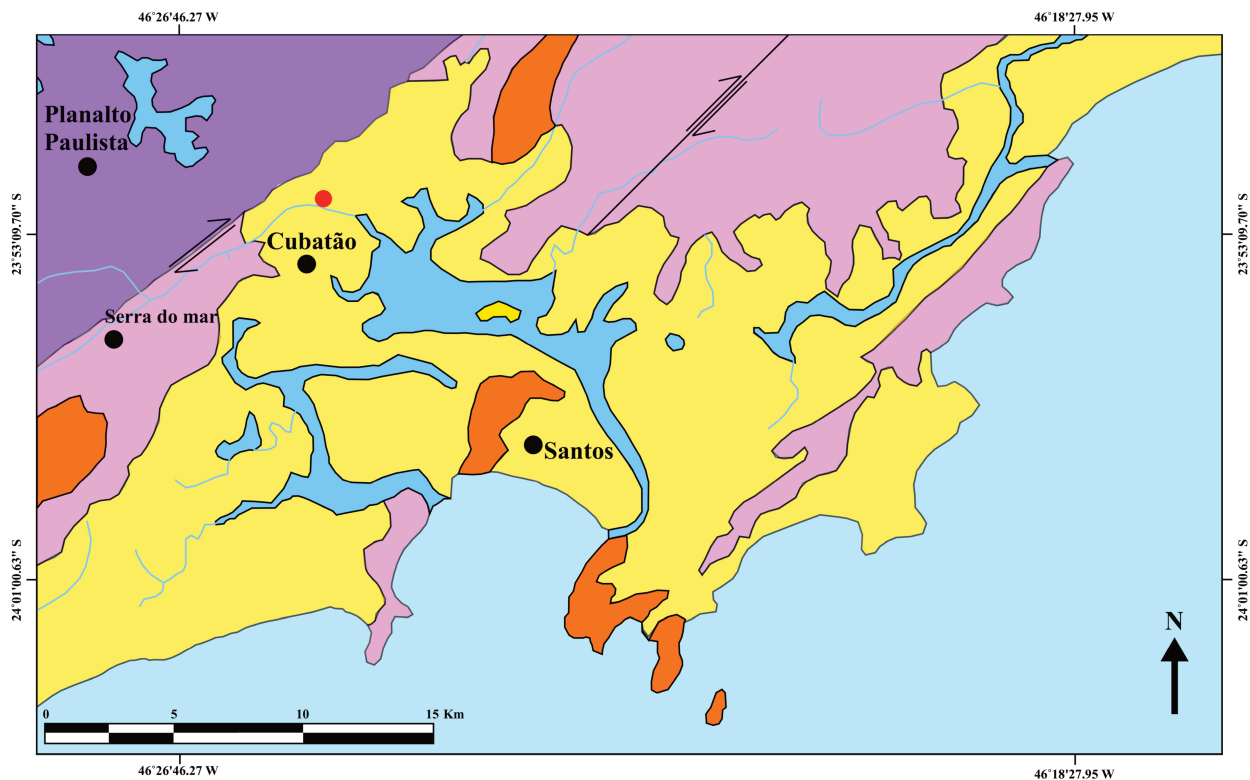
A serra apresenta a Zona de Falhamento de Cubatão e rochas neoproterozóicas do Complexo Embu, composta por xistos (localmente podem ser migmatíticos) e ortognaisses, do Complexo Costeiro (quartzitos, ortognaisses, gnaisses peraluminosos, granitos gnaisses migmatíticos e gnaiss bandados) e do Magmatismo do Domínio Embu, composto por granitóides foliados paraluminosos (SADOWSKI, 1974).

Segundo Almeida e Hasui (1984), o Complexo Costeiro se estende aproximadamente a nordeste – sudeste, sendo limitado a norte pela falha de Cubatão e ao sul pela linha da costa. A abundância de migmatitos é marcante, sendo considerados como resultado de processos de migmatização e granitização ocorridos em vários ciclos orogênicos (Jequié, Transamazônico e Brasileiro).

Granitos peraluminosos ocorrem encaixados no Complexo Costeiro. Afloram na área de planície e estão relacionados ao orógeno Araçuaí-Rio Doce (PERROTTA et al., 2005)

Assentado sobre o Embasamento Cristalino Pré-Cambriano ocorrem sedimentos quaternários inconsolidados que constituem a planície costeira e compostos por depósitos aluvionares, coluviais, flúvio-lagunares e marinhos, correlatos a Formação Cananéia. Especificamente em Cubatão, os sedimentos lagunares fluviais e mistos apresentam maior predominância (SUGUIO; MARTIN, 1978). A área constitui-se por antigos manguezais aterrados, onde predominam sedimentos argilosos não consolidados, que formam um pacote de cerca de 25,00 m de espessura (SUGUIO; MARTIN, 1978).

A Figura 4.5 ilustra o mapa da geologia regional da área de estudo.



Convenções do mapa

Unidades geológicas

Cenozóico: Quaternário

Depósitos aluvionares

Paleozóico: Cambriano

Orógeno Araçuaí-Rio Doce

Neoproterozóico: Ediacariano

Complexo Costeiro

Neoproterozóico: Criogeniano

Complexo Embu

Unidades estruturais

Contato geológico

Falha ou zona de cisalhamento transcorrente

Convenções cartográficas

Regiões e cidades

Área de estudo

Corpo de água superficial

Oceano

Figura 4.5 — Geologia regional do Município de Cubatão

Modificado de Perrotta et al. (2005)

Oliveira, Cerri e Zaine (2007) apresentam, na região de Cubatão, um estudo dos condicionantes do meio físico para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo, e elabora as unidades básicas de compartimentação (Figura 4.6). A descrição de cada unidade consiste na caracterização das rochas, materiais inconsolidados, porosidades, permeabilidades e níveis de água.

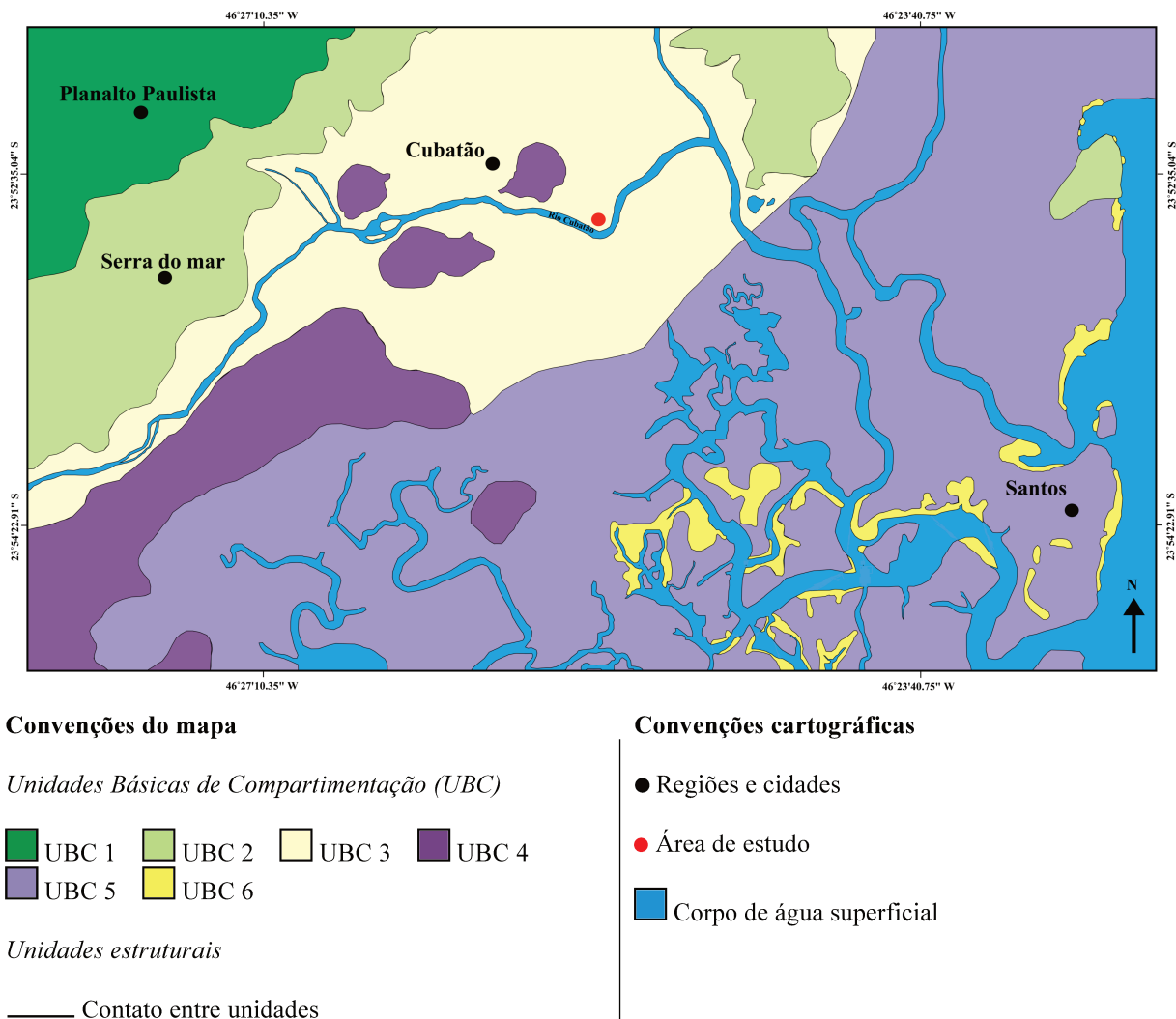


Figura 4.6 — Carta de Unidades básicas de compartimentação. Escala 1:25.000 (modificado de OLIVEIRA; CERRI; ZAINE, 2007)

Assim, as rochas da Serra do Mar são compostas por milonitos-gnaiss intensamente fraturadas, com solos argilosos de pequena espessura (UBC 1), baixa porosidade e permeabilidade e nível de água profundo (maior que 40,00 m). Também ocorre nas porções mais baixas a UBC 2 correspondente à presença de xistos fraturados e solos areno-siltosos de pouca espessura, com porosidade e permeabilidade moderada e nível de água a 13,00 m de profundidade.

Na porção mais próxima à serra, já na planície, encontram-se depósitos aluvionares areno-argilosos (UBC 3), com alta porosidade e permeabilidade. Estas são áreas de alagamento e nível de água sub-aflorante. A área de estudo encontra-se nesta unidade. A UBC 4 representa corpos aflorantes de granito-gnaiss e xistos, solos areno-siltoso de pouca espessura, com declividade, porosidade e permeabilidade moderados.

As UBC 5 e 6 ocorrem mais distantes da serra, e são correspondentes aos depósitos marinhos argilosos, que têm porosidade alta, permeabilidade baixa, nível de água subaflorante, e aos depósitos arenosos (bolsões de areia) com alta porosidade, permeabilidade e nível de água aflorante. Essas duas unidades compõem áreas de alagamento.

4.3.4 Hidrogeologia

De acordo com Rocha (2005), após a escarpa da Serra do Mar, abaixo do embasamento cristalino na região da Planície Litorânea, localiza-se a Unidade Aquífera Litorânea. Essa unidade aquífera apresenta sedimentos quaternários, os quais se distribuem ao longo de 70,00 km próximos a costa do Estado de São Paulo, abrangendo uma área de 4.600,00 km², da cidade de Cananéia, na região sul, até Ubatuba, a norte.

A região Planície Litorânea é formada por uma camada de profundidade variável (até 167,00 m em Ilha Comprida) de areias não consolidadas e sedimentos finos com altitudes máximas que variam de 0,00 a 20,00 m (CRH, 2007). Com características de um aquífero regional livre, este se encontra por vezes delimitado superiormente por finas lentes de sedimentos menos permeáveis e pelo embasamento cristalino em sua base. Por apresentar uma porosidade granular, a identidade deste aquífero apresenta taxas entre médias e elevadas de transmissividade, oferecendo vazões sustentáveis máximas de 20,00 m³/h em Peruíbe e São Vicente (IRITANI; EZAKI, 2009).

Segundo o levantamento realizado por Rocha (2005), o Aquífero Litorâneo apresenta uma variação máxima da superfície potenciométrica de aproximadamente 20,00 m, na medida em que se aproxima do Aquífero Cristalino (Pré-Cambriano), onde os tubos de fluxo convergem, na maioria dos casos, para os grandes canais de águas superficiais e para o mar.

4.4 Determinação dos parâmetros físicos

Os parâmetros a serem analisados foram selecionados com base no histórico das atividades ambientais contidas nos relatórios técnicos existentes desde 1997, onde foram analisadas todas as transformações físicas que poderiam ter interferido, ou não, na dinâmica de fluxo dos aquíferos avaliados. Desta forma, foram selecionados os seguintes parâmetros que interagem com os aquíferos locais, ilustrados no croqui esquemático da Figura 4.7.

- (1) Atividades antrópicas exercidas na área de estudo, como a disposição das antigas lagoas de resíduos e a atuação do sistema de remediação da água subterrânea;
- (2) Pressão e temperatura do ar atmosférico;
- (3) Intensidade das chuvas;
- (4) Altura da maré oceânica;
- (5) Regime do rio Cubatão, e
- (6) Caracterização da geologia e dos aquíferos locais.

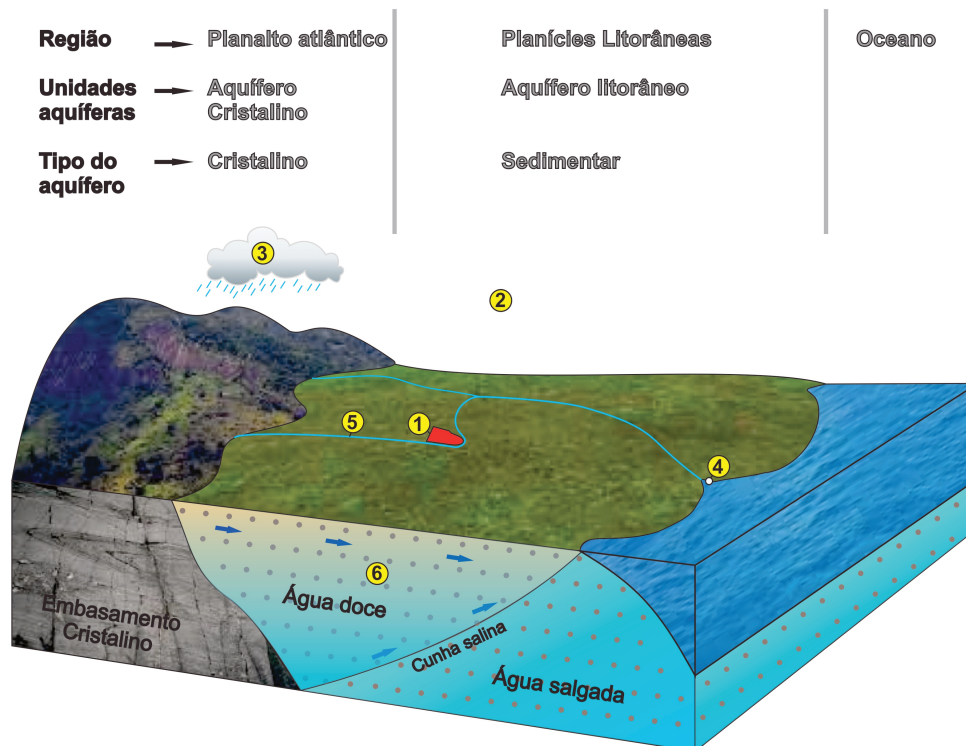


Figura 4.7 — Croqui esquemático dos parâmetros considerados
modificado de (IRITANI; EZAKI, 2009)

4.5 Características do sistema de remediação

As informações sobre o sistema de remediação, como periodicidade de funcionamento e pressão aplicada nos poços, foram obtidas pelo responsável do gerenciamento da remediação ambiental em operação na petroquímica.

O sistema de remediação instalado na área de estudo conta com a combinação das técnicas físicas de *Air Sparging* (AS) em conjunto com *Soil Vapor Extraction* (SVE), possibilitando a remoção de massa do contaminante pela partição do fluido líquido para gasoso. Segundo USEPA (2004), o sistema de *Air Sparging* consiste em uma tecnologia de remediação *in situ* que reduz a concentração de constituintes voláteis em produtos derivados do petróleo, como os hidrocarbonetos adsorvidos no solo e na água subterrânea. Nesta tecnologia é injetado ar por poços específicos, neste caso do tipo SW, próximo à fonte de contaminação do solo, que vaporiza os constituintes voláteis da massa do contaminante, que são extraídos pelos poços de extração de ar do tipo *Soil Vapor Extraction* (SVE). Posteriormente este vapor coletado passa por um tratamento antes de ser liberado para a atmosfera.

Esta combinação de técnicas de remediação encontra-se instalada por toda a extensão da zona sudoeste da petroquímica, exercendo uma função de barreira hidráulica, de modo a conter qualquer migração de contaminantes para o rio Cubatão. Esta barreira foi dividida em 03 módulos, de modo a operarem em ciclos diários de oito horas por módulo. Caso sejam necessários ajustes em algum módulo específico, esse é então desligado e os outros dois restantes passam a operar alternadamente por 12 horas por dia. O Módulo 03 encontra-se posicionado dentro da área em estudo, já os demais módulos seguem instalados retilineamente no sentido noroeste.

A periodicidade de funcionamento do sistema de remediação em uma rotina diária com os 03 módulos ligados é: Módulo 01 das 23:30 as 07:30; Módulo 02 das 07:30 as 15:30; Módulo 03 das 15:30 as 23:30.

4.6 Critério de seleção dos poços

O critério de seleção considerou os poços mais representativos e atuais que indicassem todas as mudanças significativas do uso do terreno, e que contivessem descrições detalhadas a respeito dos procedimentos e disposições de suas instalações, permitindo um refinamento na caracterização da geometria dos aquíferos locais.

O Anexo 01 apresenta os perfis litológico-construtivos dos poços selecionados, bem como um resumo de suas estruturas construtivas com foco nas dimensões das seções filtrantes. Os poços apresentaram diferentes funções e características construtivas. Assim para cada grupo de poços foram atribuídos as seguintes identificações:

OW – Bateria de Poços de Observação Multinível (*Observation Well*);

DW – Poço de Monitoramento Profundo (*Deep Well*);

SW – Poço de Injeção de Ar (*Sparging Well*);

SVE – Poço de Extração de Vapores (*Soil Vapour Extraction*);

CMT[®] – Poço de Monitoramento Multinível (*Continuous Multichannel Tubing[®]*), e;

PMN – Bateria de Poços de Monitoramento Multinível;

A Tabela 4.1 apresenta a relação de poços de monitoramento selecionados para o levantamento de dados para esta pesquisa em conjunto com suas profundidades de instalação. Na Figura 4.8 encontra-se o croqui detalhado da área selecionada para a presente pesquisa, com a disposição dos poços selecionados.

Tabela 4.1 — Relação de poços de monitoramento selecionados para o levantamento de dados hidrogeológicos

Consultoria 01 12/2011 a 06/2012				Consultoria 02 02/2006		Consultoria 01 12/2011 a 06/2012				Consultoria 03 01/2009	
Nome	Profundidade (m)	Nome	Profundidade (m)	Nome	Profundidade (m)	Nome	Profundidade (m)	Nome	Profundidade (m)	Nome	Profundidade (m)
SVE-41	2,25	SW-41	9,75	OW-07A	8,75	PMN-01A	7,40	CMT-09	(1)	DW-02	22,25
SVE-42	2,25	SW-42	9,45	OW-07B	6,75	PMN-01B	5,90	CMT-10		DW-03	22,55
SVE-43	2,25	SW-43	9,75	OW-07C	5,57	PMN-01C	5,00	CMT-11		DW-04	22,75
SVE-44	2,25	SW-44	10,15	OW-09A	8,75	PMN-02A	7,80	CMT-12		OW-01D	9,25
SVE-45	2,25	SW-45	10,15	OW-09B	7,25	PMN-02B	7,00	CMT-13		OW-09D	9,25
SVE-46	2,25	SW-46	9,75	OW-09C	5,75	PMN-02C	5,00	CMT-14		OW-18D	8,45
SVE-47	2,25	SW-47	9,75	OW-16A	8,00	PMN-03A	8,30	CMT-15		-	-
SVE-48	2,25	SW-48	10,05	OW-16B	6,50	PMN-03B	5,80	CMT-16		-	-
SVE-49	2,25	SW-49	9,75	OW-16C	5,00	PMN-03C	4,00	-		-	-
SVE-50	2,25	SW-50	9,25	OW-18A	7,70	PMN-04A	5,10	-		-	-
SVE-51	2,25	SW-51	9,25	OW-18B	6,50	PMN-04B	8,00	-		-	-
SVE-52	2,25	SW-52	9,05	OW-18C	5,00	-	-	-		-	-
SVE-53	2,25	SW-53	9,35	OW-21A	8,00	-	-	-		-	-
SVE-54	2,25	SW-54	9,75	OW-21B	6,60	-	-	-		-	-
SVE-55	2,25	SW-55	9,95	OW-21C	5,00	-	-	-		-	-
SVE-56	2,25	SW-56	9,75	OW-24A	8,00	-	-	-		-	-
SVE-57	2,25	SW-57	9,65	OW-24B	6,50	-	-	-		-	-
SVE-58	2,25	SW-58	9,65	OW-24C	5,00	-	-	-		-	-

Legenda:

(1) - Conjunto de poços com filtros em cinco profundidades distintas e descritas em detalhe nos perfis litológicos (Anexo 01).

Consultoria 01 - AECOM (2012).

Consultoria 02 - Servmar (2006).

Consultoria 03 - Waterloo (2009).

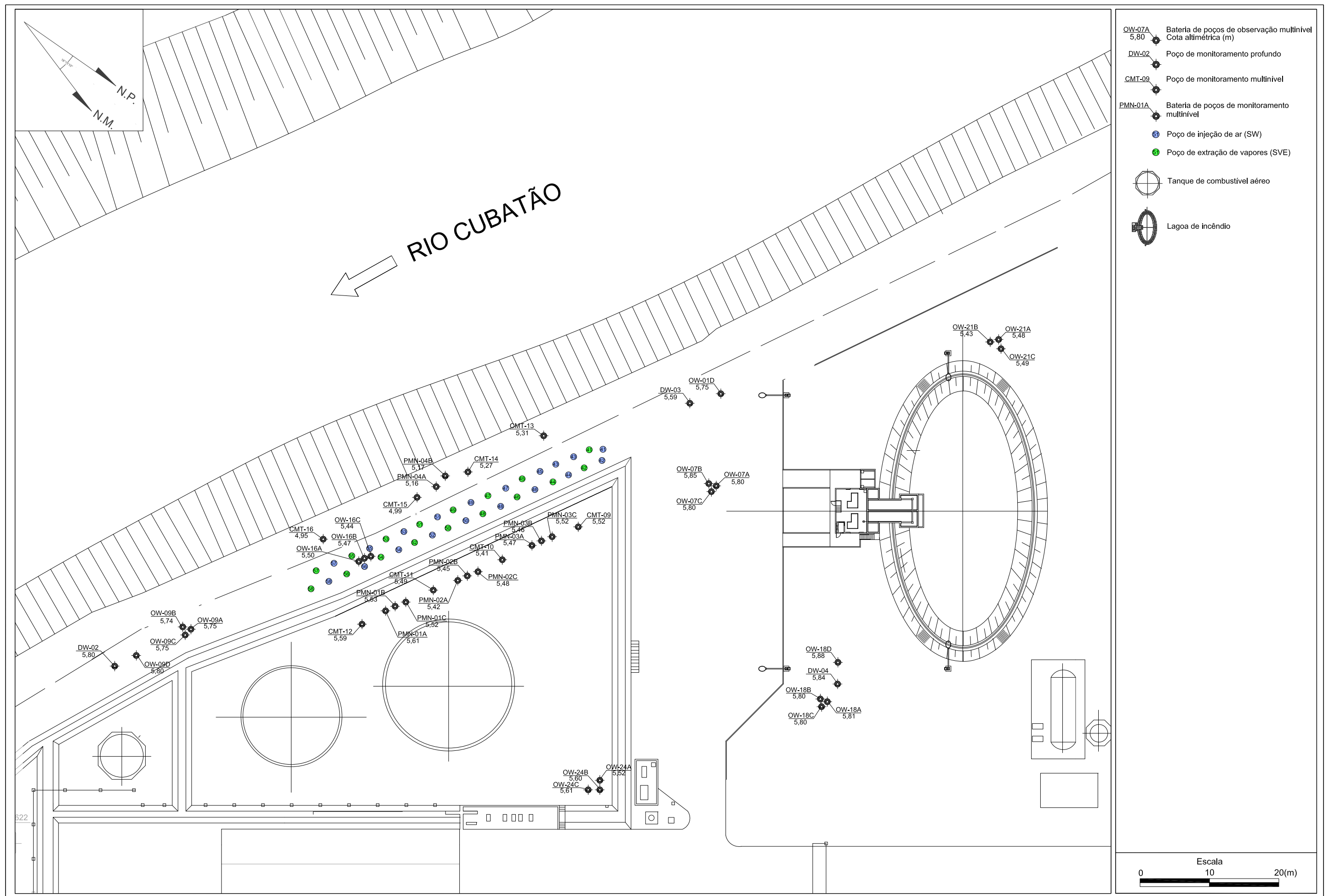


Figura 4.8 — Croqui detalhado da área de estudo com a disposição dos poços

4.6.1 Baterias de Poços de Observação (OW)

As baterias de poços de observação (OW) consideradas para este estudo foram instaladas em dois períodos e por empresas de consultoria ambiental distintas. Inicialmente foram executadas por Servmar (2006), 18 sondagens, entre o período de 31/05/2005 a 29/07/2005, para a instalação de seis baterias de poços de observação, compostas por três poços cada uma (níveis A, B e C) e nomeadas de OW-07, OW-09, OW-16, OW-18, OW-21 e OW-24. Posteriormente, Waterloo (2009) concluiu as instalações de três poços de observação complementares, entre o período de 05/01/2009 a 04/02/2009, nomeados de OW-01D, OW-09D e OW-18D.

As sondagens foram realizadas de acordo com os procedimentos preconizados pela norma NBR 1.3895 (ABNT, 1997), com o auxílio de duas metodologias: trado manual e sistema mecânico (*Hollow Stem Auger*[®]), sendo distribuídas pela acessibilidade dos equipamentos em determinadas áreas da empresa. As baterias de poços (OW) são compostas por seção filtrante de 0,50 m de comprimento de tubulação geomecânica de 2,00” de diâmetro, dispostas em sondagens independentes, sendo suas profundidades limitadas pela camada de argila plástica, com o início da seção filtrante determinado com base nos níveis d’água em cada local.

4.6.2 Poços de Monitoramento Profundos (DW)

Foram instalados, por Waterloo (2009), três poços de monitoramento profundos, entre o período de 05/01/2009 a 04/02/2009, nomeados de DW-02, DW-03 e DW-04. Estes poços permitiram obter informações sobre a geologia e o comportamento hidrodinâmico de camadas aquíferas e aquitarde.

O método de perfuração utilizado foi o sistema rotativo com circulação de fluido de perfuração, no qual se utiliza uma broca tricônica de diâmetros variados para realizar movimentos rotativos que forcem verticalmente o conjunto haste-broca, pelo peso do cabeçote da sonda e pela circulação de um fluido de perfuração dentro do furo. Neste caso, foi utilizado a bentonita dissolvida em água potável como fluido de perfuração, devido às suas características expansivas e pouco reativas.

O fluido de perfuração foi injetado através do conjunto haste-broca através de um sistema composto por uma bomba hidráulica e mangotes de sucção e injeção. O material perfurado foi trazido à superfície pela circulação deste fluido, o que permitiu o resfriamento a broca e impediu o colapso das paredes da sondagem.

As instalações dos Poços de Monitoramento Profundos (DW) seguiram as recomendações presentes na norma NBR 15.495-1 (ABNT, 2007), sendo instalados em tubulação geomecânica com seção filtrante de 1,00 m e preenchimento do espaço anelar da seção filtrante com pré filtro de composição quartzosa.

4.6.3 Poços de Injeção de Ar (SW) e Extração de Vapores (SVE)

Foram executadas 36 sondagens por AECOM (2012), entre o período de 20/12/2011 a 08/02/2012, perfuradas por trado manual de 4,00” de diâmetro externo e sonda mecanizada tipo *Hollow Stem Auger*[®] com 8,00” de diâmetro, as quais serviram para a instalação de 18 poços de injeção de ar (SW-41 a SW-58) e 18 poços de extração de ar (SVE-41 a SVE-58), compondo uma barreira hidráulica para contenção e remediação dos contaminantes presentes na área nomeada de Módulo 03.

A execução das sondagens e instalação dos poços seguiram, respectivamente, os procedimentos expressos na NBR 15.495-1 (ABNT, 2007), sendo os poços de injeção de ar e extração de vapores construídos com tubos de PVC geomecânico de 2,00” de diâmetro, com seções filtrantes de 0,50 m e 1,50 m de comprimento (ranhuras de 0,75 mm de largura), respectivamente e selados por calda de argila expansiva (bentonita) até aproximadamente 0,10 m da superfície do terreno, onde foi instalada a proteção sanitária de concreto.

4.6.4 Poços de Monitoramento Multinível (CMT[®])

Durante o período de 14/02/2012 a 12/03/2012 foram realizadas por AECOM (2012), oito sondagens para posterior instalação de poços multiníveis do tipo CMT[®] (*Continuous Mutilchannel Tubing*[®]) da marca Solinst, nomeadas de CMT-09 a CMT-16. As sondagens foram realizadas com o auxílio de um trado manual com 4,00” de diâmetro externo, instalados a montante e a jusante da barreira de remediação, próximos à margem do rio Cubatão, conforme a norma NBR 15495-1 (ABNT, 2007).

Os poços CMT[®] são compostos por um tubo flexível de polietileno de alta densidade (PEAD) de 4,10 cm de diâmetro, com até 30,00 m de profundidade, e contém até sete canais internos em sua estrutura nervurada (EINARSON; CHERRY, 2002). Estes foram instalados nas seções transversais com cinco horizontes diferentes, separados em intervalos de 1,50 m entre si, sendo que cada ponto possui uma seção filtrante de 0,10 m de comprimento. A profundidade de instalação destes poços foi limitada acima da camada confinante de argila confinante descrita durante as sondagens.

4.6.5 Bateria de Poços de Monitoramento Multinível (PMN)

AECOM (2012) realizou durante o período de 13/03/2012 a 10/04/2012, instalações de três baterias de trios de poços de monitoramento da água subterrânea (PMN-01, 02 e 03) com diferentes profundidades (níveis A, B e C), distribuídos entre os poços CMT-09 a CMT-12 e 01 bateria de dois poços (PMN-04A e PMN-04B) instalados próximos à margem do rio Cubatão. Com isto, foram perfurados 67,00 m lineares, com o auxílio de trado manual de 4,00” de diâmetro externo de acordo com a norma NBR 15.495-1 (ABNT, 2007).

A estrutura construtiva foi a mesma em todos os poços referidos (PMN), com uma diferença somente em suas profundidades de instalação, compostos de tubulação geomecânica de 2,00” de diâmetro e seção filtrante de 1,00 m preenchida por 0,50 m de areia quartzosa (pré-filtro) acima e abaixo do tubo filtro. O espaço anelar entre o tubo de revestimento e a formação foi preenchido com calda de bentonita a fim de criar uma camada seladora para isolar quaisquer interferências externas à seção filtrante.

4.7 Levantamento e tratamento dos parâmetros físicos

Os trabalhos realizados em campo objetivaram o levantamento de (1) dados climáticos referentes às variações da pressão atmosférica e aos índices pluviométricos registrados acerca da rede dos poços de monitoramento selecionados; (2) dados hidrológicos relacionados às oscilações do nível superficial e as diferentes vazões do rio Cubatão, influenciadas diretamente pela maré oceânica; (3) dados hidrogeológicos como obtenção das condutividades hidráulicas pontuais e variação das cargas hidráulicas e velocidades dos aquíferos, e; (4) taxas de condutividade elétrica registradas em diferentes períodos no rio Cubatão e nos aquíferos locais.

A obtenção dos dados em campo foi dividida em três etapas, mantendo a seguinte disposição:

- Campanhas de monitoramento contínuo;
- Ensaios de determinação de condutividade hidráulica, e
- Monitoramento dos níveis da água e condutividades elétricas dos aquíferos locais.

4.7.1 Campanhas de monitoramento contínuo

As campanhas de monitoramento foram realizadas em dois períodos, de forma a possibilitar uma comparação entre os dados obtidos em diferentes épocas sazonais, considerando a classificação climática de Köppen e Geiger (1936) para a cidade de Cubatão. A primeira campanha foi realizada entre 22/11/2012 a 03/01/2013 (período de chuvas) e a segunda entre 05/07/2013 a 08/07/2013 (período de seca). Em ambas as campanhas foram monitorados constantemente os seguintes parâmetros: (1) pressão atmosférica; (2) pluviometria; (3) colunas de água subterrânea nos poços de monitoramento selecionados; (4) altura dos níveis e taxas de condutividade elétrica do rio Cubatão e das águas subterrâneas; (5) alturas das marés oceânicas, e; somente na segunda campanha; (6) vazões e velocidades do rio Cubatão. Todos os equipamentos de medição utilizados nas campanhas de monitoramento contínuo, foram pré-programados para registrarem em suas memórias internas, um dado a cada dez minutos, de forma a possibilitar uma comparação cronológica equivalente entre as variáveis.

Em ambas as campanhas, foi mantido em local aberto (câmara sanitária do PMN-02A), um transdutor barométrico da marca Schlumberger do modelo Baro-Diver[®] com precisão de 0,50 cm e resolução de 0,10 cm, com o objetivo de obter dados da pressão atmosférica local, para a realização da compensação barométrica dos dados de pressão de coluna de água obtidos nos poços de monitoramento.

Logo após foi instalado, no topo da casa de bombas da lagoa de incêndio, um pluviômetro de precisão da marca Teledyne ISCO do tipo Rain Gauge 674[®], conectado a um equipamento de registro de dados do tipo Flow Logger 4120[®] desta mesma marca, para o armazenamento dos dados dos índices pluviométricos nos dois períodos. O pluviômetro utilizado tem uma estrutura em forma cilíndrica com um orifício coletor que oferece uma precisão de 1,50 % em precipitações de até 5,00 cm/h e 3,50 % a 9,00 % em precipitações de 13,00 cm/h.

Com o intuito de levantar dados de pressão de coluna de água para posterior cálculo dos valores das cargas hidráulicas e velocidades lineares médias dos aquíferos em análise, foram instalados, em ambas as campanhas, conjuntos de transdutores de pressão na altura das seções filtrantes dos poços de monitoramento PMN-02A, PMN-02B, PMN-02C, PMN-04A e PMN-04B c. Os transdutores utilizados foram da marca Schlumberger do modelo Cera-Diver[®], compostos por material cerâmico (Al_2O_3) desenvolvido especificamente para o monitoramento de águas subterrâneas em condições salobras potencialmente corrosivas, como as encontradas na área de estudo. Esses têm as mesmas especificações técnicas dos Baro-Divers[®], com exceção a sua precisão de 0,05 % e resolução de 0,20 cm quando utilizados em colunas de água de até 10,00 m de altura. Em complementação ao registro das oscilações das colunas de água, foram instalados transdutores da marca Heron Instruments Inc. (DipperLog[®]) e da marca In-Situ Inc. (Mini TROLL[®]), na bateria de poços de observação OW-24A, OW-24B e OW-24C na primeira campanha e somente no OW-24B na segunda campanha, os quais são compostos por material de titânio com precisão de 0,05 % e resolução de 0,005 %.

Para o cálculo das cargas hidráulicas momentâneas foi inicialmente realizado uma compensação barométrica da coluna de água obtida pelos transdutores de pressão em relação as pressões atmosféricas registradas pelo transdutor barométrico, subtraindo uma da outra. Logo após, realizou-se uma equivalência entre a coluna de água compensada com a profundidade da água subterrânea medida em campo no mesmo momento do primeiro registro dos transdutores, por meio de um medidor eletrônico de nível de água. Por fim, subtraíram-se os valores das cotas altimétricas de cada poço com a seu respectivo nível de água, obtendo desta forma os valores das cargas hidráulicas momentâneas.

Após o alojamento dos transdutores de pressão nos poços de monitoramento, foram instaladas sondas da marca In-Situ Inc. dos tipos Aqua TROLL 200[®] e Level TROLL 300[®], na primeira campanha, e TROLL 900[®], na segunda campanha, para medição das alturas superficiais e condutividades elétricas específicas do rio Cubatão com uma precisão de 0,10 % e resolução de 0,01 %. As sondas foram mantidas dentro de um tubo geomecânico com aberturas para a entrada da água, fixado por braçadeiras de aço na base da ponte da Avenida Nove de Abril, localizada a jusante da área de estudo. As medidas de altura do nível superficial do rio Cubatão foram compensadas à uma régua linimétrica já existente nesta mesma base de fixação, que possuía valores referenciados ao nível do mar.

Considerando que as taxas de condutividades elétricas em corpos de água superficiais e subterrâneos variam em função dos Sólidos Totais Dissolvidos (STD) presentes na água, e que estas variáveis têm relação direta com a salinidade (CETESB, 2005), foi utilizado a relação expressa na Tabela 4.2 de modo a possibilitar a classificação das taxas de salinidade do rio Cubatão e dos aquíferos locais.

Tabela 4.2 — Relação entre condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos

Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Sólidos Totais Dissolvidos (ppm)
< 1.000	0,68 x condutividade elétrica
1.000 – 4.000	0,75 x condutividade elétrica
4.000 – 10.000	0,82 x condutividade elétrica

Fonte: Neal (1995)

Segundo McNeely, Neimanis e Dwyer (1979), de acordo com a quantidade dos sólidos totais dissolvidos, as águas podem ser classificadas como: doces ($STD < 1.000$ ppm); ligeiramente salobras ($1.000 < STD < 3.000$ ppm); moderadamente salobras ($3.000 < STD < 10.000$ ppm) e salgadas ($10.000 < STD < 100.000$ ppm).

Com o objetivo de obter uma base de dados concisa das variações da maré em cada período (baixamar e preamar), foi realizado um levantamento dos valores das alturas das marés coletados periodicamente pelo marégrafo instalado pelo Centro de Hidrografia da Marinha (CHM, 2013) no ponto de registro Torre Grande, localizado no Porto de Santos (latitude $23^{\circ} 57,1' S$ / longitude $46^{\circ} 18,3' W$). Estes valores foram compilados para a comparação entre as oscilações da maré e do rio Cubatão.

Todos os dados obtidos das variáveis supracitadas foram inicialmente transferidos para programas de computador específicos de cada marca dos equipamentos e armazenados posteriormente no programa de computador Microsoft Excel[®] (formato “.xls”) da empresa Microsoft Corporation Inc. Por fim, todos os dados foram concatenados em uma única planilha permitindo a confecção de gráficos cronológicos do comportamento das variáveis, obtenção dos coeficientes de correlação (ρ de Pearson) para verificação do nível de similaridades entre variáveis dependentes e diagramas de caixa de modo a examinar similaridades de uma mesma variável entre as campanhas (épocas sazonais distintas).

De modo a obter dados das vazões (m^3/h) e velocidades absolutas (m/s) do corpo superficial adjacente à área em estudo (rio Cubatão), foram realizadas, somente na segunda campanha de monitoramento contínuo, 127 travessias com um conjunto de equipamentos específicos em três trechos distintos do rio Cubatão. O sistema utilizado foi formado por um medidor de correntes hidrostáticas ADCP[®] (*Acoustic Doppler Current Profiler*) composto por três equipamentos da marca SonTek que visaram a determinação das áreas das seções transversais (leito do rio) e das velocidades dos fluxos, possibilitando então o cálculo das vazões rio Cubatão em diferentes períodos e regiões. Entre os equipamentos utilizados estão o (1) River Surveyor M9[®]; (2) módulo de alimentação e comunicação, e; (3) Sistema de GPS por RTK. Todos os equipamentos foram montados em uma plataforma flutuante do tipo Hydroboard[®], com exceção do sistema de GPS por RTK que foi mantido em uma base local temporária nas margens do rio Cubatão.

O equipamento River Surveyor M9[®] possui nove transdutores acústicos, com tripla frequência, com um sistema que seleciona automaticamente a frequência apropriada para utilização do mesmo, dependendo das condições do meio. Deste total, quatro transdutores acústicos de 3,00 MHz e quatro de 1,00 MHz são utilizados para medições das velocidades da água e um feixe acústico central (ecobatímetro) de 0,50 MHz para medição de profundidades do leito do rio.

Este conjunto de transdutores oferece um alcance de 0,30 m à 80,00 m para a medição de profundidade e 0,30 m à 40,00 m para velocidade, uma precisão de 1,00 % da profundidade medida e resolução de 1,00 mm. Para a medição de velocidade obtém-se um alcance de aproximadamente 10,00 m/s, precisão de até 0,25 % da velocidade medida e resolução de 1,00 mm/s.

O módulo de alimentação e comunicação ou PCM (*Power Control Module*) tem como função fornecer energia elétrica para o sistema e realizar comunicação por rádio do receptor de GPS RTK. O sistema utilizado para referenciamento da trajetória da estação flutuante possui dois tipos de sistema de navegação, o *Bottom Track* que mede o deslocamento (velocidade e direção) do perfilador em relação ao fundo e também a distância até o fundo ao longo de cada feixe e o sistema de posicionamento em tempo real por RTK (*Real-Time Kinematic*), com precisão de 0,03 m e alcance de até 2,00 km em linha de vista para correção do sinal.

As localizações dos trechos das travessias foram escolhidas com base no processo de adaptação na utilização do método, garantindo os resultados que representassem da melhor forma as características do meio sob pesquisa, evitando quaisquer interferências no sinal do RTK.

O primeiro trecho foi realizado logo abaixo da ponte da Avenida Nove de Abril, no qual o transporte da plataforma foi executado pela passagem de uma corda amarrada na parte frontal da plataforma flutuante para o arraste da mesma e uma corda guia na traseira do sistema de modo a orientar sua passagem durante o trajeto. Neste, foram realizadas 41 travessias realizadas entre as 13:14:00 h e 17:58:00 h do dia 05/07/2013 e 07:29:36 h e 12:08:52 h do dia 06/07/2013.

O segundo trecho escolhido, localizava-se a jusante da ponte da Avenida Nove de Abril onde foram amostrados 76 dados das vazões e velocidades absolutas, registrados pelas travessias executadas durante a passagem da estação acoplada à um sistema único de cabos conectados à roldanas amarradas em pontos específicos nas margens do rio Cubatão, permitindo desta forma a realização das travessias de uma forma mais precisa e linear. Essas travessias foram realizadas no dia 06/07/2013 (12:26:19 h as 20:24:04 h) e 07/07/2013 (13:08:08 h as 21:00:30 h).

Por fim, foram executadas no terceiro trecho, dez travessias na margem do rio Cubatão em frente ao empreendimento em estudo, das 10:02:23 h às 11:10:20 h do dia 07/07/2013. Para a realização destes registros a plataforma flutuante foi amarrada por cordas em sua parte frontal e traseira, permitindo puxá-la de cada lado das margens.

Os dados obtidos durante as travessias foram processados e posteriormente interpretados pelo programa de computador River Surveyor live[®] da marca SonTek. Este permite o monitoramento em tempo real dos dados registrados e apresenta como resultado final, relatórios com as informações das medições e gráficos de contorno para a expressão das velocidades absolutas. A Figura 4.9 apresenta a distribuição dos equipamentos instalados nas campanhas de monitoramento contínuo, bem como a localização dos três trechos de travessias com o equipamento ADCP.

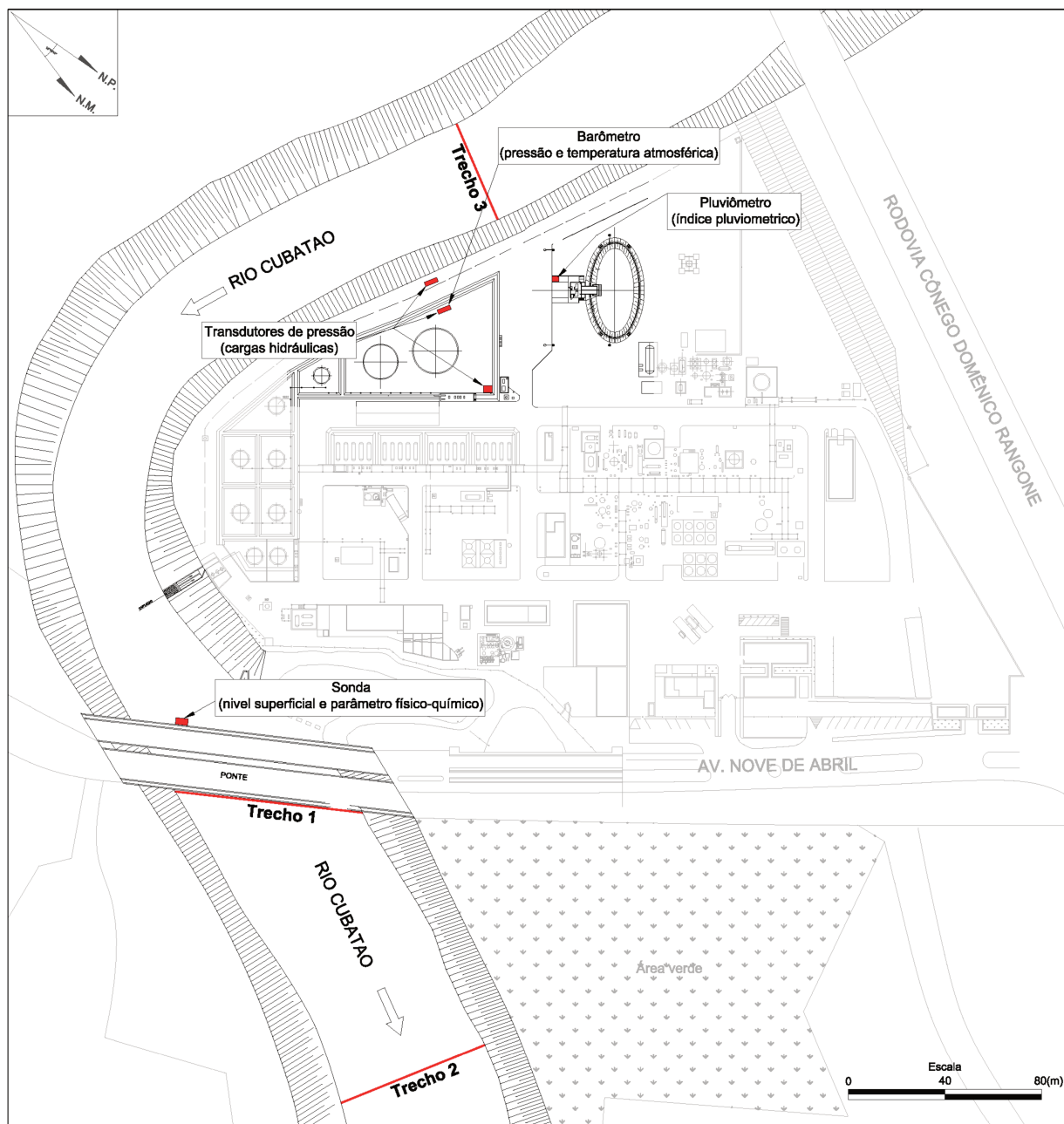


Figura 4.9 — Distribuição dos equipamentos e localização dos trechos das travessias

4.7.2 Determinação dos parâmetros hidrogeológicos

Foram executados no dia 25/04/2013, ensaios para a determinação da condutividade hidráulica (K) das porções intermediária e profunda do aquífero livre nos dois níveis (A e B) das baterias de poços de monitoramento PMN-01 e PMN-02. Os testes realizados seguiram a metodologia *Slug Test* (FREEZE; CHERRY, 1979), a qual consiste no monitoramento dos níveis de água sob a perturbação originada pela inserção e retirada de um cilindro maciço (*Slug*) de volume conhecido, por registros em tempos pré-determinados da recuperação do nível de água até sua estabilização (nível estático). Cada teste foi dividido em duas etapas, com e sem a presença do cilindro de volume conhecido, nomeados respectivamente de “CS - Com *Slug*” e “SS - Sem *Slug*” para efeito de comparação.

Para a obtenção e registro dos dados de pressão de coluna de água nos poços foi utilizado um transdutor de pressão da marca Schlumberger do modelo Cera-Diver[®], e utilizados dois cilindros maciços de nylon conectados por uma anilha de aço, com diâmetros externos de 1^{3/8}” e 1,00 m de comprimento cada unidade (volume total de 0,00196 m³), os quais proporcionaram um deslocamento teórico do nível de água dentro do poço de 0,96 m.

Antes do início de cada um dos testes, foi realizado o desenvolvimento de todos os poços selecionados de forma a liberar qualquer tipo de incrustação nas seções filtrantes que ocasionalmente poderiam ter se acumulado, permitindo desta forma que a água subterrânea pudesse fluir naturalmente nesta região.

Os dados obtidos nos testes de determinação da condutividade hidráulica foram inseridos no programa de computador Aquifer Test[®] (Waterloo Hydrogeologic Inc.), de acordo Hvorslev (1951), como descrita na Equação 2, que permite a obtenção dos valores de condutividades hidráulicas pontuais.

$$K = \frac{k\rho g}{\mu} \quad (2)$$

onde:

K = Condutividade hidráulica [L/L]
k = Permeabilidade intrínseca [L²]
ρ = Densidade do fluido [M/L³]
g = Aceleração da gravidade [L/T²]
μ = Viscosidade de fluido [M/(L.T)]

Os valores da condutividade hidráulica do PMN-02 (A e B), em conjunto com o registro contínuo das cargas hidráulicas momentâneas dos poços de monitoramento PMN-02 e PMN-04 (A e B), permitiram calcular os gradientes hidráulicos (i) para a obtenção das velocidades lineares médias das águas subterrâneas (v), ou em inglês “*seepage velocity*”, das porções rasa e profunda do aquífero livre, interpretando-se os dados na Equação 3, desenvolvida por Henry Darcy (apud FETTER, 1994).

$$V = \frac{(K \times i)}{\eta_e} \quad (3)$$

Onde:

V= Velocidade linear média da água subterrânea [L/T]
K= Coeficiente de condutividade hidráulica [L/T]
i= Gradiente hidráulico [L/L]
n_e= Porosidade efetiva [L³/L³]

Para caracterização hidrogeológica de uma camada litológica confinante, que será descrita no capítulo 5.1, foram interpretados os resultados dos ensaios de determinação do coeficiente de permeabilidade (k) dessa camada, executados por Waterloo (2009).

De acordo com este autor, esses ensaios seguiram as recomendações estabelecidas na norma técnica NBR 14545 (ABNT, 2000), utilizando um sistema de bureta de vidro graduada conectada a um permeâmetro preenchido com o sedimento argilo-siltoso amostrado (amostra indeformada) durante as sondagens dos poços do tipo DW. Após a montagem do sistema foi inserida a água subterrânea na bureta e monitorada a taxa de rebaixamento da mesma.

Os dados obtidos foram então interpretados por meio da Equação 4, a qual fundamenta-se na lei de Darcy, pressupondo a existência de proporcionalidade direta entre as velocidades de fluxo e o gradientes hidráulicos.

$$k = \frac{aH}{A\Delta t} \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right) \quad (4)$$

sendo que,

k = coeficiente de permeabilidade [L/T]

a = área interna da bureta de vidro [L²]

H = altura inicial do corpo de prova [L]

A = área inicial do corpo de prova [L²]

Δt = diferença entre os estantes t_2 e t_1 [T]

h_1 e h_2 = cargas hidráulicas nos instantes t_1 e t_2 [L]

4.7.3 Monitoramento dos níveis de água e condutividades elétricas dos aquíferos

Foi realizado no dia 10/10/2013 o levantamento altimétrico dos 78 poços selecionados para esta pesquisa e de cinco pontos na lagoa de incêndio, de modo a referenciá-los com o nível do mar, possibilitando o cálculo das cargas hidráulicas obtidas na área de estudo. Os valores das cotas topográficas foram obtidos por meio de levantamentos altimétricos, com o auxílio de um nivelador óptico da marca CST/Berger do modelo SAL28ND® e régua métrica graduada, a partir de visadas na mira, sobrepostas à superfície do terreno. Os levantamentos foram realizados nos mesmos pontos em que foram registrados os dados de níveis de água dos poços de monitoramento e referenciados com base na régua linimétrica da maré instalada na base da ponte da Avenida Nove de Abril (Cubatão / SP).

Durante o período entre os dias 11/10/2013 a 13/10/2013, foram realizados dois monitoramentos por dia do nível freático em 35 poços de diferentes tipos, instalados em diferentes zonas dos aquíferos locais, com um tempo de atraso máximo entre as medições dos níveis de água de 03:00:00 h. A Tabela 4.3. apresenta a relação dos poços selecionados, classificados de acordo com a zona do aquífero em que suas respectivas seções filtrantes foram instaladas.

Tabela 4.3 — Poços selecionados para o levantamento dos níveis de água de acordo com as porções dos aquíferos locais

Aquífero		Livre		Confinado
Porção	Superior	Intermediária	Inferior	Superior
Poços	OW-07C	OW-07B	OW-07A	DW-02
	OW-09C	OW-09B	OW-09A	DW-03
	OW-16C	OW-16B	OW-16A	DW-04
	OW-18C	OW-18B	OW-18A	-
	OW-21C	OW-21B	OW-21A	-
	OW-24C	OW-24B	OW-24A	-
	PMN-01C	PMN-01B	PMN-01A	-
	PMN-02C	PMN-02B	PMN-02A	-
	PMN-03C	PMN-03B	PMN-03A	-
	PMN-04A	-	PMN-04B	-
	-	-	OW-01D	-
	-	-	OW-09D	-
	-	-	OW-18D	-

O monitoramento foi realizado com o auxílio de um medidor elétrico de nível de água da marca Heron Instruments Inc. do tipo Dipper-T[®], com fita de 30,00 m graduada a cada 1,00 mm, no mesmo local onde foram obtidas as cotas planialtimétricas. Os dados de cotas das bocas dos poços, juntamente com a profundidade dos níveis de água, foram utilizados para o cálculo das respectivas cargas hidráulicas, necessárias para a confecção dos mapas potenciométricos locais. Durante o monitoramento foram coletadas amostras da água subterrânea com amostradores da marca Eon Products Inc. do tipo Superbailer Poly[®] para o monitoramento das condutividades elétricas do meio, obtidas pelo equipamento da marca Hach do tipo HQ40d[®].

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Geometria dos aquíferos

A caracterização geológica da área de estudo teve como base de informações, os dados obtidos nas descrições litológicas das sondagens realizadas preteritamente por três consultorias ambientais (SERVMAR, 2006; WATERLOO, 2009; AECOM, 2012), ao longo de sete anos (2006 a 2012) e publicadas em relatórios técnicos protocolados e disponíveis para vistas no acervo da CETESB.

Todas as informações obtidas foram compiladas e adequadas de forma a gerar perfis litológico-construtivos dos 79 poços considerados nesta pesquisa, possibilitando a confecção de oito seções geológicas, para o entendimento do meio geológico e hidrogeológico local. As seções geológicas foram distribuídas de acordo com a Figura 5.1 e encontram-se inseridos no Anexo 01 em conjunto com os perfis dos poços. Estes seguiram os procedimentos descritos na Instrução Normativa IN03/94, referente ao uso de simbologias em perfis individuais de sondagens e seções geológicas (DEINFRA, 1994).

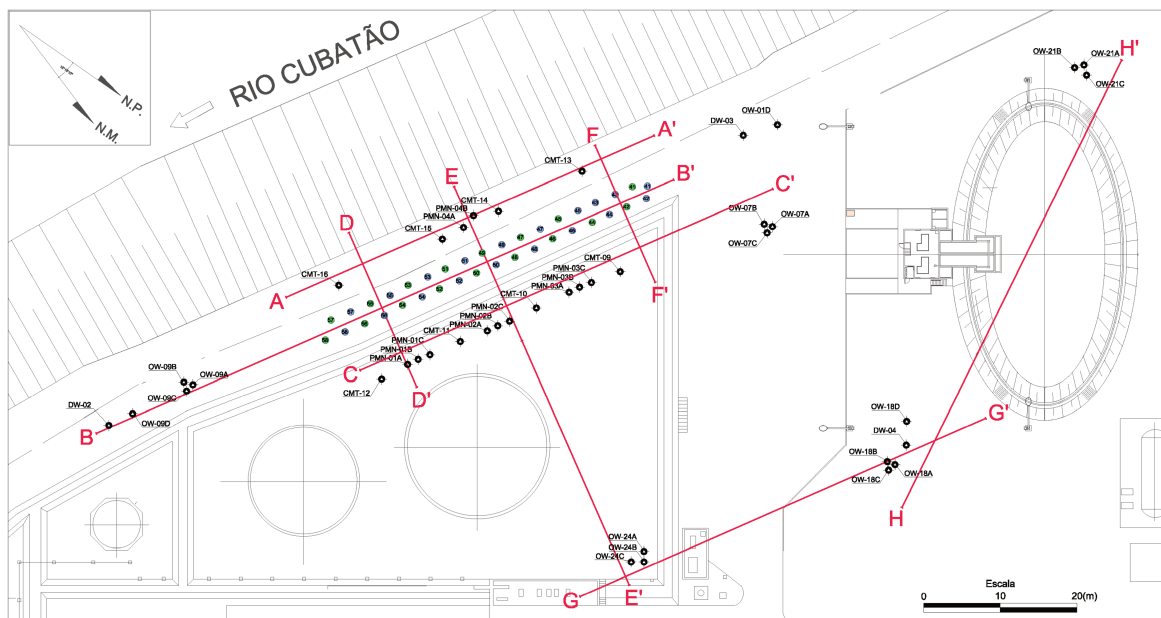


Figura 5.1 — Disposições dos cortes para as seções geológicas

O modelo estratigráfico local conta com quatro camadas principais compostas por variações litológicas disseminadas pela área pesquisada:

- Primeira camada (0,05 a 4,00 m de profundidade):
 - Aterro silte-argiloso, de coloração variegada, com fragmentos de rocha;
 - Aterro silte-arenoso, amarronzado com fragmentos de rocha e materiais tecnogênicos, e;
 - Aterro areno-siltoso, avermelhado, com alteração de gnaiss.
- Segunda camada (4,00 a 9,00 m de profundidade):
 - Sedimento silte-arenoso, avermelhado, com fragmentos de rocha;
 - Sedimento arenoso (fina), cinza esverdeado, e;
 - Sedimento arenoso (média), cinza esbranquiçado, com seixos de quartzo e fragmentos de rocha.
- Terceira camada (9,00 a 21,00 m de profundidade):
 - Sedimento argilo-siltoso, acinzentado, com alta plasticidade (camada confinante).
- Quarta camada (a partir de 21,00 m de profundidade):
 - Material arenoso (grossa), acinzentado, rico em muscovita e seixos de quartzo.

A área de estudo encontra-se a 5,00 m acima no nível médio do mar em ambiente estuarino, onde na região aterrada (primeira camada), predominam sedimentos de coloração marrom avermelhada, com granulometria variável de silte-argilosa para areno-siltosa com presença de fragmentos de rocha, os quais formam um pacote com espessuras variando entre 0,05 m a 4,00 m em toda a extensão da área analisada. Esta camada é bastante heterogênea quanto a sua composição, granulometria e compactação, pois é oriunda de material de empréstimo obtido em diversos locais e em diferentes épocas, segundo acervo de relatórios consultados.

A Seção Geológica E-E' corta em sua região central a antiga lagoa de resíduos A, entretanto, não foram instalados poços de monitoramentos nessa região, sendo apenas inferida. Por outro lado, as Seções Geológicas G-G' e H-H' cortam na porção noroeste da área em estudo, pelos conjuntos de poços OW-18 (A, B, C e D) e DW-04, uma parte da antiga lagoa de resíduos B. Essas seções apresentam uma camada de aterramento silte-arenosa que se distribui, nesses poços, da superfície do terreno até uma profundidade média de 4,00 m demonstrando que mesmo na região dessa lagoa, o solo de empréstimo utilizado foi similar que o das demais regiões aterradas.

Abaixo desta camada (segunda camada), foi observada uma sequência estratigráfica específica, característica de ambientes originados por sistemas de deposição aluvionar, similar à constatada por Oliveira, Cerri e Zaine (2007), composta por sedimentos fluviais, variando de silte-arenoso para arenoso (média), com presença de seixos de quartzo e fragmentos de rocha originados da antiga disposição dos meandros do rio Cubatão. Esta camada se distribui descontinuamente por toda a área analisada, com variações de profundidade de 4,00 m a 9,00 m.

A terceira camada ocorre de 9,00 m a 21,00 m de profundidade e é composta por um pacote espesso argilo-siltoso com alta plasticidade, de extensão regional, que serve como nível de base para o rio Cubatão.

A alteração do embasamento cristalino é caracterizada na quarta camada, e encontrada abaixo de 21,00 m com uma granulometria especificamente arenosa (grossa), rica em muscovita e seixo de quartzo.

A área de estudo tem um sistema de aquíferos de porosidade intergranular (primária). Esse sistema é composto por dois tipos principais de aquíferos, um livre e outro confinado, separados por uma camada confinante argilo-siltosa de baixa permeabilidade (aquitarde) e subdivididos em quatro horizontes distintos. As médias das cargas hidráulicas foram calculadas com base nos monitoramentos realizados em campo entre os dias 11 a 13/07/13.

O aquífero livre possui espessura média de 4,03 m, variando de 4,45 m na porção próxima ao rio Cubatão e reduzindo para 3,81 no sentido de sul para norte. No estudo, esse aquífero foi analisado com mais detalhe por meio de poços instalados na porção superior, intermediária e inferior. Nenhum dos poços de monitoramento considerados, com exceção ao OW-07C, têm suas seções filtrantes instaladas nas camadas de aterramento, não permitindo desta forma, uma análise da alteração do comportamento hidrogeológico das porções do aquífero livre, por parte das antigas lagoas de resíduos aterradas.

Porção superior do aquífero livre: representa o topo do aquífero que ocorre predominantemente em sedimentos silte-arenosos a arenosos (média) referentes à segunda camada estratigráfica descrita acima. Esta porção compreende o intervalo entre a franja capilar, que apresenta uma média das cargas hidráulicas de 1,524 m obtida por meio dos poços do tipo OW (07C, 09C, 16C, 18C, 21C e 24C) e PMN (01C, 02C, 03C e 04A).

Porção intermediária do aquífero livre: ocorre abaixo do nível freático, ainda composto por sedimentos da segunda camada, que são predominante arenosos (textura de fina a média) e é representada pelos poços do tipo OW e PMN com seção filtrante instalada no nível B. Esta porção apresenta uma carga hidráulica média de 1,358 m.

Porção inferior do aquífero livre: representada pelos poços do tipo OW (01D, 07A, 09A, 09D, 16A, 18A, 18D, 21A e 24A) e PMN (01A, 02A, 03A e 04B) com seções filtrantes instaladas também na segunda camada, os quais apresentaram uma carga hidráulica média de 1,373 m.

Aquitarde: representada pelos sedimentos argilo-siltosos da terceira camada, com cerca de 10,00 m de espessura. As descrições litológicas dos poços e as seções elaboradas indicam que essa camada é contínua em toda a área de estudo, reduzindo sua espessura na porção sudeste da área de estudo. Essa apresenta, segundo estudo realizado por Waterloo (2009), um coeficiente de permeabilidade médio de $1,14 \times 10^{-8}$ cm/s.

Porção superior do aquífero confinado: caracterizada pelos poços profundos do tipo DW com seção filtrante instalada na quarta camada, referente à região de alteração do embasamento cristalino, predominantemente arenosa (grossa).

5.2 Comportamento hidrodinâmico dos aquíferos

Os resultados obtidos na primeira (22/11/2012 a 03/01/2013) e segunda (05 a 08/07/2013) campanhas de monitoramento contínuo, testes hidrogeológicos (25/04/2013) e monitoramento dos níveis de água e condutividade elétricas dos aquíferos existentes (10 a 13/10/2013) serão apresentados conforme sua interrelação, seguindo a classificação apresentada abaixo:

1. Dados climáticos:
 - a. Pressões atmosféricas;
 - b. Temperaturas do ar atmosférico;
 - c. Índices pluviométricos.
2. Dados hidrológicos:
 - a. Alturas das marés;
 - b. Níveis superficiais, velocidades, vazões e taxas de condutividades elétricas do rio Cubatão.
3. Dados hidrogeológicos:
 - a. Condutividades hidráulicas das zonas saturadas;
 - b. Cargas hidráulicas dos aquíferos locais;
 - c. Taxas de condutividade elétrica da água subterrânea.

As matrizes de coeficiente de correlação (ρ de Pearson) calculadas para quantificar a interrelação entre as variáveis encontram-se no Anexo 03, e suas interpretações seguiram as considerações do estudo de Dancey e Reidy (2006).

5.2.1 Dados climáticos

Os dados registrados apresentaram médias das pressões atmosféricas e temperaturas do ar na primeira e segunda campanhas de 805,395 mmHg e 29,26 °C e 764,60 mmHg e 24,51 °C, respectivamente. Os índices pluviométricos médio e acumulado registrados na primeira campanha foram de 0,028 mm, 335,90 mm, respectivamente, com um valor máximo diário de 9,200 mm. Já na segunda campanha, foram de 0,010 mm e 4,40 mm, respectivamente, com uma máxima diária registrada de 2,20 mm.

Como efeito de comparação, foram analisados os dados registrados pela Plataforma de Coleta de Dados (PCD) administrada por SINDA (2012) e instalada na cidade de Cubatão a aproximadamente 7,00 km lineares do pluviômetro utilizado nesta pesquisa, os quais apresentaram índices pluviométricos acumulados nos períodos referentes às campanhas de monitoramento contínuo de 701,75 mm e 9,50 mm, respectivamente. O índice acumulado obtido na primeira campanha em campo é similar ao do PCD de SINDA (2012), levando em consideração que o período registrado de três meses representou uma média de 5,48 mm/dia contra os 16,32 mm/dia obtidos por esta instituição. Estes valores enquadram-se nos padrões normais anuais registrados por CPTEC (2013) de 2.000 mm/ano para esta região.

Os resultados evidenciam a interrelação natural entre os três eventos atmosféricos monitorados, onde o aumento da pressão atmosférica originado pela diferença de temperatura, corrobora com o aumento nos índices pluviométricos. Este fator é apresentado por meio do diagrama de caixa apresentado no Gráfico 5.1, e demonstra uma mediana dos valores de pressões atmosféricas mais elevada na primeira campanha, acarretando em índices mais elevados de precipitações neste período.

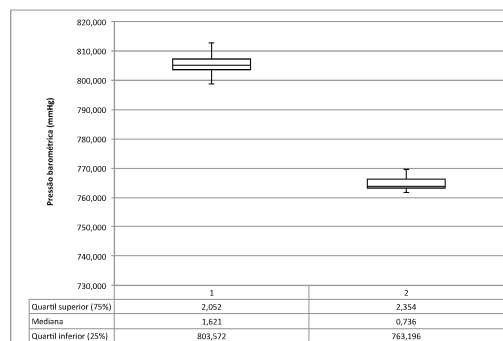


Gráfico 5.1 — Diagrama de caixa das pressões atmosféricas entre as campanhas de monitoramento contínuo

5.2.2 Dados hidrológicos

O levantamento das variáveis hidrológicas apresentou, em ambas as campanhas, alturas máximas da maré de 14,00 m e variações do nível superficial do rio Cubatão de $-0,03$ m a 2,17 m e 0,43 m a 1,91 m, respectivamente em cada uma das campanhas. Foi obtido, em média, entre os dois períodos monitorados uma elevação máxima entre medições subsequentes da maré de 13,50 m em um período de 06:32:00 h, e como resposta à esta variação o rio Cubatão elevou em média 1,35 m de seu nível superficial. Por outro lado foi registrado um rebaixamento mínimo subsequente dos níveis da maré de 13,00 m em um período de 06:45:00 h, o qual refletiu em um rebaixamento de 0,58 m do rio Cubatão.

Estas interpretações indicam que a influência das oscilações das alturas da maré em relação aos níveis do rio Cubatão, são mais expressivas nos períodos de transição entre maré baixa para alta, o qual representou 10,00 % da elevação máxima da maré, quando em comparação com períodos entre marés altas para baixas, representando apenas 4,46 % do rebaixamento máximo da maré. No diagrama de caixa apresentado no Gráfico 5.2, ambas as campanhas registraram oscilações similares dos níveis superficiais do rio Cubatão, entretanto a segunda campanha apresentou uma maior dispersão dos dados em seu quartil inferior, indicando variações das alturas superficiais neste período com uma concentração maior de dados abaixo da mediana.

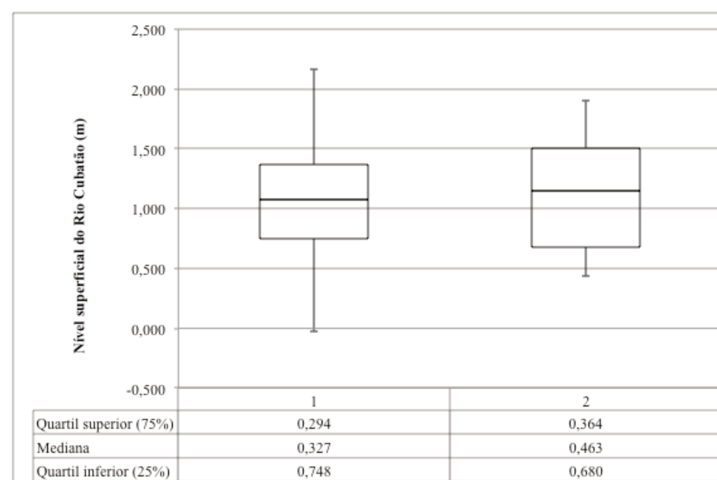


Gráfico 5.2 — Diagrama de caixa das oscilações dos níveis superficiais do rio Cubatão

No Gráfico 5.3, representado pelas oscilações dos níveis superficiais destes parâmetros em comparação com o tempo de ambos os períodos monitorados, observa-se que os níveis da maré refletem diretamente nos níveis do rio Cubatão, com um fator de correlação de Pearson (ρ) de 0,85. Esta correlação não é precisamente linear devido à distância do ponto de monitoramento dos níveis do rio Cubatão, o qual encontrava-se a mais de 17,00 km lineares do ponto de obtenção dos dados de elevação da maré, distância referente à elevada massa de água do rio que a entrada de água do mar deve vencer de modo a conter parcialmente a saída de água do rio para o mar e elevar o nível deste corpo superficial.

As quatro fases da lua influenciam na amplitude das oscilações das marés, pois são maiores no período das luas cheia e nova (maré de sizígia) e menores nas luas minguante e crescente (maré de quadratura). O período monitorado de aproximadamente três meses na primeira campanha apresentou três períodos de sizígia e dois de quadratura, já os quatro dias de monitoramento da segunda campanha representaram apenas uma transição da lua minguante (quadratura) para nova (sizígia). Em ambas as campanhas ocorreu uma maior sincronia entre as alturas da maré com os níveis do rio Cubatão em períodos de quadratura, devido à menor variação das alturas da maré quando em comparação com marés de sizígia.

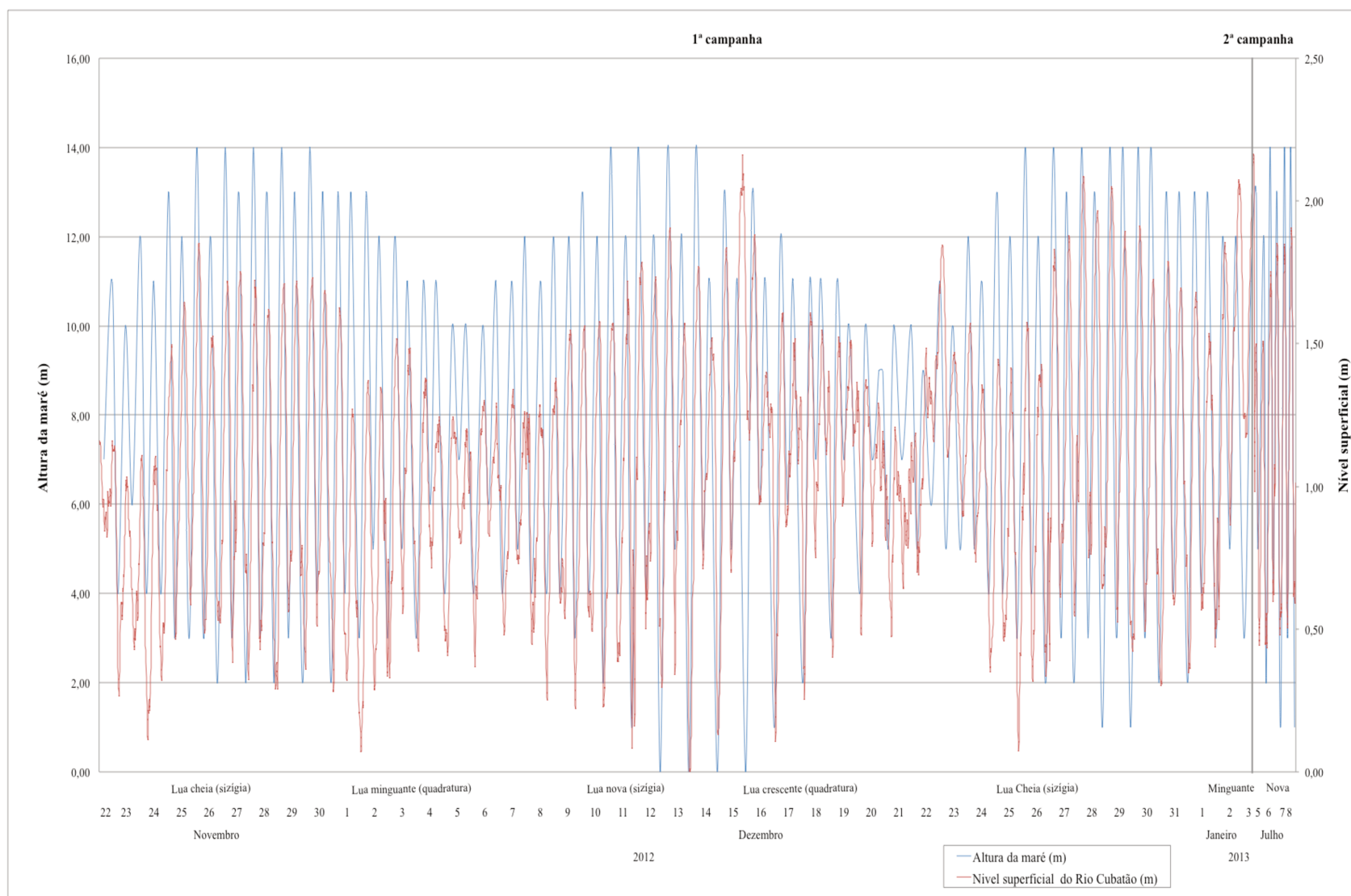


Gráfico 5.3 — Inter-relação entre a variação da altura de maré e o nível superficial do rio Cubatão
(22/11/2012 a 03/01/2013 e 05 a 08/07/2013)

Em conjunto com as medições dos níveis superficiais, foram monitorados os valores de condutividade elétrica do rio Cubatão, sendo estes representativos das mudanças no comportamento do rio. O Gráfico 5.4 exibe os valores registrados de condutividade elétrica no rio Cubatão, que apresentaram respectivamente valores máximos em cada campanha de monitoramento contínuo de 16.927,14 $\mu\text{S/cm}$ (31,35 $\mu\text{S/cm}$ a 16.958,49 $\mu\text{S/cm}$) e 10.307,68 $\mu\text{S/cm}$ (118,80 $\mu\text{S/cm}$ a 10.426,48 $\mu\text{S/cm}$). Seguindo a correlação de Neal (1995), a respeito da interrelação da condutividade elétrica com os Sólidos Totais Dissolvidos no rio, observa-se que os valores máximos obtidos em ambas as campanhas são indicativos de águas salgadas (13.880,25 STD e 8.452,30 STD), entretanto as medianas obtidas nas campanhas de monitoramento contínuo foram respectivamente 154,23 $\mu\text{S/cm}$ e 693,51 $\mu\text{S/cm}$, indicando que na maior parte do tempo, o rio Cubatão possui características de água doce (104,88 STD e 471,59 STD).

Foram obtidos picos esporádicos, com elevados valores de condutividade elétrica, em relação às variações da maré e do rio Cubatão acompanhando, com uma fraca correlação de Pearson (0,014), as oscilações da mesma. No entanto, esses picos correspondem à elevação do nível de água do rio e consequentemente da maré. Durante a máxima diferença entre as transições registradas das marés baixas para altas (média de 13,50 m), os valores de condutividade elétrica aumentaram em média 1.559,99 $\mu\text{S/cm}$, e durante a máxima diferença entre as transições registradas das marés altas para as baixas (13,00 m) os valores de condutividade elétrica diminuíram 1.249,13 $\mu\text{S/cm}$, demonstrando, em conformidade aos resultados obtidos no estudo de Alberti, Francani, La Licata (2009) realizado no vale Esino (Itália), a influência dos períodos das marés em relação aos valores de condutividade elétrica do rio Cubatão, pelas elevações das taxas desta variável em períodos de cheias, pelo aporte de água salgada (ou de sua mistura) do mar no rio.

A sensibilidade das variações da condutividade elétrica em decorrência das marés e ao ciclo lunar foi notada na análise dos picos desta variável. Na primeira campanha foram constatados 03 picos principais das condutividades elétricas (25/11, 09 e 10/12/12), que apresentaram um período médio de permanência no rio de 09:20 h. Todos os três picos foram registrados em períodos de sizígia, sendo que o pico com o maior valor registrado (16.958,49 $\mu\text{S}/\text{cm}$) foi em lua nova com um tempo de atraso 01:50. Já na segunda campanha, os valores foram mais elevados e frequentes conforme os períodos da maré alta em lua nova (sizígia). Estes comportamentos correspondem aos obtidos no estudo de Abarca et al. (2009), sendo um forte indicativo que as maiores variações dos níveis superficiais do rio Cubatão, geradas nos períodos de sizígia (lua nova), aumentam as taxas de infiltração da água do rio nos aquíferos.

Os valores mais elevados das condutividades elétricas foram registrados nos períodos menos chuvosos, pelo fato da vazão do rio diminuir e por isso o acesso da água do mar no rio Cubatão é facilitado, aumentando a salinidade das águas superficiais e a frequência dos acessos da pluma salina no canal do rio. Nas incidências de chuvas, há o predomínio das águas doces e conseqüentemente de menor condutividade elétrica, oriundo da maior vazão do rio (que é alimentado pelos rios de corredeira da Serra do Mar).

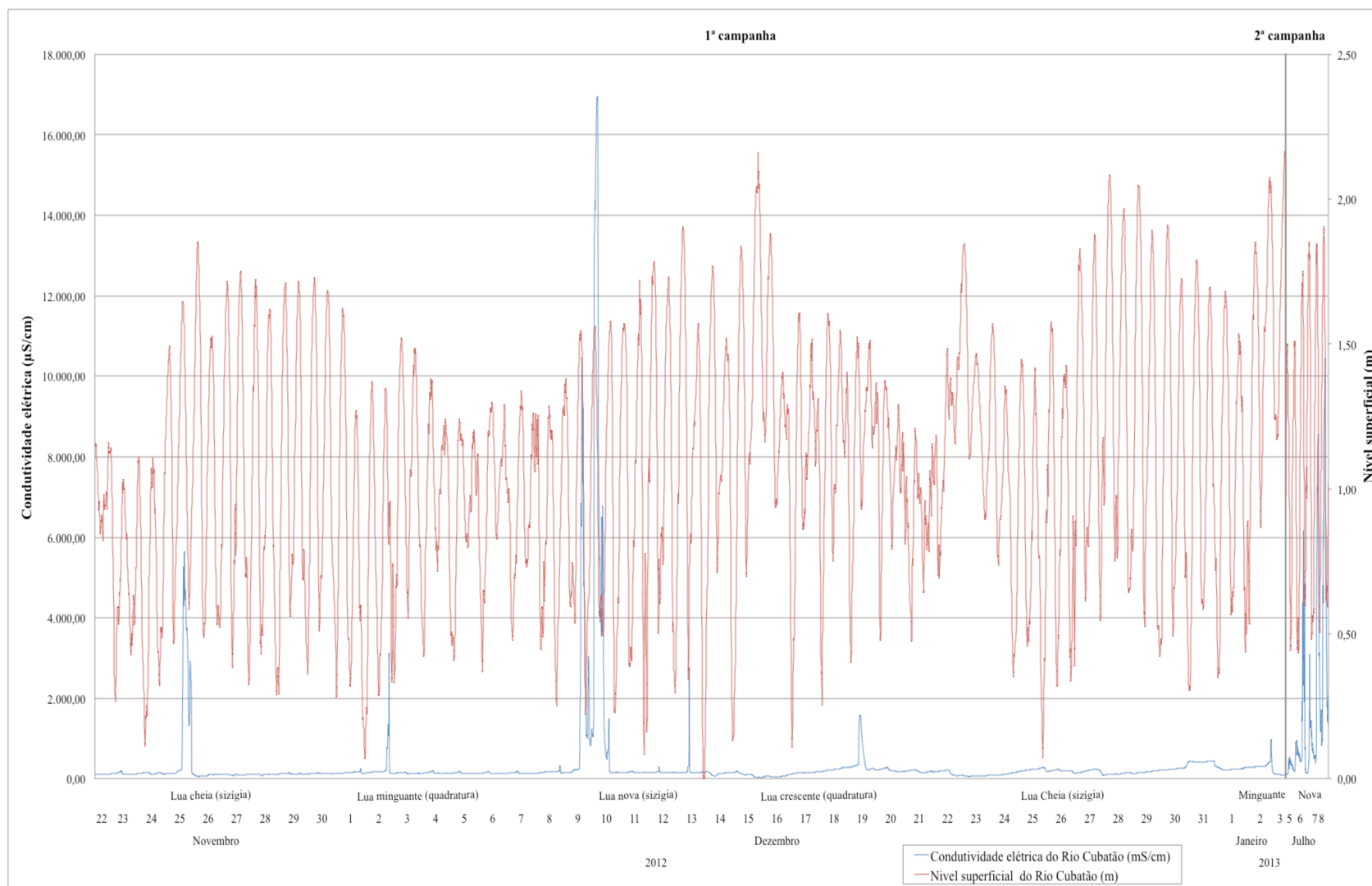


Gráfico 5.4 — Inter-relação entre o nível superficial e a condutividade elétrica do rio Cubatão
(22/11/2012 a 03/01/2013 e 05 a 08/07/2013)

De modo a complementar a caracterização da dinâmica do rio Cubatão, foram realizadas travessias em três trechos com o conjunto de equipamentos ADCP®, para obtenção dos dados das vazões e velocidades de escoamento do rio sob influência direta da maré. O Anexo 04 apresenta os relatórios das medições com as informações dos dados coletados pelo conjunto de equipamentos ADCP e o Gráfico 5.5 apresenta o registro das alturas da maré em relação ao período de execução de cada travessia.

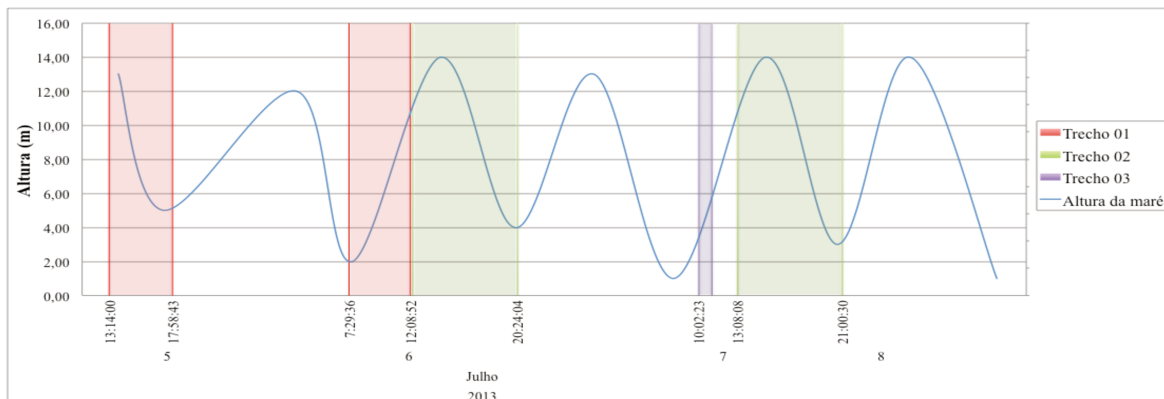


Gráfico 5.5 — Registro das condições da altura da maré em relação ao período de execução de cada travessia (05 a 08/07/2013)

O mapeamento do leito do rio Cubatão nos trechos analisados, apresentou uma geometria variável de acordo com a posição de cada trechos das travessias, com uma área média de $209,39 \text{ m}^2$, comprimento máximo das margens das travessias de 97,32 m (72,29 m em média) no trecho 02 e profundidades máximas de aproximadamente 4,00 m, 3,50 m e 3,00 m, respectivamente para cada trecho, conforme ilustrado na Figura 5.2.

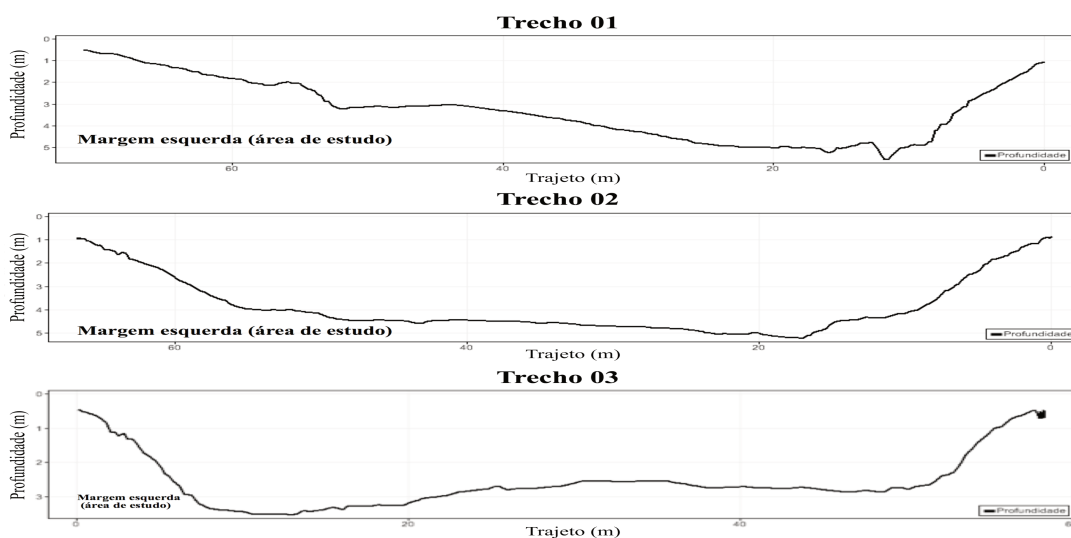


Figura 5.2 — Mapeamento do leito do rio Cubatão no Trechos 01, 02 e 03

Abaixo encontra-se um resumo dos resultados obtidos em cada um dos trechos das travessias, de acordo com os períodos da maré. Por uma questão de classificação, os valores positivos das velocidades e vazões obtidas representam o fluxo do rio em sentido ao mar e os valores negativos referem-se ao sentido invertido, do mar para o rio.

Trecho 01 (ponte da Avenida Nove de Abril)

- Primeiro período da maré: cheia (05/07/2013 das 13:14:00 as 13:36:40 h).
 - Velocidade média: -0,027 m/s;
 - Vazão média: -7,659 m³/s.
- Segundo período da maré: vazante (05/07/2013 das 14:50:56 as 17:58:43 h).
 - Velocidade média: 0,067 m/s;
 - Vazão média: 15,737 m³/s.
- Terceiro período da maré: vazante (06/07/2013 das 07:29:36 as 07:43:27 h).
 - Velocidade média: 0,040 m/s;
 - Vazão média: 8,335 m³/s.
- Quarta período da maré: cheia (06/07/2013 das 07:50:32 as 12:08:52 h).
 - Velocidade média: 0,022 m/s;
 - Vazão média: 4,772 m³/s.

Trecho 02 (jusante da ponte da Avenida Nove de Abril)

- Primeiro período da maré: cheia (06/07/2013 das 12:26:19 as 14:57:19 h).
 - Velocidade média: 0,021 m/s;
 - Vazão média: 4,392 m³/s.
- Segundo período da maré: vazante (06/07/2013 das 15:03:19 as 20:02:12 h).
 - Velocidade média: 0,203 m/s;
 - Vazão média: 36,420 m³/s.
- Terceiro período da maré: cheia (06/07/2013 das 20:07:58 as 20:24:04 h).
 - Velocidade média: 0,197 m/s;
 - Vazão média: 33,036 m³/s.
- Quarto período da maré: cheia (07/07/2013 das 13:08:08 as 15:22:46 h).
 - Velocidade média: 0,025 m/s;
 - Vazão média: 5,839 m³/s.
- Quinto período da maré: vazante (07/07/2013 das 15:28:37 as 20:48:10 h).
 - Velocidade média: 0,074 m/s;
 - Vazão média: 14,344 m³/s.
- Sexto período da maré: cheia (07/07/2013 das 20:54:22 as 21:00:30 h).
 - Velocidade média: 0,026 m/s;
 - Vazão média: 4,463 m³/s.

Trecho 03 (frente da área de estudo)

- Único período da maré: vazante (07/07/2013 das 10:02:23 as 11:10:20 h).
 - Velocidade média: 0,035 m/s;
 - Vazão média: 5,460 m³/s.

Em geral, o rio Cubatão apresentou uma velocidade média de 0,081 m/s, com máxima de 0,393 m/s, e média das vazões de 15,369 m³/s, com máxima de 67,913 m³/s, sendo todos os valores máximos obtidos no Trecho 02. Nos períodos de cheias a média das velocidades foi de 0,031 m/s e das vazões de 5,700 m³/s e nos períodos de vazante foi constatado médias das velocidades de 0,116 m/s e das vazões de 22,073 m³/s; os períodos de vazante da maré facilitam a saída de água do rio Cubatão em sentido ao mar. As velocidades e vazões registradas no rio Cubatão foram baixas, devido a pequena diferença de cargas entre este parâmetro e o nível médio do mar, com uma diferença máxima registrada de 2,168 m (média de 1,072), considerando os dados das alturas superficiais do rio Cubatão em ambas as campanhas de monitoramento contínuo. As únicas constatações de mudanças no sentido do fluxo do rio (valores negativos) foram registradas no momento de transição entre o período de vazante para cheia, devido aos esforços naturais sofridos pelo mar de modo a vencer as forças de aceleração da gravidade e a massa de água do rio e iniciar sua elevação. Todas essas interpretações assemelham-se às citadas no estudo de Pritchard (1955).

A análise do regime e da estrutura do leito do rio Cubatão fornece indícios de possíveis zonas de compartilhamento de águas entre o rio Cubatão e os aquíferos locais, por meio da interpretação visual dos gráficos de velocidade absoluta entre os três trechos das travessias, considerando aspectos citados no estudo de Woessner (2000), como: (1) curvaturas no eixo principal do leito do rio; (2) disposições das margens, e; (3) posições das zonas de velocidades nas seções transversais do rio.

Verifica-se na Figura 5.3, que nas travessias executadas no rio Cubatão a montante da área de estudo (Trecho 03), o fluxo da água mantém-se para leste e a margem esquerda representa a região mais profunda e com as menores velocidades do leito do rio neste trecho, devido à pressão que a água do rio aplica contra esta margem, sendo este um resultado da curvatura (90° para norte) que o eixo principal do rio sofre a jusante, favorecendo desta forma, processos erosivos e a contribuição do rio para os aquíferos locais nesta margem, enquanto a margem direita recebe neste trecho, apenas a deposição de sedimentos transportados pelo fluxo livre do rio.

Após a curvatura do rio Cubatão, no Trecho 01, a margem direita passa a sofrer erosão resultante do aumento das velocidades da margem direita antes da curva do rio e a margem esquerda apresenta características de um ambiente de deposição de sedimentos (pouco íngreme), sendo que as baixas pressões da água contra este lado do leito do rio permitem que as águas subterrâneas fluam para dentro do rio neste trecho. Já a jusante deste ponto, no final do trechos analisados (Trecho 02), as velocidades se distribuem uniformemente nas porções do rio, sendo mais elevadas na região superior, devido à disposição linear do leito do rio.

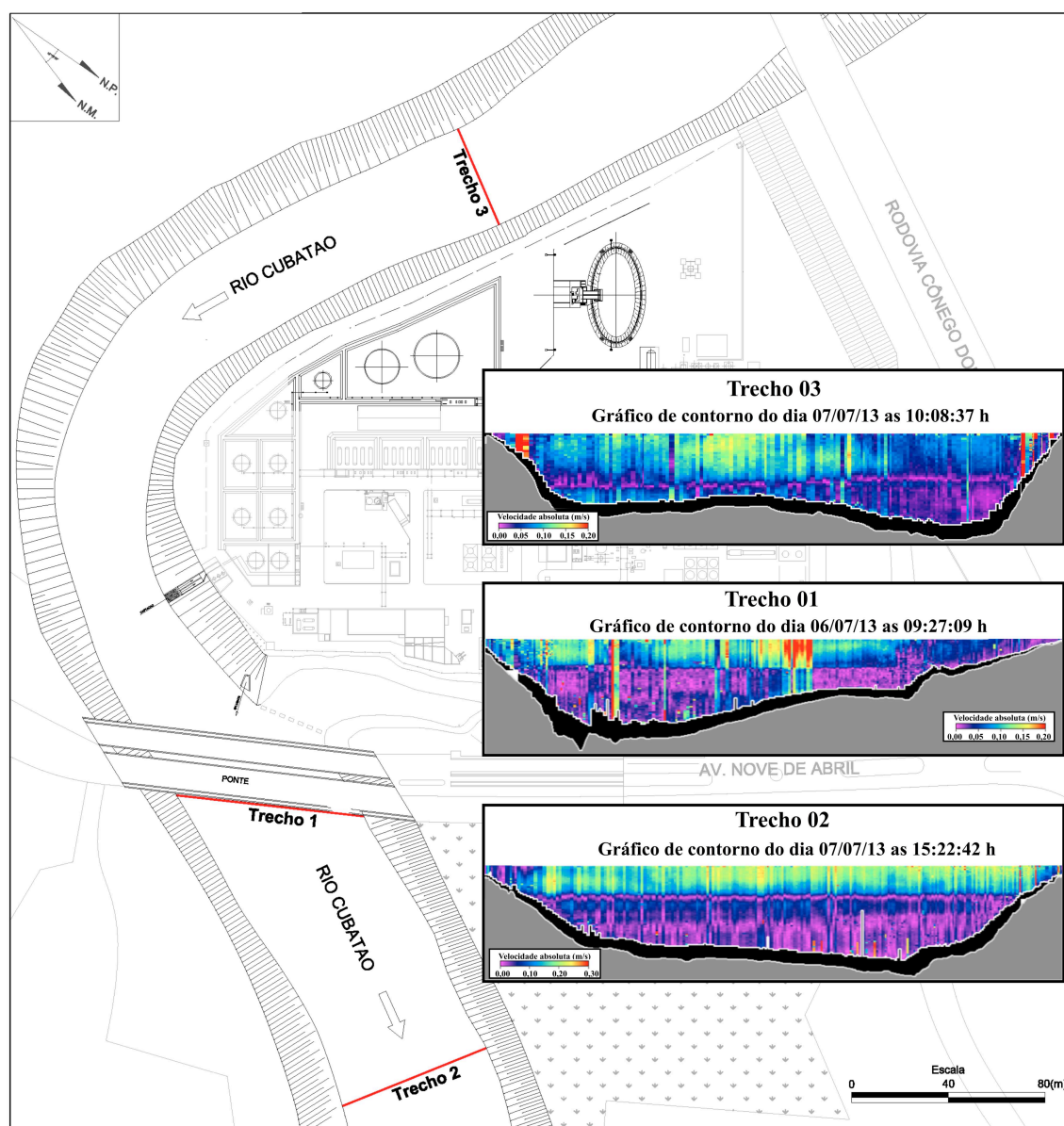


Figura 5.3 — Análise do regime e da estrutura do leito do rio Cubatão em períodos de cheias da maré

A profundidade do leito do rio influencia nas vazões e velocidades do fluxo, ou seja, quanto maior a distância entre a superfície da água e o fundo do rio, mais elevadas serão as velocidades, pois uma pequena porção inferior da água sofrerá atrito com o fundo do rio, permitindo que as porções intermediárias e superficiais fluam livremente. Entretanto, este evento se altera, como citado anteriormente, em regiões de alta pressão da água fluindo contra uma margem específica e também nas mudanças dos períodos de vazante para cheia, como se pode observar na Figura 5.4.

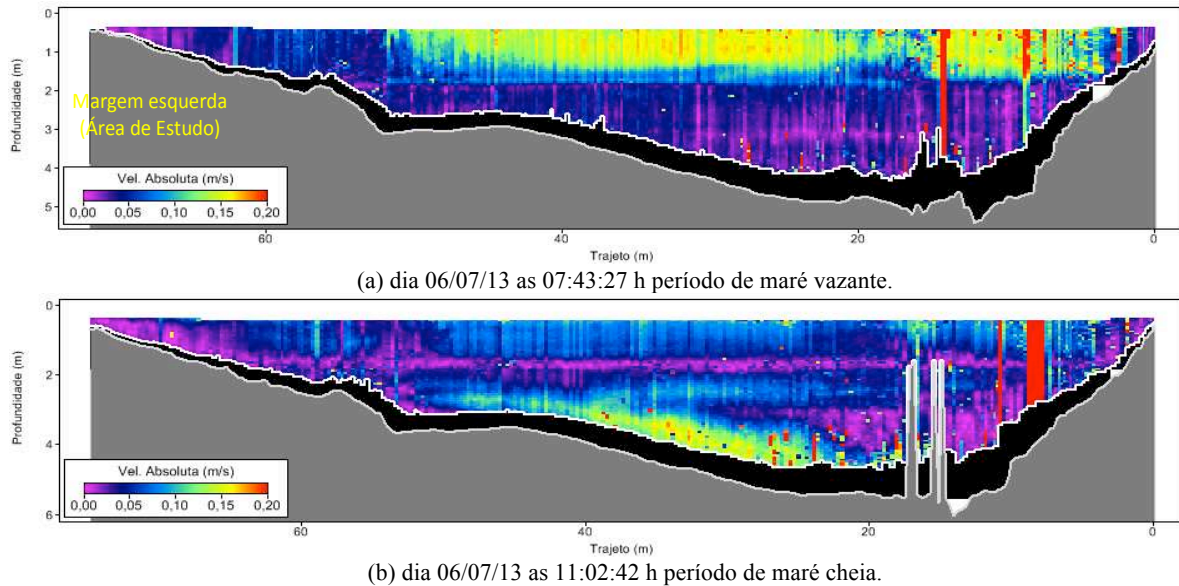


Figura 5.4 — Gráficos de contorno das velocidades absolutas de escoamento do rio Cubatão no Trecho 01

No primeiro momento (a), a maré que estava em vazante permitia que o rio fluísse naturalmente no sentido do mar, neste período as maiores velocidades estão próximas à superfície do rio. Logo após a maré atingir seu mínimo (2,00 m) e iniciar a mudança de seu regime para cheia (b), nota-se que após 03:19:15 h, as maiores velocidades encontram-se no fundo do leito do rio. Suspeita-se que na mudança entre períodos de vazante e cheia, a saída de água que era praticamente superficial, encontra um equilíbrio com o nível do mar até sofrer uma diminuição desta saída, devido a diferença de pressão entre a parte superior e inferior do rio, forçando então a entrada de água pela parte inferior do rio.

5.2.3 Dados hidrogeológicos

5.2.3.1 Parâmetros hidrogeológicos

As condutividades hidráulicas mantiveram-se na ordem de grandeza 10^{-2} cm/s com um valor médio de $1,98 \times 10^{-2}$ cm/s, o qual refere-se a aquíferos porosos altamente permeáveis (FREEZE; CHERRY, 1979). A Tabela 5.1 reúne os resultados das condutividades hidráulicas saturadas das porções intermediária e profunda do aquífero livre e o Anexo 05 apresenta os gráficos e valores das condutividades hidráulicas obtidas por meio do programa de computador Aquifer Test[®].

Tabela 5.1 — Resultados das condutividades hidráulicas obtidas

Poço selecionado	Etapas do teste	Condutividade hidráulica (cm/s)
PMN-01A	CS	$3,84 \times 10^{-2}$
	SS	$1,45 \times 10^{-2}$
PMN-01B	CS	$1,16 \times 10^{-2}$
	SS	$1,58 \times 10^{-2}$
PMN-02A	CS	$1,46 \times 10^{-2}$
	SS	$1,30 \times 10^{-2}$
PMN-02B	CS	$3,10 \times 10^{-2}$

Legenda:

CS - Monitoramento da recuperação do nível dinâmico até o estático após a inserção do cilindro de volume conhecido (*Slug*).

SS - Monitoramento da recuperação do nível dinâmico até o estático após a remoção do cilindro de volume conhecido (*Slug*).

Os resultados dos ensaios executados por Waterloo (2009), para a determinação dos coeficientes de permeabilidade (k) das amostras indeformadas do sedimento argilo-siltoso (camada confinante) coletado nas sondagens dos poços DW-02, DW-03 e DW-04, apresentaram valores extremamente baixos, com uma média de $1,14 \times 10^{-8}$ cm/s, conferindo ao aquífero abaixo desta camada de sedimento argilo-siltoso, uma condição de aquífero confinado não drenante, considerando que esta zona aquífera estende-se até o embasamento da bacia.

5.2.3.2 Dinâmica das águas subterrâneas

Durante as campanhas de monitoramento contínuo foram registradas, respectivamente, médias das cargas hidráulicas de 1,06 m e 2,04 m, sendo as mínimas registradas no PMN-02C (0,05 m) e PMN-04B (0,78 m) e a máximas no PMN-04A (1,88 m) e PMN-02C (2,95 m). Foi então realizada uma correlação entre as cargas hidráulicas registradas em todos os poços selecionados e compiladas no Gráfico 5.6, em conjunto com os índices pluviométricos preteritamente interpretados, objetivando a verificação de eventuais similaridades no comportamento das oscilações das cargas hidráulicas e a constatação de quaisquer efeitos singulares durante os períodos monitorados.

Os períodos de maior intensidade de precipitações não influenciaram expressivamente nos níveis das superfícies potenciométricas, apresentando uma correlação máxima de - 0,055 (OW-24C) entre estes parâmetros, fato ocorrido por três razões plausíveis: (1) o tempo e volume das precipitações não foram suficientes para que as águas das chuvas atingissem o nível freático e alterassem o nível da superfície potenciométrica; (2) os elevados valores de condutividade hidráulicas saturadas influenciam a velocidade de resposta do aquífero em relação a distribuição do volume de água da recarga recebida pelas chuvas, o qual é distribuído rapidamente para toda extensão do aquífero livre, não alterando expressivamente o nível do aquífero freático, e; (3) a alteração nas superfícies potenciométricas, originada pela recarga das chuvas, foi ínfima em comparação ao distúrbio de outras interferências.

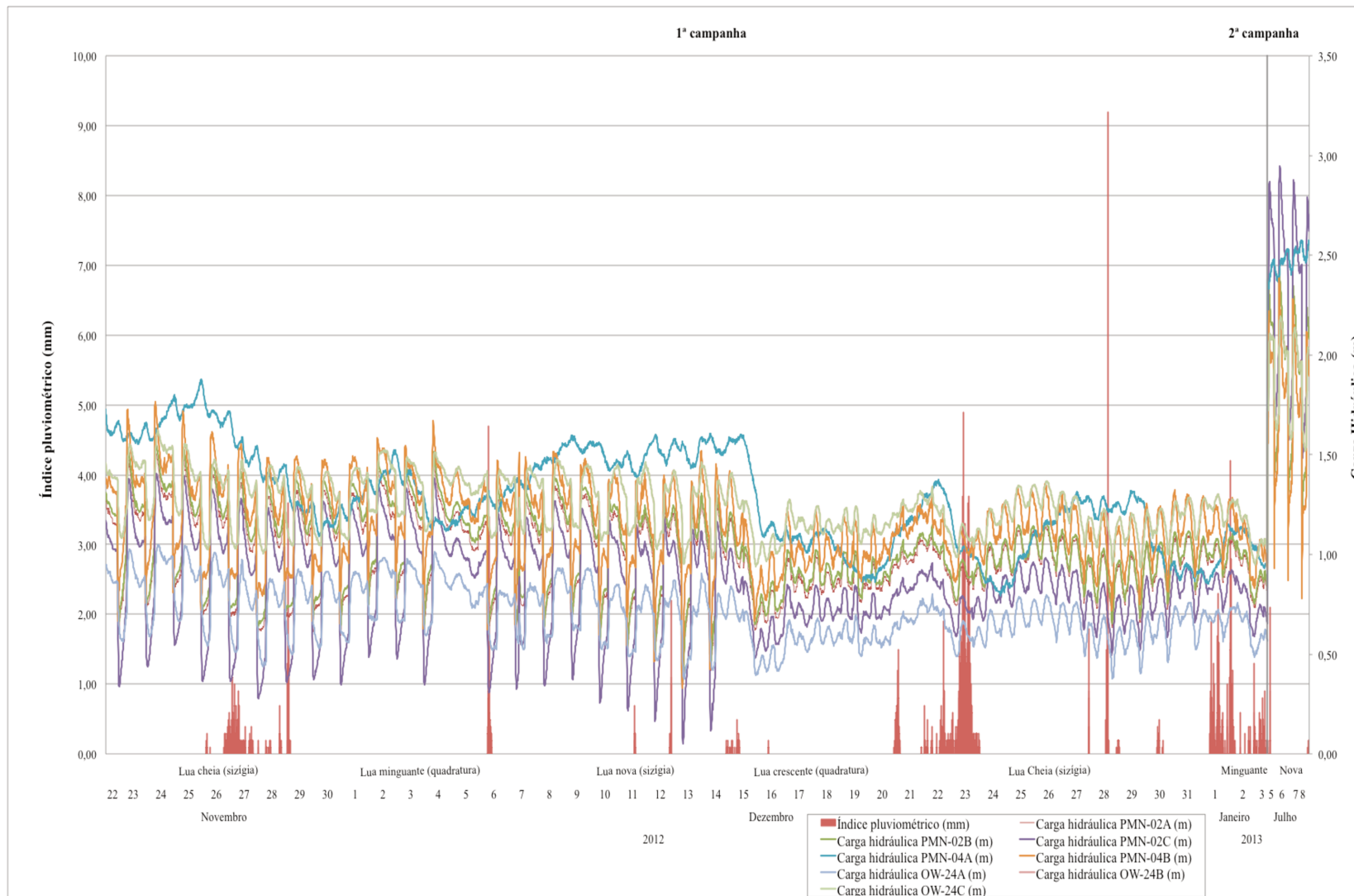
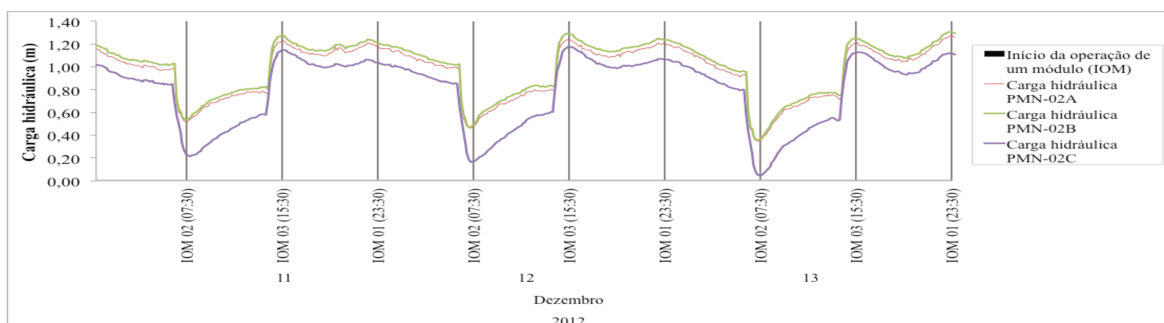


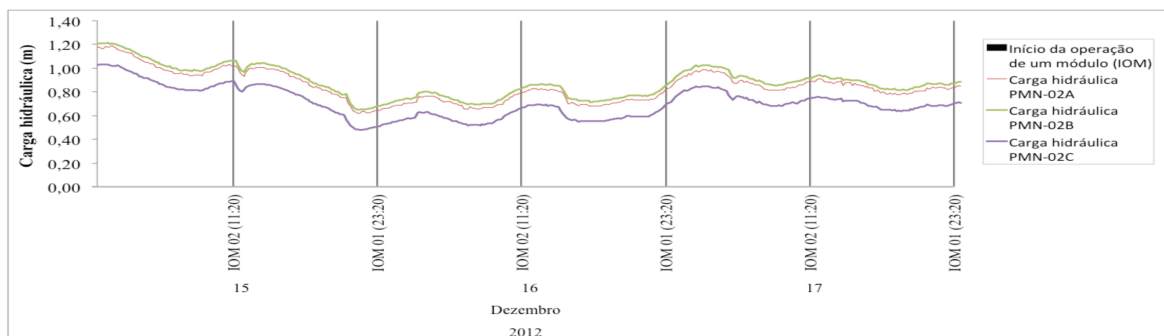
Gráfico 5.6 — Comparação das cargas hidráulicas dos poços monitorados com o índice pluviométrico registrado (22/11/2012 a 03/01/2013 e 05 a 08/07/2013)

As cargas hidráulicas apresentaram comportamentos similares entre os poços monitorados, entretanto observa-se uma mudança brusca em suas amplitudes durante a primeira campanha a partir das 15:30 h do dia 14/12/2012, ocasionada pelo desligamento para manutenção do Módulo 03 do sistema de remediação, segundo o controle interno dos operadores da petroquímica.

A influência do sistema de remediação no comportamento das cargas hidráulicas analisadas é observada no Gráfico 5.7 (a), onde no início de cada período de injeção de ar pelos poços SW do Módulo 03 na zona saturada, ocorre uma elevação repentina das cargas hidráulicas e mantém os níveis elevados durante toda sua operação. Ao ser desligado, dando vez ao funcionamento do Módulo 01, os níveis começam imediatamente a se rebaixar, até o ponto em que este se desliga entrando em operação o Módulo 02, acarretando em uma queda abrupta destas cargas hidráulicas, formando um ciclo contínuo com este mesmo comportamento. Já no Gráfico 5.7 (b), referente às cargas hidráulicas após o período de desligamento do sistema para manutenção, nota-se que o comportamento destas variáveis se altera, sem a constatação que quedas abruptas das mesma pelo fato de estarem oscilando apenas por parâmetros influenciadores naturais, como as variações dos níveis superficiais do rio Cubatão e diferentes taxas de recarga.



(a) sistema operante entre os dias 10 a 13/12/12.



(b) sistema desligado entre os dia 14 a 17/12/12.

Gráfico 5.7 — Comportamento das cargas hidráulicas do conjunto de poços PMN-02 frente ao funcionamento do sistema de remediação (10 a 17/12/12)

De modo a inter-relacionar as cargas hidráulicas com as variações do nível superficial do rio Cubatão, foi realizado uma correlação estatística entre estas variáveis, bem como uma comparação visual destes resultados (Gráfico 5.8), sendo que esta foi realizada somente com as cargas hidráulicas do poço de monitoramento PMN-02A, por ter apresentado um comportamento similar entre os demais.

De forma geral, entre ambas as campanhas e conforme observado por Harvey e Odum (1990) e Hughes, Binning e Willgoose (1998), as oscilações dos níveis potenciométricos do aquífero livre apresentaram uma fraca correlação (média de - 0,22) em relação às variações dos níveis superficiais do rio Cubatão, entretanto, uma interpretação mais detalhada destas correlações indica a existência de compartilhamento entre estas variáveis, considerando que o poço mais próximo das margens do rio (PMN-04B) apresentou as maiores oscilações de cargas hidráulicas (1,44 m e 1,61 m) com uma correlação moderada de - 0,35, em contrapartida, o poço mais distante das margens do rio (OW-24A) apresentou as menores oscilações das cargas hidráulicas (0,67 m e 0,24 m) com uma correlação de -0,33, evidenciando que as intensidades das oscilações das superfícies potenciométricas e a interação entre o rio e o aquífero tendem a aumentar com a proximidade entre ambos os parâmetros.

As correlações negativas indicam que o trecho do rio Cubatão próximo dos poços analisados está contribuindo com os aquíferos locais em grande parte do tempo, com as cargas hidráulicas se rebaixando de acordo com a elevação da superfície do rio devido ao aporte de água do mesmo, que força a superfície potenciométrica para baixo.

A análise de Pearson com, e sem, o Módulo 03 do sistema de remediação ligado permitiu uma melhor visualização da correlação entre o rio Cubatão e os aquíferos, onde foi notada uma média de correlação fraca (-0,18) durante o período em que o sistema manteve-se operante e moderada (-0,40) após o período que o mesmo foi desligado para manutenção (14/12/12), indicando que o rio Cubatão tem uma influência em sincronia com as elevações dos níveis potenciométricos dos aquíferos estudados, que só podem ser observadas em períodos em que o distúrbio do aquífero pela injeção de ar dos poços SW não está ocorrendo.

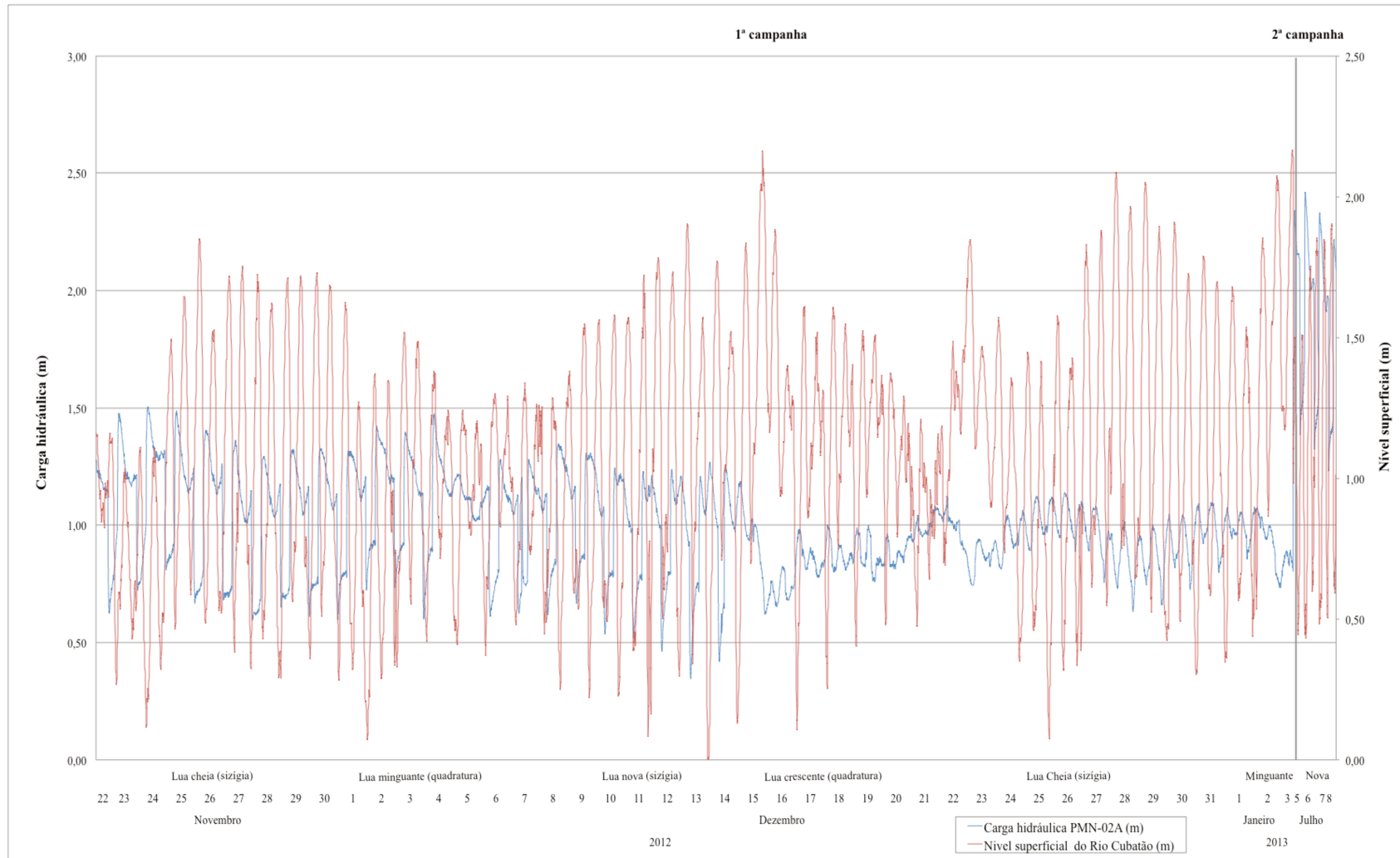


Gráfico 5.8 — Inter-relação entre a variação das cargas hidráulicas do poço PMN-02A e o nível superficial do rio Cubatão (22/11/2012 a 03/01/2013 e 05 a 08/07/2013)

Uma comparação entre as variações das cargas hidráulicas do PMN-02A, os níveis superficiais e as vazões do rio Cubatão é apresentada no Gráfico 5.9. As vazões do rio Cubatão aumentam na medida em que os níveis superficiais do rio começam a baixar (período de vazante), entretanto não é possível distinguir alterações expressivas nas cargas hidráulicas do poço PMN-02A pela inter-relação destes parâmetros, pelo elevado distúrbio originado nas superfícies potenciométricas pela injeção de ar do sistema de remediação, o que não permite a visualização de qualquer tipo de alteração neste parâmetro por parte das mudanças dos níveis superficiais e vazões do rio Cubatão.

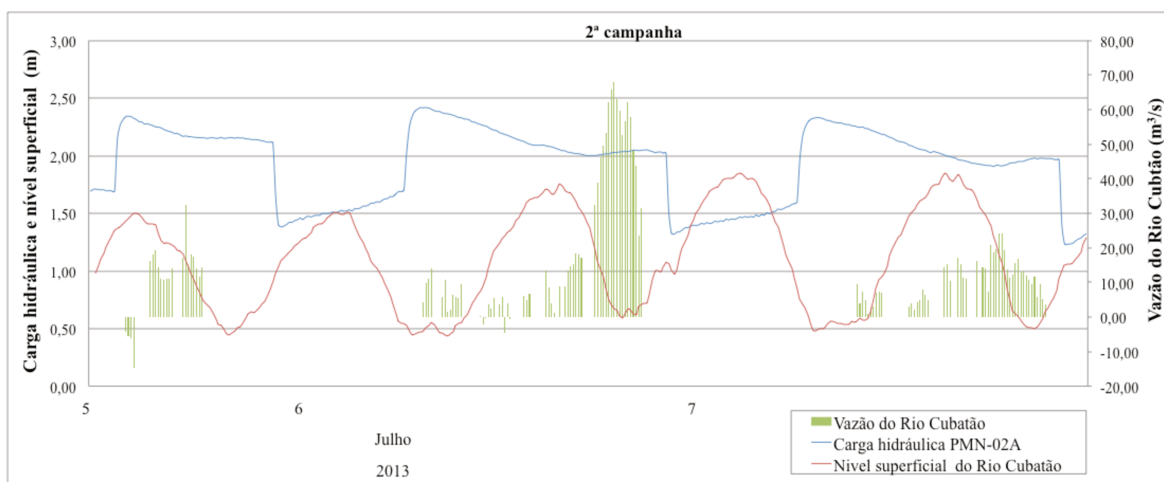


Gráfico 5.9 — Inter-relação entre as cargas hidráulicas do PMN-02A e níveis superficiais e vazões do rio Cubatão (05 a 08/07/2013)

A análise do comportamento total das cargas hidráulicas registradas apresentou forte correlação entre a rede de poços monitorada, com um mínimo de 0,788 entre o PMN-04B e o OW-24C, sendo estes os poços mais distantes entre si em relação aos analisados, e máxima de 0,999 entre os poços PMN-02A e PMN-02B, pelo fato de pertencerem ao mesmo conjunto de poços de monitoramento, com uma distância máxima entre eles de aproximadamente 1,00 m. Estas correlações indicam que todas porções dos aquíferos em estudo se interagem de forma imediata, frente às influências externas. O Gráfico 5.10 apresenta os diagramas de caixa referentes aos valores das cargas hidráulicas obtidas em ambas as campanhas, os quais indicam que estes parâmetros foram menores e sofreram menores variações na primeira campanha em comparação com os da segunda campanha.

As medianas das cargas hidráulicas registradas na segunda campanha foram mais elevadas, devido aos seguintes fatores: (1) espaço amostral dos dados foi inferior (434 dados) quando comparados ao da primeira campanha (6.030 dados); (2) todos os dados da segunda campanha foram registrados em período de sizígia (lua nova), oferecendo maiores oscilações e aportes do rio Cubatão no aquífero, e; (3) o Módulo 03 encontrava-se operante, alterando e elevando as superfícies potenciométricas monitoradas.

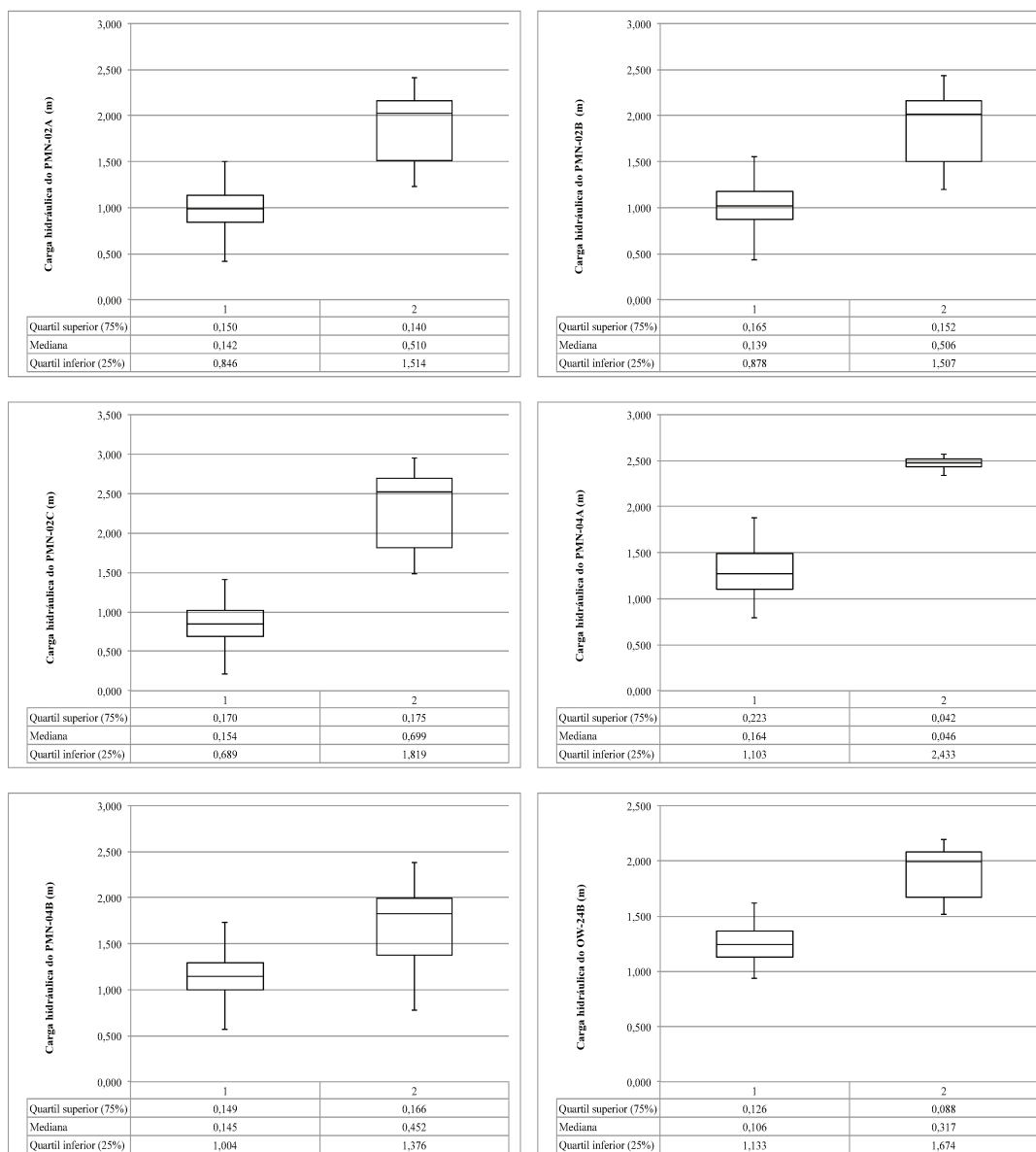


Gráfico 5.10 — Diagramas de caixa das cargas hidráulicas registradas em ambas as campanhas de monitoramento contínuo

A velocidade linear média da água subterrânea foi calculada considerando a condutividade hidráulica média obtida de $1,98 \times 10^{-2}$ cm/s e adotando o valor de 25 % para a porosidade efetiva (n_e); com referência na classificação de Fetter (1994), para a sedimentos arenosos bem selecionados, a qual se enquadra na geologia local levantada para as porções superior e inferior do aquífero livre, onde situam-se os filtros dos poços de monitoramento PMN-02C / PMN-04A e PMN-02A / PMN-04B, respectivamente, utilizados para o cálculo dos gradientes hidráulicos.

Consideram-se os valores obtidos de sinal positivo como um indicativo das cargas hidráulicas dos poços próximos à margem do rio Cubatão (PMN-04A e PMN-04B) maiores que a dos poços da parte central da área de estudo (PMN-02A e PMN-02C), indicando um sentido principal do fluxo da água subterrânea do rio Cubatão para dentro da área (nordeste), bem como as velocidades negativas expressam um sentido contrário a este, da área para o rio (sudoeste). O Gráfico 5.11 apresenta o comportamento das velocidades lineares calculadas para as porções superior e inferior do aquífero livre, somente na primeira campanha de monitoramento contínuo.

A análise geral da migração horizontal da água subterrânea apresentou na relação entre os poços PMN-02C e PMN-04A, ou seja, na porção superior do aquífero livre, um gradiente hidráulico médio de 1,80 %, com uma média da velocidade linear de 510,02 m/ano (máximo de 3.007,17 m/ano). Na porção inferior do aquífero livre (PMN-02A e PMN-04B) foi obtido um gradiente hidráulico médio de 0,80 % e uma velocidade média de 202,60 m/ano com um máximo de 677,93 m/ano. Estes resultados gerais em conjunto com o Gráfico 5.11, demonstram que a porção superior do aquífero livre apresenta maiores magnitudes e oscilações quando em comparação com a porção inferior, devido à vulnerabilidade da porção superior à injeção de ar pelo sistema de remediação (poços SW) e aos demais parâmetros naturais, como as chuvas e o rio Cubatão. Os aquíferos analisados apresentaram valores de velocidades lineares médias similares aos obtidos em um estudo realizado por AECOM (2012), o qual obteve uma média de 461,00 m/ano na porção intermediária do aquífero livre por meio do monitoramento das cargas hidráulicas dos poços de monitoramento multinível CMT-11 e CMT-14, instalados entre os grupos de poços de monitoramento utilizados nesta análise (PMN-02 e PMN-04).

Quando comparadas as incidências de dados independentemente das porções do aquífero livre e do funcionamento do sistema, nota-se que 98,38 % das vertentes principais do fluxo da água subterrânea foram para o sentido nordeste e 4,11 % para sudoeste, indicando que, independentemente do funcionamento do sistema de remediação, a preferência natural do sentido do fluxo dos aquíferos nesta área em análise são do rio para o centro da área.

O Gráfico 5.12, apresenta uma comparação entre as velocidades horizontais médias do aquífero livre e as velocidades de escoamento do rio Cubatão na segunda campanha de monitoramento contínuo, demonstrando que estas variáveis não apresentam uma relação sincronizada. Considerando que o sistema de remediação esteve ligado neste período, as oscilações das velocidades no aquífero livre originadas pelas quedas e elevações bruscas das cargas hidráulicas, não permitiram a visualização da influência que o aumento das velocidades do rio implicam nas velocidades do aquífero, entretanto, conforme verificado no Gráfico 5.8, suspeita-se que esta interação exista em vista à constatação que as variações dos níveis superficiais do rio implicam em oscilações das cargas hidráulicas e consequentemente em suas velocidades lineares médias.

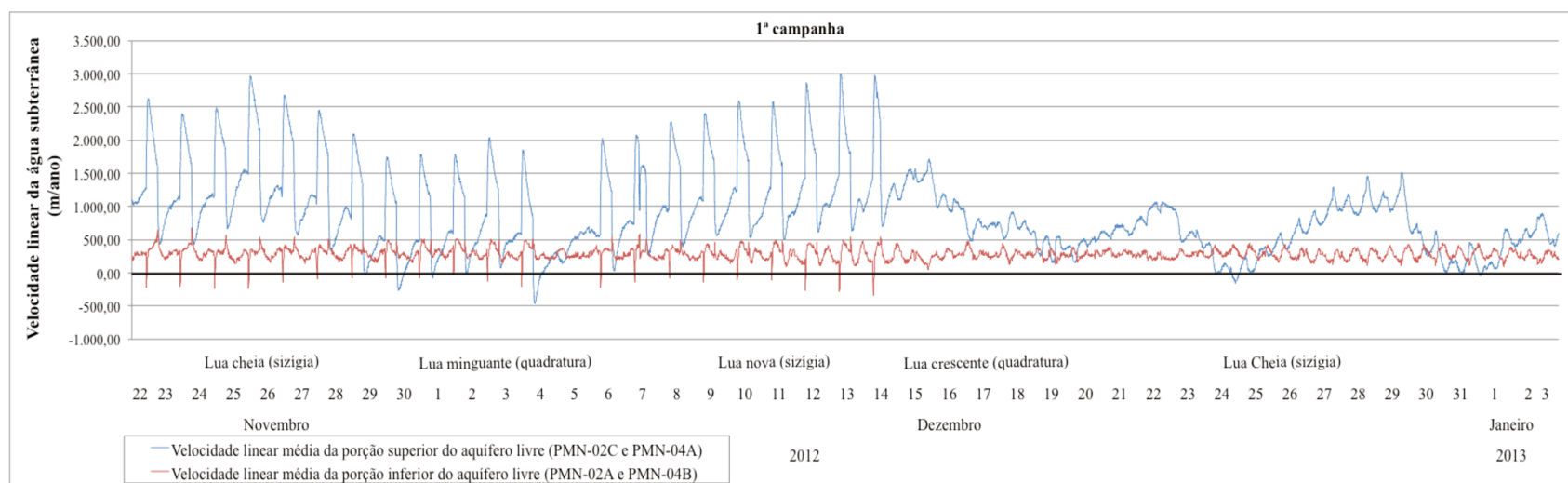


Gráfico 5.11 — Variação das velocidades lineares médias nas porções superior e inferior do aquífero livre

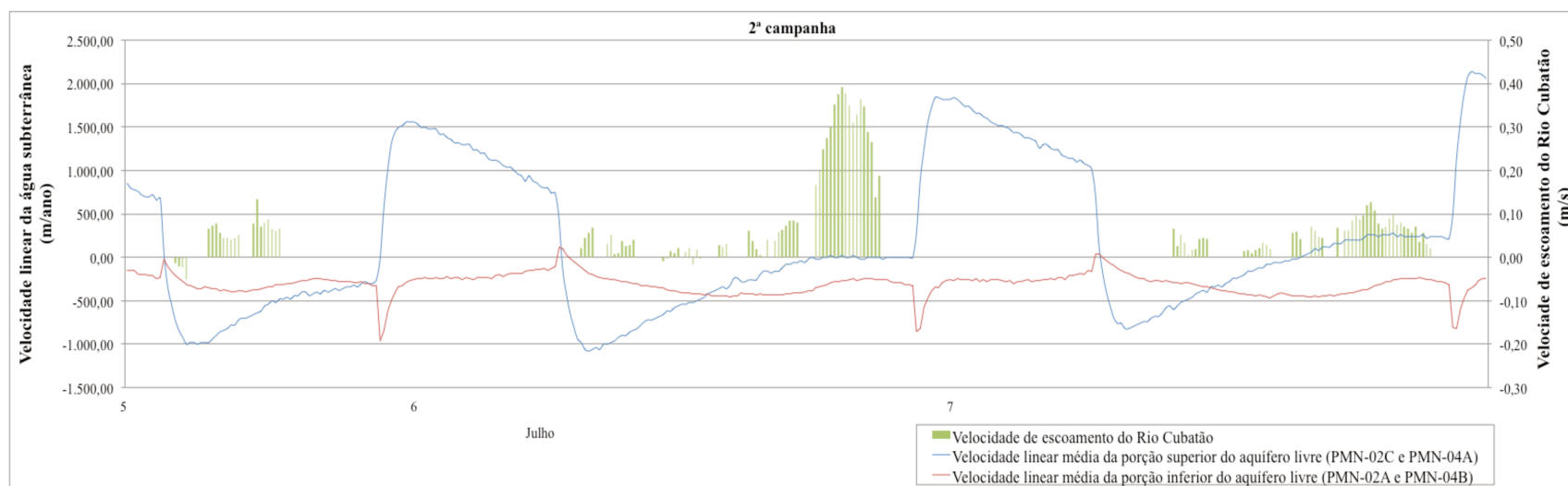


Gráfico 5.12 — Inter-relação entre as velocidades lineares médias das porções superior e inferior do aquífero livre e velocidades de escoamento do rio Cubatão (05 a 07/07/2013)

Ao se comparar os valores dos gradientes hidráulicos e velocidades lineares médias calculados, separando-os entre os períodos monitorados, com e sem o sistema de remediação em operação (desligamento a partir do dia 14/12/12), é possível realizar uma análise do comportamento destes parâmetros sob e fora da influência desse sistema. A Tabela 5.2 apresenta os resultados deste raciocínio e o Gráfico 5.13 ilustra o comportamento das cargas hidráulicas dos poços PMN-02A e PMN-04B e das velocidades lineares médias da porção inferior do aquífero livre, no período de transição do desligamento do sistema, entre os dias 10 a 17/12/2012.

Tabela 5.2 — Interpretações dos resultados dos gradientes hidráulicos e velocidades lineares médias obtidas na primeira campanha de monitoramento contínuo em função da operação do sistema de remediação

Operação do sistema Porção do aquífero livre Sentido do fluxo		Operando				Inoperante			
		Superior		Inferior		Superior		Inferior	
		NE	SO	NE	SO	NE	SO	NE	SO
Frequência de dados		3.009	86	3.052	43	2.874	62	2.932	4
Gradiente hidráulico (adm.)	Média	0,023		0,008		0,013		0,009	
	Máximo	0,108	-0,017	0,027	-0,011	0,106	-0,005	0,021	-0,014
	Mínimo	0,000	0,000	0,000	-0,001	0,000	0,000	0,002	-0,001
Velocidade linear média (m/ano)	Média	633,841		204,491		372,997		235,773	
	Máximo	3.007,172	-463,564	677,934	-285,446	2.975,202	-151,857	535,211	-338,967
	Mínimo	0,000	-5,994	0,000	-17,840	0,000	-1,998	53,521	-35,681

Antes do desligamento do sistema, as mudanças de operação entre os três módulos a cada 08:00 h, acarretavam alterações bruscas nos gradientes hidráulicos e consequentemente nas cargas hidráulicas, acompanhadas com o aumento da velocidade da água subterrânea, seja pela elevação repentina das cargas hidráulicas no momento em que o Módulo 03 encontrava-se em operação, forçando a migração das águas subterrâneas de forma mais acelerada devido à injeção de ar na zona saturada (poços SW), ou pelo rebaixamento abrupto das cargas hidráulicas, devido ao desligamento automático deste módulo.

O desligamento do Módulo 03 acarretou em uma diminuição na magnitude e amplitude das oscilações das velocidades horizontais, e em uma sincronia entre este parâmetro com as cargas hidráulicas, somente por ocorrências naturais, não havendo um agente influenciador que alterasse de forma brusca as cargas hidráulicas. Os baixos valores das velocidade lineares médias obtidos após o desligamento do sistema assimilam-se com os resultados de um estudo ambiental realizado por Servmar (2005), o qual obteve uma média de 9,727 m/ano deste parâmetro na porção leste da petroquímica em estudo, área fora do raio de alcance da injeção de ar pela remediação.

A frequência de dados em função do funcionamento do sistema (Módulo 03) e independentemente das duas porções (superior e profunda) do aquífero livre, indicou que a operação do sistema acarretou em 97,92% de valores positivos e 2,08% negativos. Após o desligamento do sistema foram obtidos 99,88% de valores positivos e 1,12% de valores negativos, indicando que o sentido do fluxo da água subterrânea é preferencialmente para nordeste, independentemente das porções do aquífero livre mesmo sem o funcionamento do sistema de remediação, da mesma forma, no momento em que o sistema esteve desligado, e o aquífero passou a fluir somente sob influência de parâmetros naturais, o índice de vertentes do fluxo a nordeste aumentou e para sudoeste consequentemente diminuiu, indicando que além do funcionamento do sistema induzir o fluxo da água subterrânea do rio para a área com mais intensidade do que da área para o rio, existe uma tendência natural da contribuição do rio Cubatão neste trecho (rio influente) para o aquífero, devido a geometria do leito do rio e seu sentido de fluxo que forçam o aquífero para seu interior.

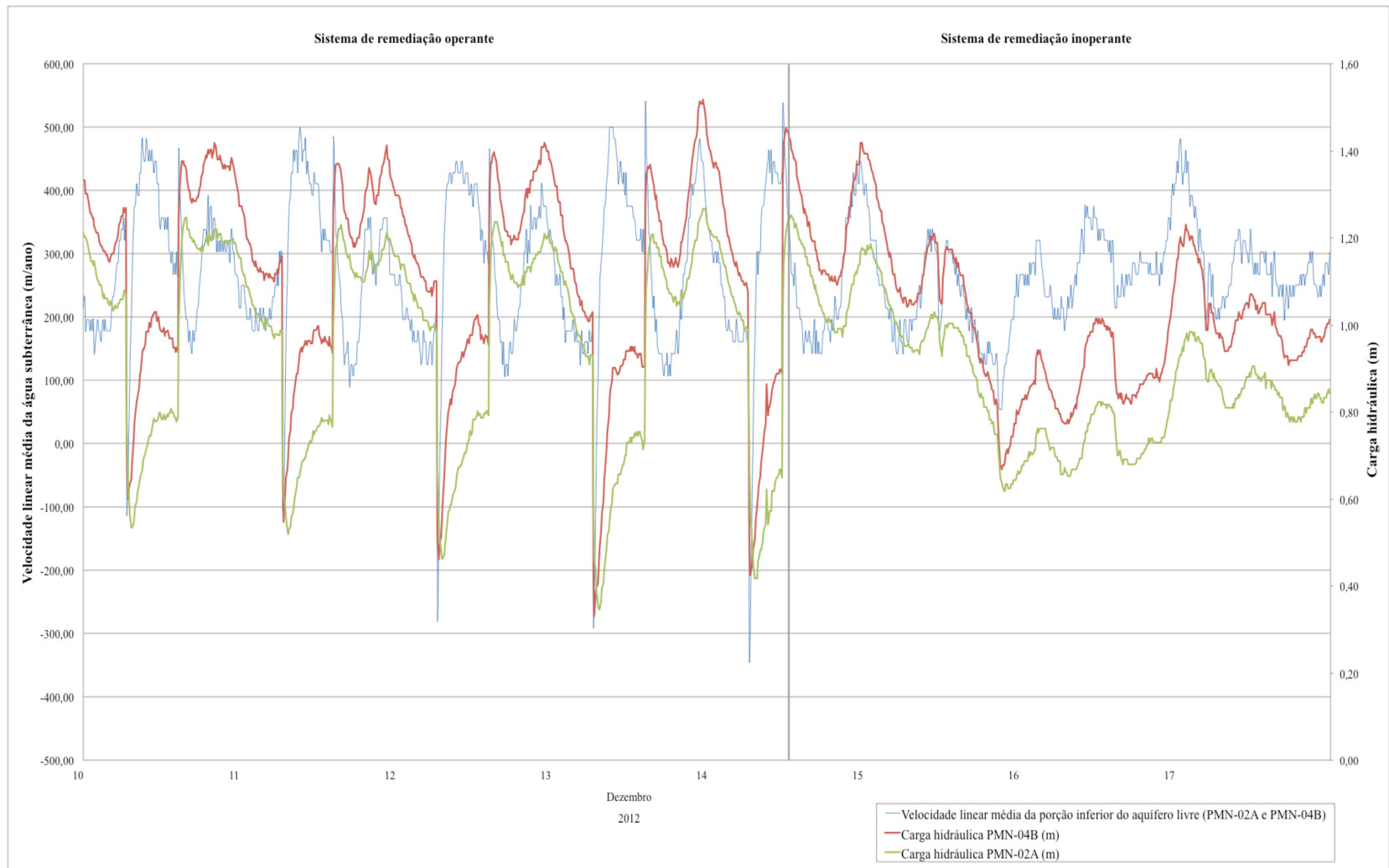


Gráfico 5.13 — Comportamento das velocidades lineares médias em relação às cargas hidráulicas do PMN-02A e PMN-04A da porção inferior do aquífero livre (10 a 17/12/12)

5.2.3.3 Potenciometria e gradientes das condutividades elétricas

Entre os dias 11 e 13/10/2013, foram realizados um total de seis monitoramentos dos níveis e das condutividades elétricas da água subterrânea na rede de poços de monitoramento listados na Tabela 4.3. O Gráfico 5.14 apresenta os períodos desses monitoramentos em relação à tábua de marés (Porto de Santos – Torre Grande), executados em períodos de cheias das marés, sendo os monitoramentos executados com o Módulo 03 inoperante na transição de vazantes para cheias e em operação nos picos das marés cheias (preamar).

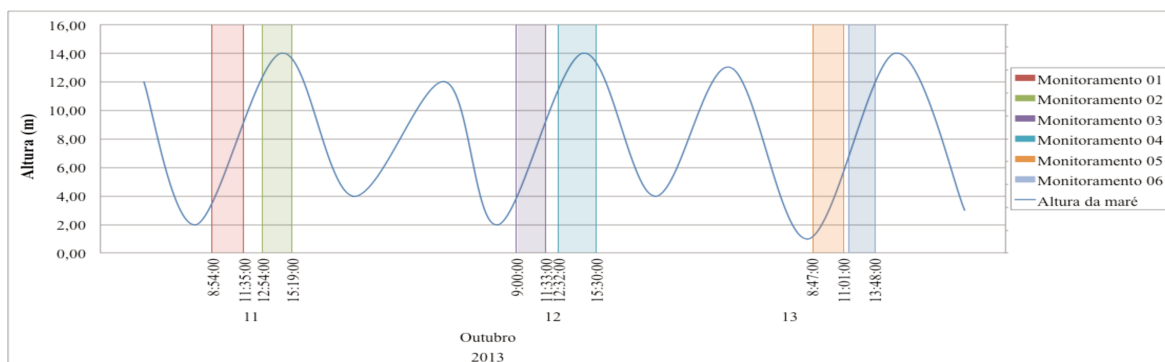


Gráfico 5.14 — Registro das condições da altura da maré em relação ao período de execução de cada monitoramento (11 a 13/10/2013)

Os resultados obtidos no monitoramento dos níveis d'água, inseridos na Tabela 5.3, foram utilizados para o cálculo das cargas hidráulicas que, em conjunto com os valores das condutividades elétricas da água subterrânea, possibilitaram a confecção de 24 mapas potenciométricos (Anexo 06), classificados de acordo com o tipo do aquífero (livre ou confinado), suas respectivas porções (superior, intermediária e inferior) e com a operação do Módulo 03 do sistema de remediação. Em complemento, foram sobrepostos aos mapas os gradientes das condutividades elétricas da água subterrânea.

Todos os mapas potenciométricos mantiveram a mesma proporção entre as linhas equipotenciais (0,05 m), possibilitando a interpretação do comportamento das superfícies potenciométricas entre cada porção dos aquíferos existentes, exceto ao Mapa 14, referente ao monitoramento do dia 12/10/2013 da porção intermediária do aquífero livre com o sistema de remediação operando. Neste período foi constatado uma zona de jorrância não natural no PMN-03B, originada pela injeção de ar do sistema de remediação e devido a diferença de cargas hidráulicas foi utilizado para esta zona uma proporção de 0,50 m entre cada linha equipotencial.

Tabela 5.3 — Cargas hidráulicas e condutividades elétricas dos aquíferos monitorados (11 a 13/10/2013)

Aquífero	Porção	Poços	Cotas altimétricas	Dia / Tempo do monitoramento / Níveis d'água, cargas hidráulicas e condutividades elétricas																	
				11/10/13						12/10/13						13/10/13					
				08:54:00 as 11:35:00 horas ⁽¹⁾			12:54:00 as 15:19:00 horas ⁽²⁾			09:00:00 as 11:33:00 horas ⁽¹⁾			12:32:00 as 15:30:00 horas ⁽²⁾			08:47:00 as 11:01:00 horas ⁽¹⁾			11:20:00 as 13:48:00 horas ⁽²⁾		
				NA	CH	CE	NA	CH	CE	NA	CH	CE	NA	CH	CE	NA	CH	CE	NA	CH	CE
Livre	Superior	OW-07C	5,80	4,47	1,33	1.127,00	4,45	1,35	1.122,00	4,51	1,30	1.120,00	4,44	1,36	1.170,00	4,49	1,31	1.097,00	4,41	1,40	1.046,00
		OW-09C	5,75	4,43	1,32	224,00	4,42	1,34	246,00	4,50	1,25	246,00	4,42	1,34	258,00	4,47	1,28	226,00	4,40	1,35	249,00
		OW-16C	5,44	4,11	1,33	238,00	3,99	1,45	246,00	4,18	1,27	243,00	4,04	1,40	249,00	4,18	1,27	230,00	4,05	1,39	256,00
		OW-18C	5,80	3,82	1,98	7.120,00	3,82	1,98	6.880,00	3,87	1,93	7.250,00	3,88	1,92	7.280,00	3,94	1,86	7.160,00	3,93	1,87	7.650,00
		OW-21C	5,49	3,86	1,63	(3)	4,03	1,46	(3)	3,92	1,57	(3)	4,07	1,42	(3)	3,94	1,55	(3)	4,10	1,39	(3)
		OW-24C	5,61	4,28	1,33	876,00	4,13	1,48	898,00	4,34	1,27	952,00	4,19	1,42	925,00	4,34	1,27	919,00	4,19	1,42	929,00
		PMN-01C	5,52	4,27	1,25	354,00	4,03	1,49	371,00	4,33	1,18	380,00	4,08	1,44	384,00	4,31	1,21	614,00	4,18	1,34	389,00
		PMN-02C	5,48	4,23	1,25	1.032,00	3,81	1,68	1.095,00	4,27	1,21	1.092,00	3,89	1,60	1.145,00	4,27	1,22	1.072,00	3,89	1,59	1.069,00
		PMN-03C	5,52		(4)			(4)			(4)			(4)			(4)		(4)		
		PMN-04A	5,16	2,89	2,27	432,00	2,88	2,28	440,00	3,00	2,16	435,00	2,99	2,18	432,00	3,05	2,11	411,00	3,04	2,12	417,00
	Intermediária	OW-07B	5,85	4,52	1,33	733,00	4,50	1,35	719,00	4,55	1,30	781,00	4,50	1,35	746,00	4,55	1,30	754,00	4,45	1,40	766,00
		OW-09B	5,74	4,45	1,30	130,00	4,40	1,34	133,00	4,49	1,26	142,00	4,42	1,33	142,00	4,46	1,29	139,00	4,39	1,35	143,00
		OW-16B	5,47	3,95	1,52	177,00	4,03	1,44	191,00	4,21	1,26	201,00	4,04	1,43	206,00	4,20	1,27	226,00	4,02	1,44	254,00
		OW-18B	5,80	4,41	1,39	5.570,00	4,35	1,45	5.080,00	4,47	1,33	4.530,00	4,39	1,40	423,00	4,48	1,32	3.740,00	4,37	1,43	3.650,00
		OW-21B	5,43	4,03	1,41	1.170,00	4,18	1,25	1.150,00	4,07	1,36	1.185,00	4,18	1,25	1.181,00	4,06	1,38	1.153,00	4,25	1,18	1.147,00
		OW-24B	5,60	4,27	1,33	569,00	4,12	1,48	579,00	4,32	1,29	605,00	4,18	1,43	585,00	4,33	1,27	590,00	4,17	1,43	602,00
		PMN-01B	5,53	4,27	1,26	511,00	4,45	1,08	519,00	4,31	1,22	712,00	4,10	1,43	643,00	4,30	1,23	620,00	4,12	1,41	505,00
		PMN-02B	5,45	4,19	1,26	915,00	3,92	1,53	935,00	4,23	1,22	1.003,00	3,98	1,47	975,00	4,22	1,23	973,00	3,85	1,59	988,00
		PMN-03B	5,46	4,21	1,25	675,00	3,60	1,86	548,00	4,23	1,23	951,00	(5)		1.332,00	4,22	1,24	1.114,00	3,50	1,95	1.141,00
	Inferior	OW-07A	5,80	4,47	1,33	1.012,00	4,45	1,36	1.056,00	4,50	1,30	1.026,00	4,45	1,36	1.033,00	4,48	1,32	1.028,00	4,40	1,41	1.021,00
		OW-09A	5,75	4,47	1,28	191,00	4,42	1,33	197,00	4,50	1,25	206,00	4,42	1,33	217,00	4,48	1,28	220,00	4,43	1,32	225,00
		OW-16A	5,50	4,00	1,50	796,00	4,06	1,44	778,00	4,23	1,27	779,00	4,06	1,44	781,00	4,23	1,27	734,00	4,05	1,45	767,00
		OW-18A	5,81	4,41	1,40	1.423,00	4,35	1,46	1.357,00	4,47	1,34	1.343,00	4,40	1,41	1.323,00	4,48	1,33	1.252,00	4,38	1,43	1.240,00
		OW-21A	5,48	4,09	1,40	1.231,00	4,24	1,25	1.267,00	4,12	1,36	1.266,00	4,24	1,24	1.250,00	4,12	1,37	1.205,00	4,30	1,18	1.190,00
		OW-24A	5,52	4,19	1,33	565,00	4,04	1,48	513,00	4,25	1,27	547,00	4,10	1,43	527,00	4,26	1,27	541,00	4,09	1,43	545,00
		PMN-01A	5,61	4,30	1,31	940,00	4,08	1,53	888,00	4,33	1,28	932,00	4,13	1,48	884,00	4,32	1,29	861,00	4,15	1,46	881,00
		PMN-02A	5,42	4,16	1,26	593,00	3,90	1,52	615,00	4,21	1,21	656,00	3,96	1,46	648,00	4,20	1,22	666,00	3,85	1,57	677,00
		PMN-03A	5,47	4,19	1,28	1.264,00	3,86	1,60	1.275,00	4,23	1,24	1.312,00	3,92	1,55	1.278,00	4,21	1,25	1.267,00	3,60	1,87	1.282,00
		PMN-04B	5,17	3,55	1,62	1.047,00	3,80	1,37	1.041,00	3,47	1,69	1.055,00	3,79	1,38	1.043,00	3,44	1,73	1.005,00	3,73	1,44	116,00
		OW-01D	5,75	4,35	1,40	1.750,00	4,41	1,34	1.781,00	4,45	1,30	1.741,00	4,33	1,42	1.735,00	4,42	1,33	1.703,00	4,37	1,39	1.711,00
		OW-09D	5,80	4,58	1,22	224,00	4,51	1,30	225,00	4,59	1,21	237,00	4,51	1,29	238,00	4,56	1,25	244,00	4,50	1,30	248,00
		OW-18D	5,88	4,49	1,39	1.651,00	4,45	1,44	1.514,00	4,59	1,29	1.527,00	4,48	1,41	1.468,00	4,57	1,32	1.475,00	4,45	1,43	1.476,00
Confinado	Superior	DW-02	5,81	2,72	3,09	186,00	2,77	3,05	188,00	2,65	3,16	185,00	2,69	3,12	186,00	3,31	2,50	185,00	3,46	2,35	186,00
		DW-03	5,59	2,47	3,12	380,00	2,47	3,12	387,00	2,41	3,19	377,00	2,44	3,16	377,00	2,87	2,72	403,00	2,97	2,62	378,00
		DW-04	5,84	2,72	3,12	339,00	2,72	3,12	436,00	2,67	3,18	381,00	2,69	3,16	438,00	3,18	2,66	338,00	3,25	2,59	344,00

Observações

NA Medição do nível d'água na boca do poço.

CH Cálculo da carga hidráulica.

CE Condutividade elétrica da água subterrânea.

(1) Sistema de remediação (AS / SVE) inoperante durante as medições.

(2) Sistema de remediação (AS / SVE) operante durante as medições.

(3) Obstrução a 0,50 metros impossibilitando a passagem do amostrador.

(4) Nível da água subterrânea abaixo do nível da base da seção filtrante do poço.

(5) Poço sob influência do sistema de remediação. Nível da água subterrânea acima do cota da boca do poço.

A análise de fluxos verticais da água subterrânea foi feita por meio da relação da diferença de cargas hidráulicas entre os poços instalados nas porções superiores e inferiores do aquífero livre, fornecendo dados das áreas de recarga ou descarga do aquífero (Tabela 5.4).

Tabela 5.4 — Relação de fluxos verticais e zonas de recarga/descarga do aquífero livre (11/10/2013 – Módulo 03 inoperante)

Poços	Carga hidráulica (m)	Sentido do fluxo vertical	Zona
OW-07A	1,330	Nulo	Nulo
OW-07C	1,330		
OW-09A	1,280	Descendente	Recarga
OW-09C	1,320		
OW-16A	1,500	Ascendente	Descarga
OW-16C	1,330		
OW-18A	1,395	Descendente	Recarga
OW-18C	1,980		
OW-21A	1,395	Descendente	Recarga
OW-21C	1,630		
OW-24A	1,330	Ascendente	Descarga
OW-24C	1,325		
PMN-01A	1,309	Ascendente	Descarga
PMN-01C	1,245		
PMN-02A	1,260	Ascendente	Descarga
PMN-02C	1,250		
PMN-04A	2,270	Descendente	Recarga
PMN-04B	1,615		

Seguindo o mesmo raciocínio de Harvey e Odum (1990), a região periférica da área de estudo representa uma área com predominância de fluxos descendentes classificadas como zonas de recarga do aquífero livre e a área central pesquisada apresenta fluxos verticais ascendentes (zona de descarga), diminuindo seu potencial hidráulico de acordo com o distanciamento da margem do rio Cubatão. Entretanto, levando em consideração que os três módulos dos sistemas de injeção de ar para a remediação ambiental mantiveram-se operantes (ciclo a cada oito horas) durante os monitoramentos, deve-se levar em consideração que grande parte dos fluxos verticais ascendentes constatados podem ter sido originados devido a este funcionamento e não à disposição natural dos aquíferos analisados. A Figura 5.5 ilustra a relação de zonas de recarga e descarga do aquífero livre.

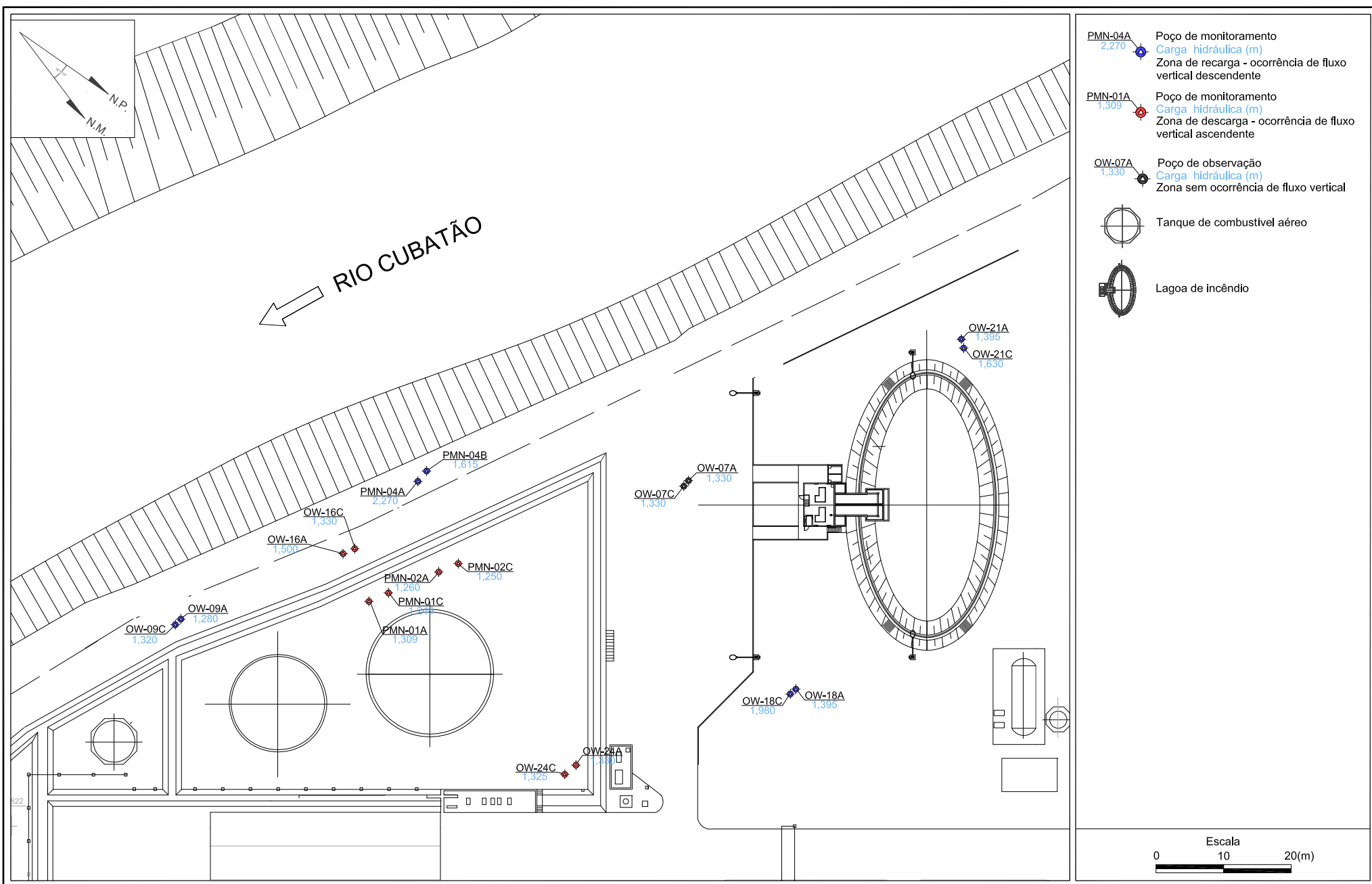


Figura 5.5 — Relação de zonas de recarga e descarga no aquífero livre (11/10/2013 - Módulo 03 inoperante)

Em comparação à ocorrência de fluxos verticais entre os aquíferos livre e confinado, confirma-se pela Tabela 5.5, que os poços DW, instalados com seções filtrantes no aquífero confinado, apresentam cargas hidráulicas maiores do que os poços do tipo OW instalados na porção inferior do aquífero livre. Esta disposição confirma o comportamento natural de um aquífero confinado, o qual aplica uma pressão diretamente na camada confinante argilo-siltosa com elevada plasticidade, constatada durante as sondagens dos poços profundos (DW).

Tabela 5.5 — Relação de fluxos verticais entre os aquíferos livre e confinado (11/10/2013 – Módulo 03 inoperante)

Poços	Carga hidráulica (m)	Sentido do fluxo vertical
DW-02	3,09	Ascendente
OW-09D	1,22	
DW-03	3,12	Ascendente
OW-01D	1,40	
DW-04	3,12	Ascendente
OW-18D	1,39	

Ao correlacionar os mapas potenciométricos das porções superiores, intermediárias e inferiores do aquífero livre referentes aos dados das cargas hidráulicas registradas nos períodos com o sistema de remediação inoperante, nota-se um padrão no sentido principal do fluxo da água subterrânea de oeste para leste, com vertentes secundárias de sul para norte na região mais próxima da margem do rio Cubatão, com um fluxo elevado originado pela inclinação da superfície potenciométrica (proximidade das linhas equipotenciais), e de noroeste para sudeste, com um maior distanciamento entre as linhas equipotenciais na área central da petroquímica, representando uma região de fluxo menos intenso (vide Anexo 06).

A disposição dos sentidos dos fluxos da água subterrânea está relacionada, conforme constatado no estudo de Woessner (2000), ao sistema de contribuição entre o rio Cubatão e os aquíferos locais (Figura 5.6). No limite sudoeste da área de estudo, o fluxo do rio apresenta sentido para leste, contribuindo nesta região para o abastecimento do aquífero livre (rio influente). A jusante da petroquímica o rio sofre uma distorção de seu eixo principal em aproximadamente 90° , alterando seu sentido para norte, sendo nessa região abastecido pelos aquíferos locais como um rio efluente (Figura 5.6 a). Essa curva acentuada implica em uma resultante do fluxo do rio de sentido nordeste (Figura 5.6 b), forçando-o contra a margem esquerda em seu trecho de influência, e propiciando a infiltração da água superficial para os aquíferos em estudo. Isto resulta no estreitamento das linhas equipotenciais observado no mapa potenciométrico da porção superficial do aquífero livre (Figura 5.6 c).

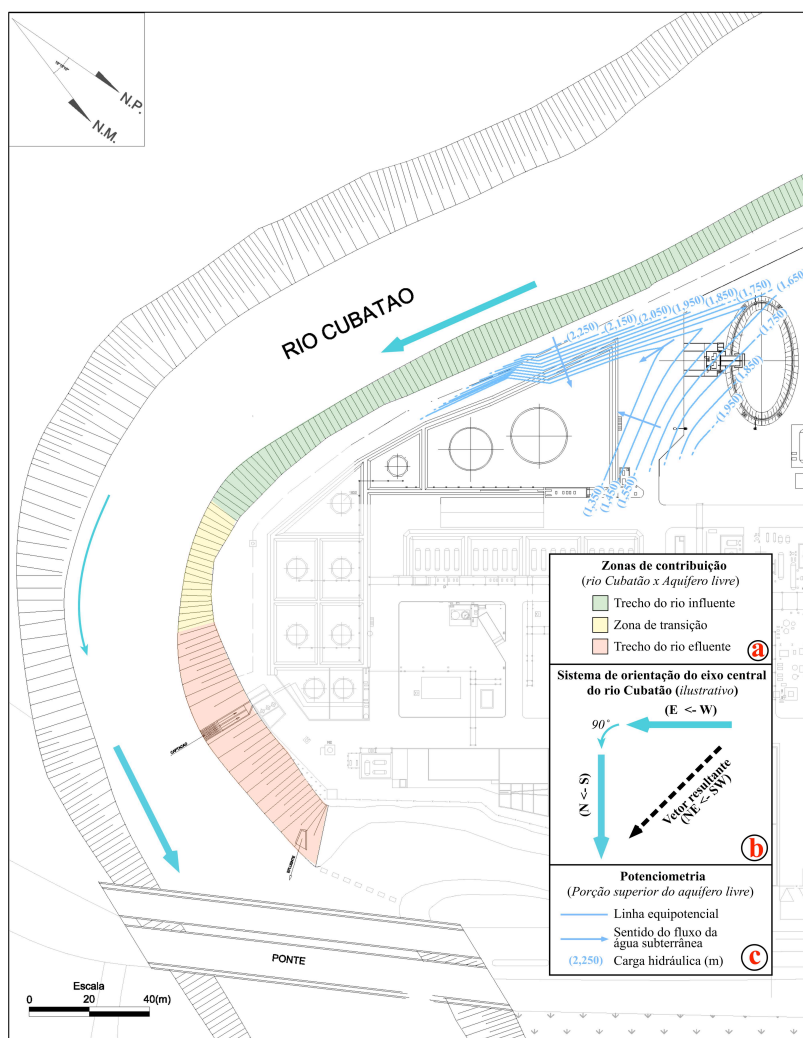


Figura 5.6 — Sistema de contribuição entre o rio Cubatão e os aquíferos locais

Outro aspecto notado nos mapas potenciométricos foi um padrão no comportamento dos dois tipos de aquíferos encontrados na área, no qual o fluxo natural e a perturbação originada pelo ar injetado pelo sistema de remediação, tendem a diminuir de acordo com a profundidade dos aquíferos, ou seja, a porção superior do aquífero livre tem um fluxo mais intenso e sofre uma maior perturbação pelo sistema de remediação em comparação às demais porções do aquífero livre e à porção superior do aquífero confinado.

Durante o funcionamento do sistema de remediação, observa-se uma estrutura das superfícies potenciométricas em forma de cone invertido, formada pela pressão que o ar injetado pelos poços do tipo SW aplica no aquífero. Esta influência foi observada até nas disposições das cargas hidráulicas do aquífero confinado que apresentaram entre os dias observados, um número maior de linhas equipotenciais nos períodos em que o sistema manteve-se ligado.

Além de observado em todos os mapas potenciométricos referentes aos dados obtidos nos períodos em que o sistema de remediação manteve-se ligado, foi também constatado em campo (12/10/2013 – Módulo 03 operante), a influência que o sistema de remediação aplica na porção intermediária do aquífero livre, pelo fato do poço PMN-03B apresentar o seu nível de água aflorante, um fluxo pulsante e externo à sua boca de saída, em sincronia com a liberação de ar pelos poços do tipo SW, próximos deste local (Fotos 01 e 02).

Supõe-se que a expulsão da água subterrânea ocorreu somente no poço PMN-03B, pois além de possuir, como os demais poços OW e PMN instalados na porção intermediária do aquífero livre (nível B), sua seção filtrante posicionada na mesma camada litológica (segunda camada estratigráfica - sedimento arenoso médio) que os poços de injeção de ar (SW), somente esse poço tem seu filtro em uma camada anisotrópica, originada por um processo específico de assentamento do sedimento arenoso, que proporciona, por um caminho preferencial, um fluxo mais intenso do ar injetado.



(1)



(2)

Fotos 01 e 02 — Constatação de bolhas de ar nas trincas do concreto da bacia de contenção e afloramento não natural do nível de água no PMN-03B ocasionado pela injeção de ar do sistema de remediação.

As distribuições das taxas de condutividades elétricas da água subterrânea mantiveram-se similares entre suas respectivas porções dos aquíferos analisados, independentemente do funcionamento do sistema de remediação, com um valor mínimo de 116,00 $\mu\text{S/cm}$ (78,88 STD - água doce) na porção inferior e máximo de 7.650,00 $\mu\text{S/cm}$ (6.273,00 STD - água moderadamente salobra) na porção superior do aquífero livre com uma média de 1.033,68 $\mu\text{S/cm}$ (775,26 STD), referente à águas subterrâneas doces.

Os gradientes da condutividade elétrica aumentam de acordo com o distanciamento do rio de oeste para leste, com exceção dos Mapas potenciométricos 14, 18 e 22 (Anexo 05), referentes às condutividades elétricas do PMN-03B que apresentaram pontualmente valores na faixa entre 1.000,00 $\mu\text{S/cm}$ a 2.000,00 $\mu\text{S/cm}$. Da mesma forma do padrão de comportamento das superfícies potenciométricas, as taxas de condutividades elétricas tendem a diminuir de acordo com a profundidade das porções dos aquífero, devido à diminuição na intensidade do fluxo da água subterrânea e pelo aporte de água salgada do rio Cubatão em períodos de cheias na porção superior do aquífero livre, fator confirmado pelas médias obtidas na segunda campanha de monitoramento continuo apresentarem-se similares as obtidas nessa porção do aquífero livre.

Houve uma queda média da condutividade elétrica de 239,40 $\mu\text{S}/\text{cm}$ por porção analisada, acarretando em uma redução média entre as porções superiores dos aquíferos livre e confinado de 718,19 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Os valores obtidos na água subterrânea do aquífero confinado foram os mais baixos entre as demais porções analisadas e a ocorrência de fluxo vertical ascendente neste aquífero indica que o mesmo tem um potencial para recarregar o aquífero livre com teores de condutividades elétricas característicos de águas doces (menores que 500,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ou 340 STD).

6 CONCLUSÕES

A dinâmica dos aquíferos estuarinos classificados como livre e confinado, está relacionada na área de estudo com os parâmetros físicos naturais e antrópicos considerados. A variação do nível do rio Cubatão influencia diretamente a hidrodinâmica dos aquíferos, que por sua vez é influenciado pela flutuação da maré com mais intensidade em períodos de sizígia de lua nova. As oscilações do rio interferem também nas distribuições das cargas hidráulicas do aquíferos livre e confinado existentes. A recarga das águas subterrâneas pelas precipitações diretas não tiveram influência observada, devido à magnitude de outras influências e pelos altos valores de condutividade hidráulica do aquífero raso, não refletindo nos monitoramentos de nível de água realizados.

A situação da área numa curva do rio Cubatão, demonstra que o leito deste está sendo escavado na margem esquerda a montante da área e os sedimentos transportados pelo fluxo do rio acumulados nessa mesma margem, mas a jusante dessa curva. O rio apresenta modificações de curso e velocidades decorrentes das oscilações da maré. Em grande parte dos dados analisados, a área superficial do rio demonstrou uma velocidade maior que a profunda, com exceção à mudança dos períodos de vazante para cheia, em que as porções mais profundas apresentaram uma maior velocidade.

Na vazante, o rio Cubatão apresenta suas maiores velocidades em direção ao oceano; no entanto nas marés altas, o rio reduz sua velocidade e por vezes no período de transição entre vazantes para cheias seu curso é invertido. Essas características, somadas principalmente às diferenças de cargas hidráulicas entre o rio e aquífero livre, demonstram que o fluxo das águas subterrâneas têm sentido e direção do rio para o aquífero na porção sudoeste da área de estudo, indicando que o rio é influente nesse local, e efluente na porção nordeste.

A diminuição das taxas de condutividade elétrica de noroeste para sudeste obtidas nas porções do aquífero livre nos períodos de transição entre marés cheias para vazantes, em conjunto com a constatação de zonas de recarga desse aquífero na região próxima da margem antes da curva do rio Cubatão, indicam o aporte de águas mais salobras do rio para a porção superior do aquífero livre.

As águas do aquífero confinado, com baixos valores de condutividade elétrica são um indicativo de águas de recarga regional provenientes da Serra do Mar; as diferenças de cargas hidráulicas desse aquífero apresentam-se em todos os monitoramentos de forma mais espaçada (fluxo lento), sempre tendendo a sudeste.

Por fim, as oscilações mais significativas das cargas hidráulicas da água subterrânea ocorrem com a influência da injeção de ar na água subterrânea pelo sistema de remediação existente na área, que são responsáveis pelas maiores perturbações das superfícies potenciométricas, culminando também em mudanças na estrutura destas, que em alguns eventos, apresentam uma forma de cone invertido, ocasionando, por vezes, um ponto de jorrância não natural da água subterrânea. Os aquíferos apresentam resposta quase imediata com a operação do sistema, pela elevada condutividade hidráulica do terreno.

Apesar de grande influência do sistema de remediação na potenciometria da região próxima à margem a montante da curva do rio, o fluxo das águas subterrâneas sempre tem vertentes para norte, e o rio apresenta-se influente nessa região. Já na parte central da área de estudo as porções dos aquíferos apresentam sentido de fluxo para sudeste, que combinados com as vertentes de fluxo próximas às margens do rio, resultam em um sentido principal das águas subterrâneas para leste, em sentido à margem a jusante da curva do rio Cubatão, sendo este trecho do rio classificado como efluente dos aquíferos locais.

Desta forma o meio em estudo encontra-se interconectado por interações diretas ou indiretas entre todos os parâmetros físicos considerados, onde os componentes locais influenciam uns aos outros por determinadas formas e com diferentes intensidades, conforme representado na Figura 6.1.

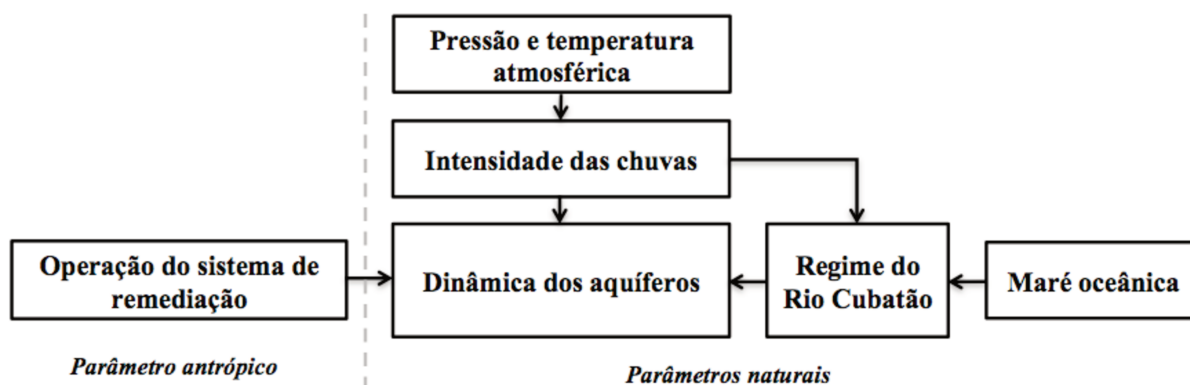


Figura 6.1 — Fluxograma da interação entre os parâmetros considerados

7 REFERÊNCIAS

- ABARCA, E. et al. Transient groundwater dynamics in a coastal aquifer: the effects of tides, the lunar cycle, and the beach profile. **Water Resources Research**, Massachusetts, v. 49, p. 2473–2488, May 2013.
- AECOM. **Construção e montagem dos poços do sistema de air sparging (Módulo 3 – draft)**. São Paulo: AECOM, 2012. 307 p.
- ALBERTI, L.; FRANCANI, V.; LA LICATA, I. Characterization of salt-water intrusion in the lower Esino Valley, Italy using a three-dimensional numerical model. **Hydrogeology Journal**, Milan, v. 17, n. 7, p. 1791-1804, Jul. 2009.
- ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y. (coord.). **O pré-cambriano do Brasil**. São Paulo: E. Blücher, 1984. 378 p.
- AQUIFER TEST. Version 3.5. [S.l.]: Waterloo Hydrogeologic Incorporation, 2002. CD-ROM.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 13895**: construção de poços de monitoramento e amostragem - procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 21 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 14545**: solo – determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável. Rio de Janeiro: ABNT, 2000. 12 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 15495-1**: poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares. Parte 1: projeto e construção. Rio de Janeiro: ABNT, 2007. 25 p.
- BADON, G. W. **Nora in verband met de voorgenomen put boring nabij Amsterdam Koninkl**. Holanda: Instituto de Engenharia de Tijdschr, 1889. 21 p.
- BRAGA, L. P. V. **Compreendendo probabilidade e estatística**. Rio de Janeiro: E-papers, 2010. 98 p.
- BRAITHWAITE, F. **On the infiltration of saltwater in the springs of wells under London and Liverpool**. London: Civil Engineering Institute, 1855. p 507-509.
- CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA. CHM. **Tábua de marés: Porto Grande**. Santos. Disponível em: <<https://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas/index.htm>>. Acesso em: 14 out. 2013.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. CPTEC. Disponível em: <<http://clima1.cptec.inpe.br>> Acesso em: 16 out. 2013.

CERUCCI, M.; MANCUSO, M. A. Análise de uma metodologia flexível e dos aspectos de interesse para a modelagem hidrológica da bacia hidrográfica do rio Cubatão. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007, São Paulo, *Proceedings...* São Paulo: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007. 12 p.

COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. Hillsdale: Erlbaum, 1983. 559 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. CETESB. **Plano de ação para solução da problemática ambiental em Cubatão: relatório técnico**. São Paulo: CETESB, 1983. 37 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. CETESB. **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2005. 145 p.

CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. CRH. **Plano estadual de recursos hídricos: 2004 / 2007**. São Paulo: DAEE, 2006. 92 p.

CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HIDRICOS. CRH. **Situação dos recursos hídricos do Estado de São Paulo**. São Paulo: CERH, 2007. 119 p.

DANCEY, C.; REIDY, J. **Estatística sem matemática para psicologia: usando SPSS para Windows**. Porto Alegre: Artmed, 2006. 604 p.

DEPARTAMENTO ESTADUAL DE INFRA-ESTRUTURA. DEINFRA. **IN-03/94**: Instrução normativa para o uso de simbologias em perfis individuais de sondagens e seções geológicas. Santa Catarina: DEINFRA, 1994. 12 p.

DIVER OFFICE. Version 1.0. [S.l.]: Schlumberger, 2013. 1 CD-ROM.

EINARSON, M. D.; CHERRY J. A. **A new multi level groundwater monitoring system using multichannel tubing**. [S.l.]: Ground Water Monitoring & Remediation, 2002. p. 52–65.

FEFLOW. Version 6.0. [S.l.]: DHI Group, 2009. 1 CD-ROM.

FEITOSA, A. C. **Hidrogeologia, conceitos e aplicações**. 3. ed. São Paulo: CPRM Serviço Geológico do Brasil, 2008. 812 p.

FETTER, C. W. **Applied hydrogeology**. 3 ed. New Jersey: Prentice Hall, 1994. 691 p.

FLOWLINK. Version 5.0. [S.l.]: Teledyne ISCO, 2013. 1 CD-ROM.

FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. **Groundwater**. Canada: Prentice Hall, 1979. 604 p.

GARSON, G. D. **Statnotes: topics in multivariate analysis**. [S.l.]: Statistical Associates Publishing, 2009. Disponível em: <<http://faculty.chass.ncsu.edu/garson/PA765/statnote.htm>>. Acesso em: 13 fev. 2013.

HARVEY, J. W.; ODUM, W. E. **The influence of tidal marshes on upland groundwater discharge to estuaries**. Virginia: Kluwer Academic Publishers, 1990. 20 p.

HERZBERG, A. **Die Wasserversorgung einiger Nordseeb~ider (The water supply on parts of the North Sea coast in Germany)**. Munich: Journal Gabeleucht ung und Wasserversorg ung, 1901. p. 824-844.

HUBBERT, M. K. The theory of ground-water motion. **Journal of Geology**, Columbia, v. 48, n. 8, p. 785-944. 1940.

HUGHES, E. C.; BINNING, P.; WILLGOOSE, G. R. Characterization of the hydrology of an estuarine wetland. **Journal of Hydrology**, Callaghan, v. 211, p. 34-49, Jul. 1998.

HVORSLEV, J. M. **Time lag and soil permeability in ground-water observations**. Vicksburg: US Army Corps of Engineer, 1951. 50 p.

IRITANI, A.; EZAKI, S. **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. 2. ed. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2009. 104 p.

KÖPPEN, W.; GEIGER, G. **Das Geographische System der Klimate. Handbuch der Klimatologie**. Berlin: Borntraeger Science Publishers, 1936. 44 p.

LENKOPANE, M. et al. Influence of variable salinity conditions in a tidal creek on riparian groundwater flow and salinity dynamics. **Journal of Hydrogeology**, Brisbane, v. 375, p. 536-545, Jul. 2009.

LIU, G.; KNOBBE, S.; BUTLER, J. J. Resolving centimeter-scale flows in aquifers and their hydrostratigraphic controls. **Geophysical Research Letters**, [S.l.], v. 40, p. 1098–1103. Mar. 2013.

LUSCZYNSKI, N. J. Head and flow of ground water of variable density. **Journal of Geophysical Research**, Mineola, v. 66, n. 12, p. 4247-4256. Dec. 1961.

MCNEELY, R. N.; NEIMANIS, V. P.; DWYER, L. **Water quality source book: a guide to water quality parameters**. Ottawa: Environment Canada, 1979. 89 p.

MICROSOFT EXCEL. Version 2011 [S.l.]: Microsoft Corporation, 2011. 1 CD-ROM.

MOORE, D. S. **The basic practice of statistics**. New York: Freeman, 2007. p. 404-405.

NEAL, W. **Soil and ground water sampling**. [S.l.]: Planeta Água, 1995. Disponível em: <www.aplanetaagua.com.br/novo/parametrosanaliticos.asp>. Acesso em: 08 abr. 2014.

OLIVEIRA, E. M.; CERRI, L. E.; ZAINÉ, J. E. **Estudo dos condicionantes do meio físico como subsídio na elaboração de cartas de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo no município de Cubatão (SP)**. Campinas: ABPG, 2007. 10 p.

PERROTTA, M. M. et al. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Programa Geologia do Brasil, 2005. Mapa Geológico. Escala 1:750.000.

PRITCHARD, D. W. Estuarine circulation patterns. In: American Society of Civil Engineers, 1955, CIDADE. **Proceedings...** [s.n.p.]: American Society of Civil Engineers, 1955. p. 1-11. v. 81. n. 717.

RIVER SUVEYOR LIVE. Version 3.7. [S.l.]: Sontek, 2013. 1 CD-ROM.

ROCHA, G. **Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo: nota explicativa**. São Paulo: Departamento de Águas e Energia Elétrica, 2005. Mapa Hidrogeológico. Escala 1:1.000.000.

SADOWSKI, G.R. **Tectônica da Serra do Cubatão - SP**. São Paulo: IGC/USP, 1974. 166 p.

SÃO PAULO (ESTADO). Decreto nº 10755, de 22 de novembro de 1977. Enquadramento dos Corpos de água Receptores na Classificação Prevista no Decreto N. 8.468. São Paulo, SP, Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 27 mai. 2014.

SEEP/W. Version 1.0. [S.l.]: Geo-Slope International Limited, 2012. 1 CD-ROM.

SEMCO-ERM DO BRASIL. **Investigation of the former lagoons – WO267/97.01**. São Paulo: ERM, 1997. 46 p.

SERVMAR AMBIENTAL E ENGENHARIA. **Relatório de investigação complementar do sistema de remediação - MA/2624/05/COH**. São Paulo: Servmar, 2005. 27 p.

_____. **Estudo para delimitação da Fase Dissolvida -MA/2624/05/EPS**. São Paulo: Servmar, 2006. 146 p.

SILVA, C. R. C. et al. **A importância da bacia hidrográfica do Rio Cubatão: uma visão bibliográfica dos principais poluentes do Rio Cubatão – SP**. São Paulo: Revista Ceciliana, 2012. p. 48-51.

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007. p. 1 - 12.

SISTEMA INTEGRADO DE DADOS AMBIENTAIS. SINDA. Disponível em: <<http://sinda.crn2.inpe.br/PCD/>> Acesso em: 10 set. 2012.

SUGUIO, K.; MARTIN, L. **Mapas geológicos do litoral paulista: Cananéia e Iguape**. São Paulo: Departamento de Águas e Energia Elétrica, 1978. Mapa Geológico. Escalas variam.

TORRES, F. R.; BRAGA, J. C.; BORGES, W. R. (coord.). **O que você precisa saber sobre Cubatão**. Cubatão: Design & Print, 2002. 30 p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. USEPA. **How to evaluate alternative cleanup technologies for underground storage tank sites**. [S.L]: USEPA, 2004. 548 p.

WATERLOO BRASIL. **Estudo para delimitação vertical da fase dissolvida – P.693_1787/08**. São Paulo: Waterloo, 2009. 52 p.

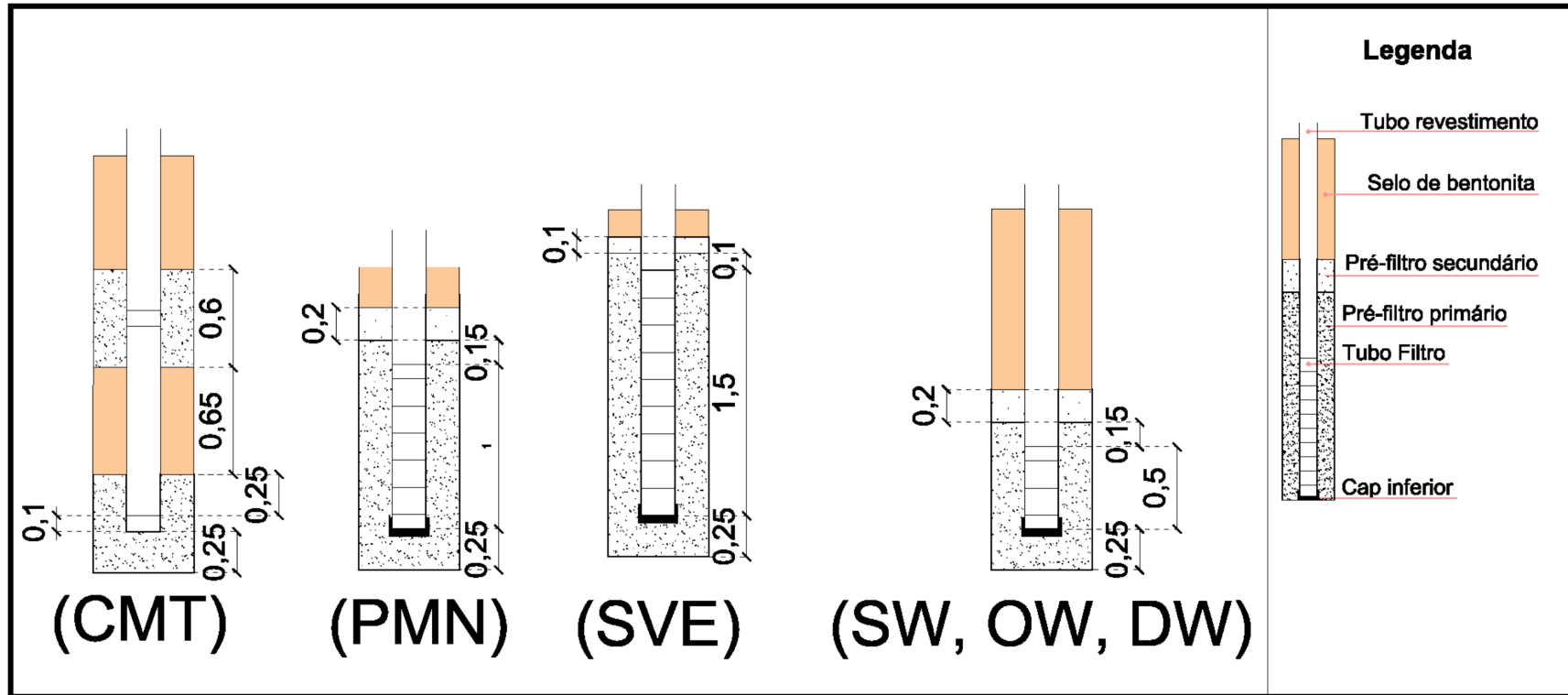
WIN-SITU. Version 5.0. [S.l.]: In-Situ Incorporation, 2013. 1 CD-ROM.

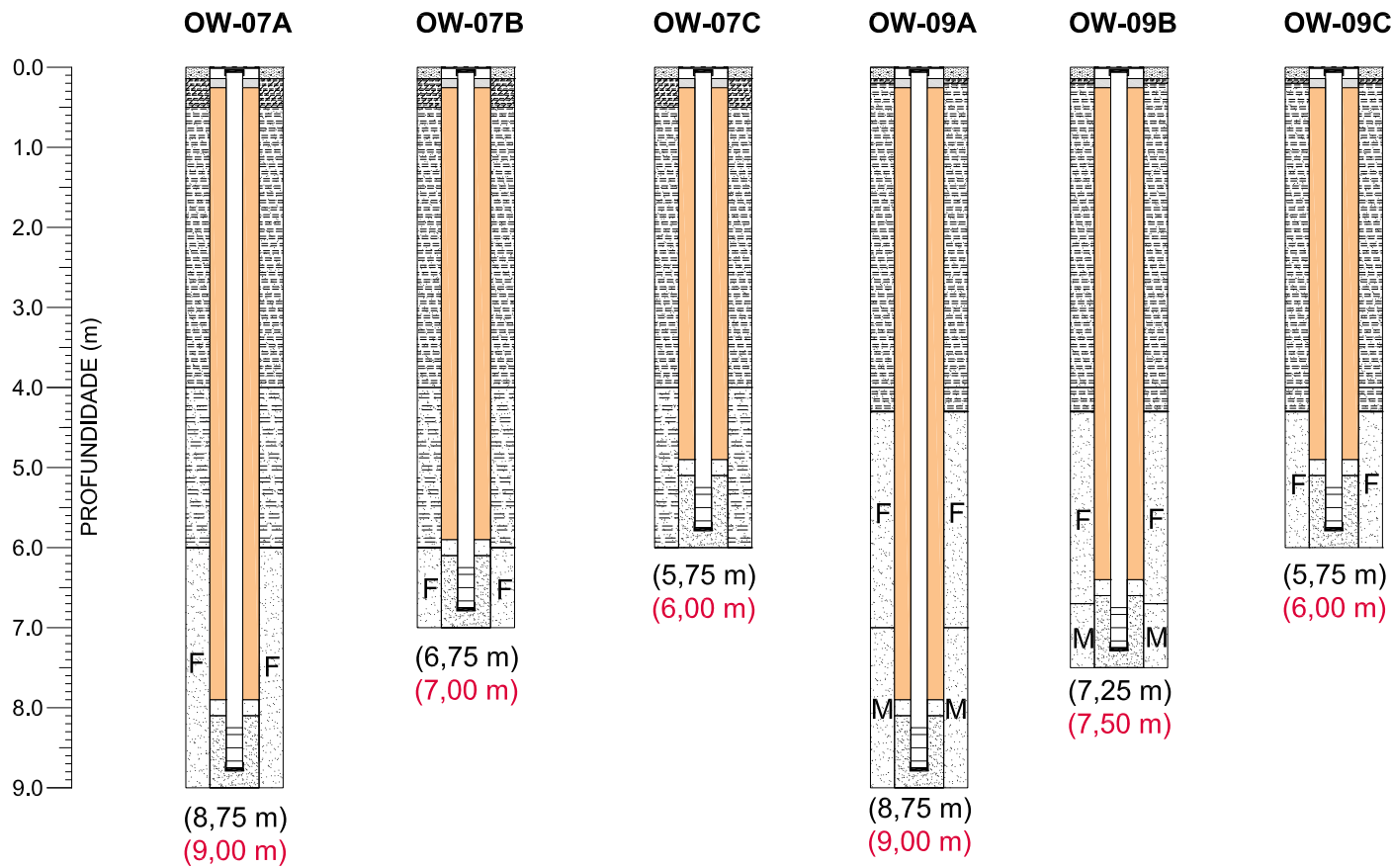
WOESSNER, W. W. Stream and fluvial plain ground water interactions: rescaling hydrogeologic thought. **Groundwater**, [S.l.], v. 38, n. 3, p. 423–429, May 2000.

ANEXO 1

Perfis litológico-construtivos e seções hidrogeológicas

Resumo das estruturas construtivas dos tipos de poços selecionados





Perfis litológico-constructivos dos poços de observação (OW)

Cobertura antropogénica:

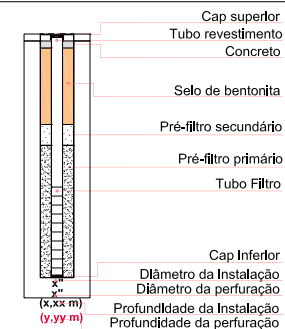
-  Concreto
-  Aterro silte-argiloso, de coloração variegada, com presença de fragmentos de rocha
-  Aterro silte-arenoso, amarelado, com presença de fragmentos de rocha e entulho
-  Aterro areno-siltoso, avermelhado, com alteração de gnaiss

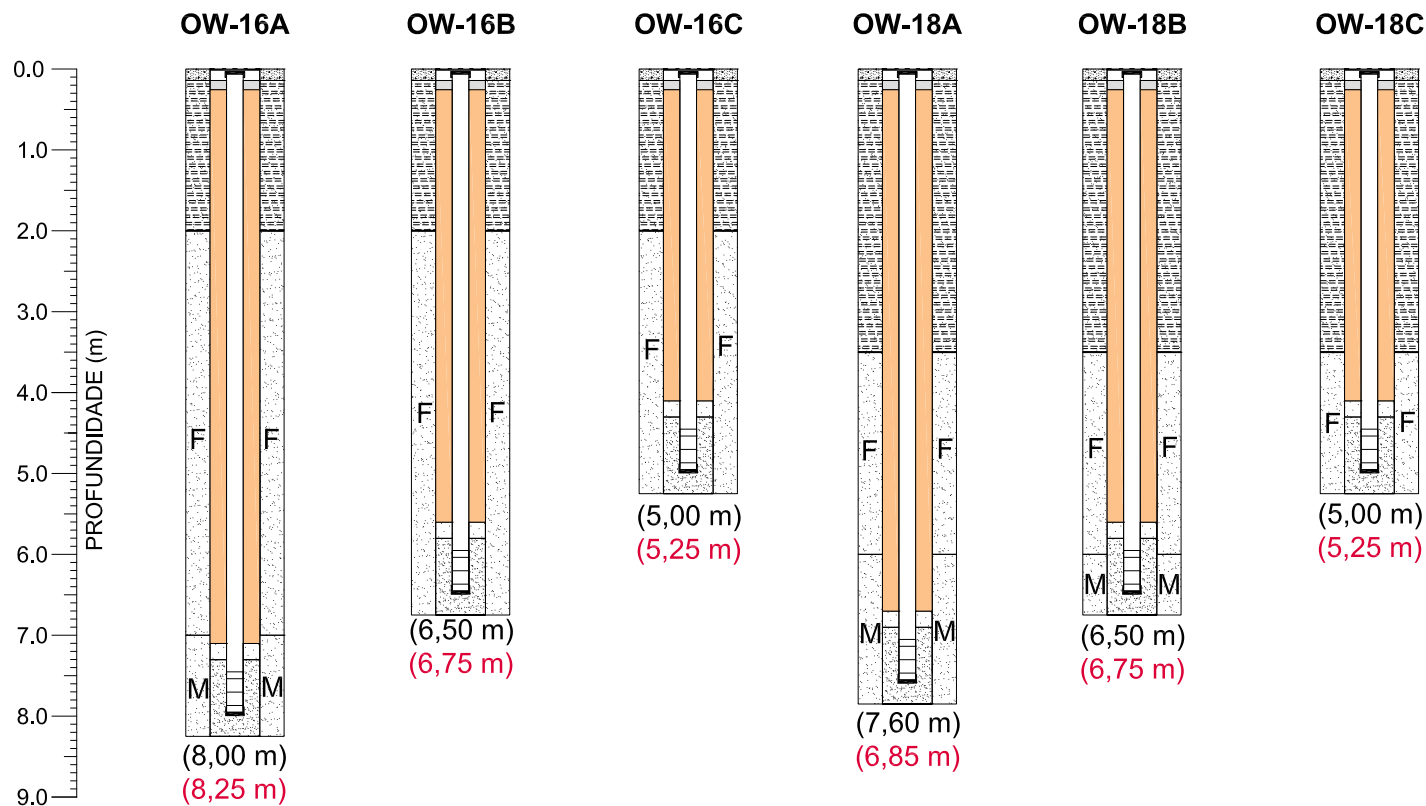
Depósitos aluvionares:

-  Sedimentos silte-arenoso, avermelhado com presença de fragmentos de rocha
-  Areia fina, esverdeada com presença de minerais do grupo mica e seixos de quartzo
-  Areia média, cinza esbranquiçado com presença de seixos de quartzo

— Contato entre a camada de aterro e a geologia local

Perfil construtivo - ilustrativo





Perfis litológico-constructivos dos poços de observação (OW)

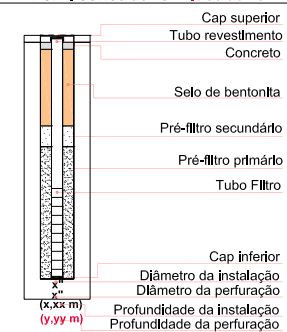
Cobertura antropogênica:

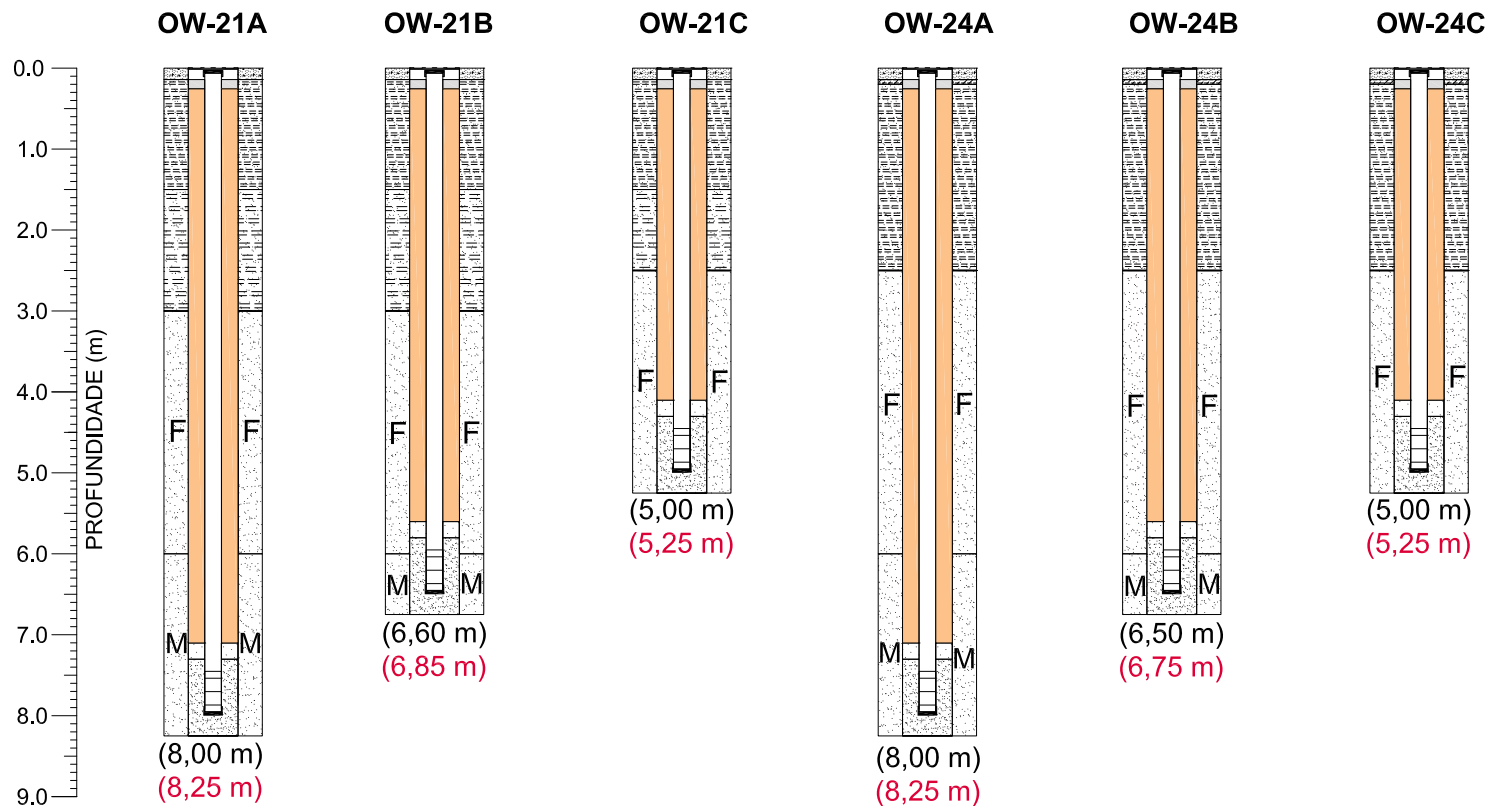
- Concreto
- Aterro silte-arenoso, amarronzado, com presença de fragmentos de rocha e entulho

Depósitos aluvionares:

- Areia fina, esverdeada com presença de minerais do grupo mica e seixos de quartzo
- Areia média, cinza esbranquiçado com presença de seixos de quartzo
- Contato entre a camada de aterro e a geologia local

Perfil construtivo - Ilustrativo





Perfis litológico-constructivos dos poços de observação (OW)

Cobertura antropogénica:

- Concreto
- Aterro silte-argiloso, de coloração variegada, com presença de fragmentos de rocha
- Aterro silte-arenoso, amarronzado, com presença de fragmentos de rocha e entulho
- Aterro areno-siltoso, avermelhado, com alteração de gnaisse

Depósitos aluvionares:

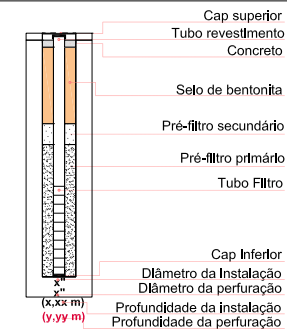
- F** Areia fina, esverdeada com presença de minerais do grupo mica e seixos de quartzo
- M** Areia média, cinza esbranquiçado com presença de seixos de quartzo

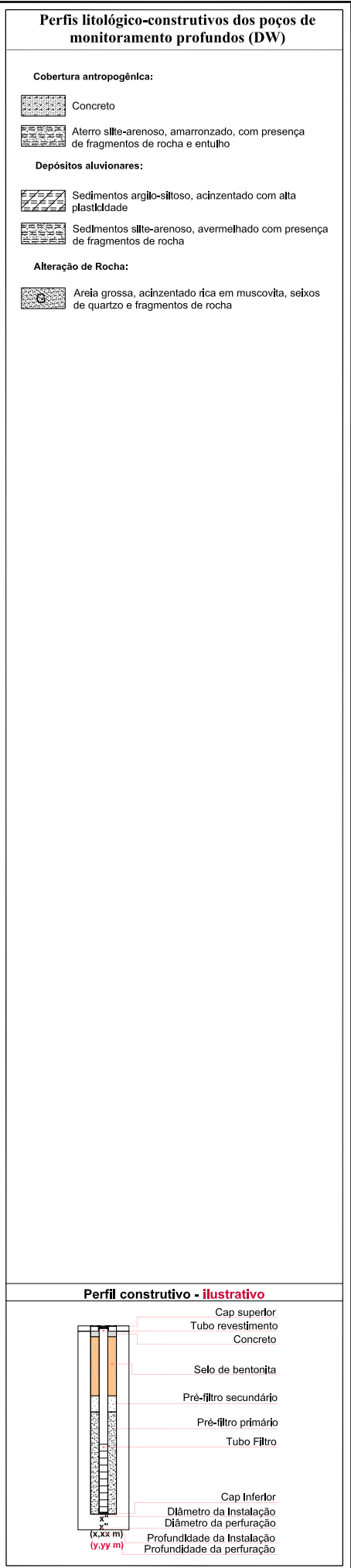
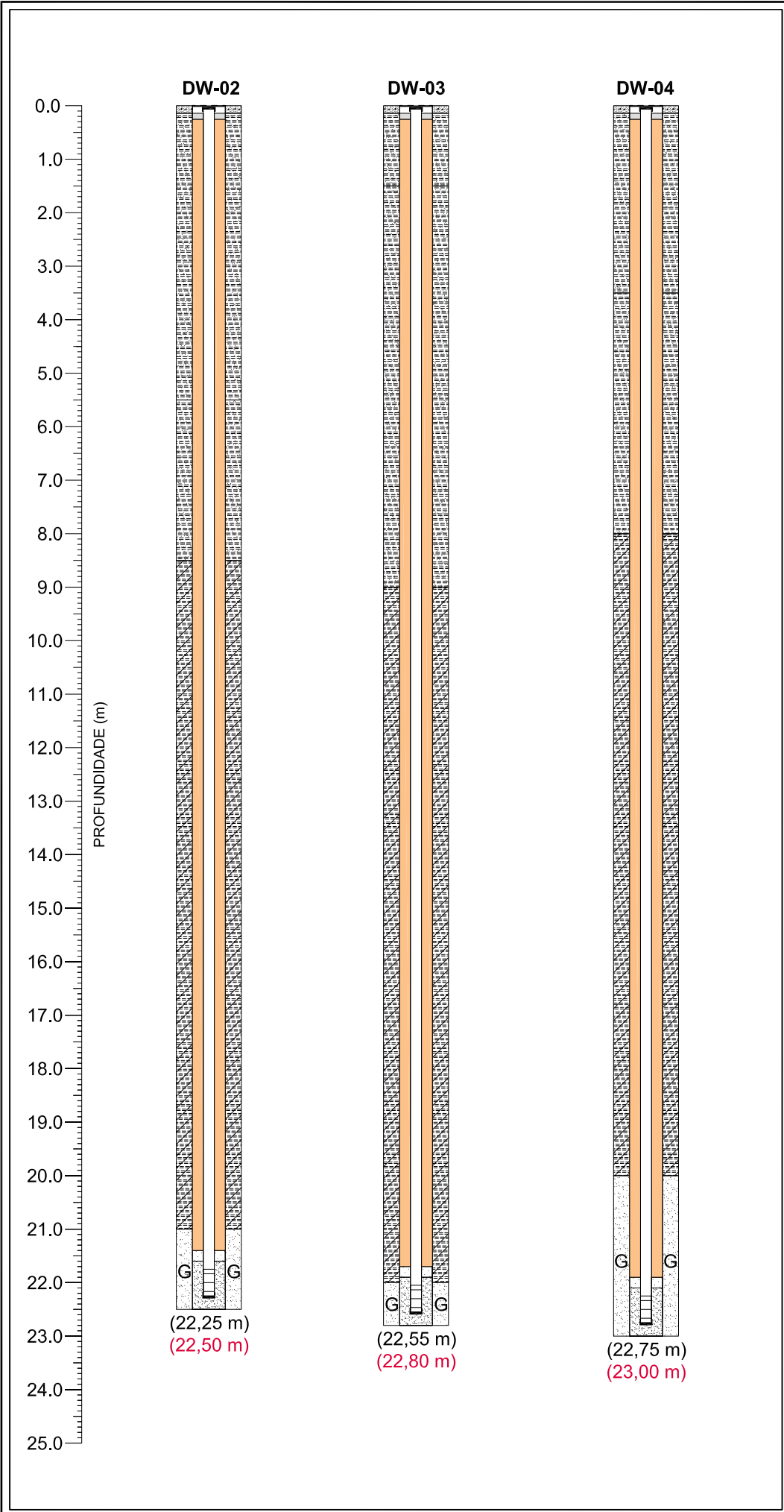
Alteração de Rocha:

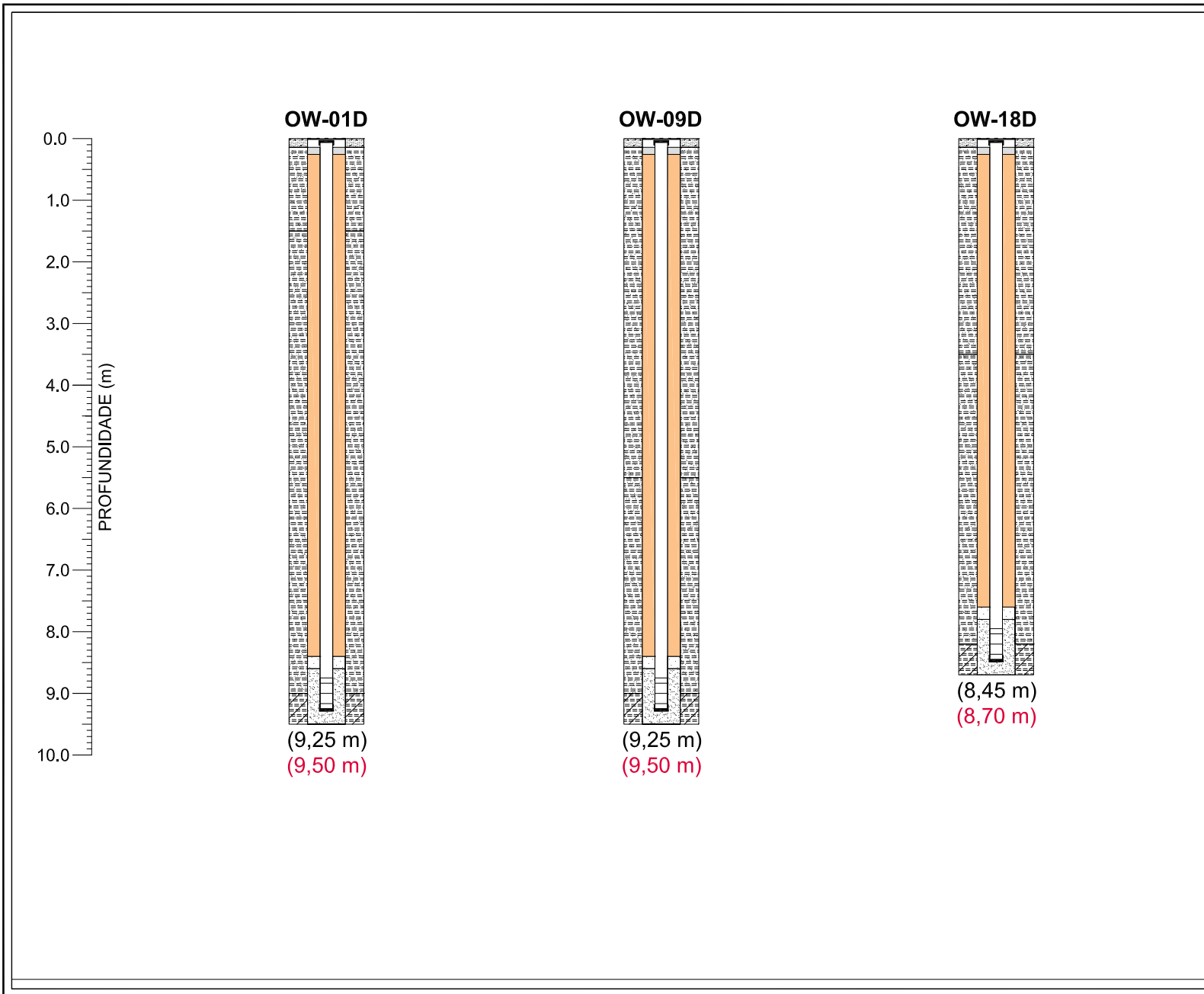
- G** Areia grossa, adnzentado rica em muscovita, seixos de quartzo e fragmentos de rocha

— — Contato entre a camada de aterro e a geologia local

Perfil construtivo - ilustrativo







Perfis litológico-constructivos dos poços de observação (OW)

Cobertura antropogênica:

- Concreto
- Aterro silte-arenoso, amarronzado, com presença de fragmentos de rocha e entulho

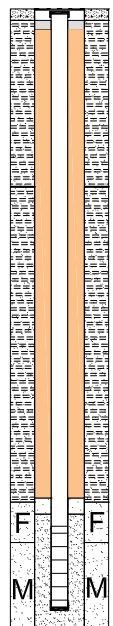
Depósitos aluvionares:

- Sedimentos argilo-siltoso, acinzentado com alta plasticidade
- Sedimentos silte-arenoso, avermelhado com presença de fragmentos de rocha

Perfil construtivo - ilustrativo

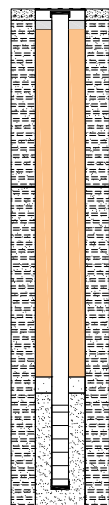
- Cap superior
- Tubo revestimento
- Concreto
- Selo de bentonita
- Pré-filtro secundário
- Pré-filtro primário
- Tubo Filtro
- Cap Inferior
- Diâmetro da Instalação
- Diâmetro da perfuração
- Profundidade da Instalação
- Profundidade da perfuração

PMN-01A



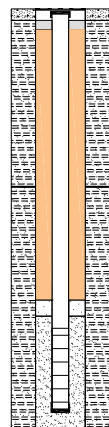
(7,40 m)
(7,65 m)

PMN-01B



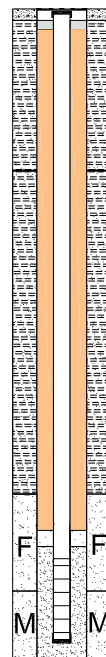
(5,90 m)
(6,15 m)

PMN-01C



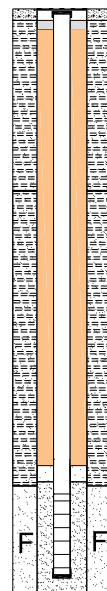
(5,00 m)
(5,25 m)

PMN-02A



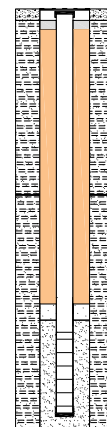
(7,80 m)
(8,05 m)

PMN-02B



(7,00 m)
(7,25 m)

PMN-02C



(5,00 m)
(5,25 m)

Perfis litológico-constructivos das baterias dos poços de monitoramento multinível (PMN)

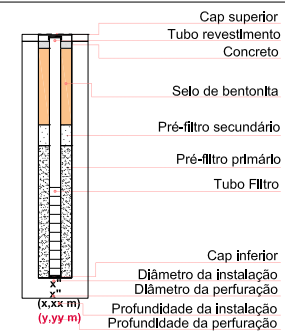
Cobertura antropogênica:

- Concreto
- Aterro silte-arenoso, amarelado, com presença de fragmentos de rocha e entulho

Depósitos aluvionares:

- Sedimentos silte-arenoso, avermelhado com presença de fragmentos de rocha
- Areia fina, esverdeada com presença de minerais do grupo mica e seixos de quartzo
- Areia média, cinza esbranquiçada com presença de seixos de quartzo
- — Contato entre a camada de aterro e a geologia local

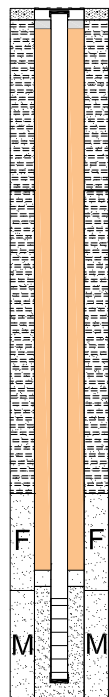
Perfil construtivo - Ilustrativo



0.0
1.0
2.0
3.0
4.0
5.0
6.0
7.0
8.0
9.0

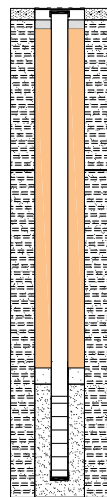
PROFUNDIDADE (m)

PMN-03A



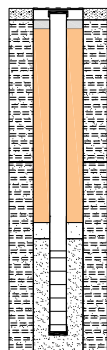
(8,30 m)
(8,55 m)

PMN-03B



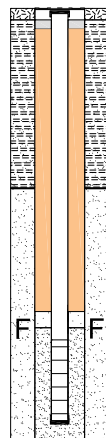
(5,80 m)
(6,05 m)

PMN-03C



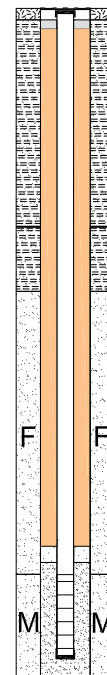
(4,00 m)
(4,25 m)

PMN-04A



(5,10 m)
(5,35 m)

PMN-04B



(8,00 m)
(8,25 m)

Perfis litológico-constructivos das baterias dos poços de monitoramento multinível (PMN)

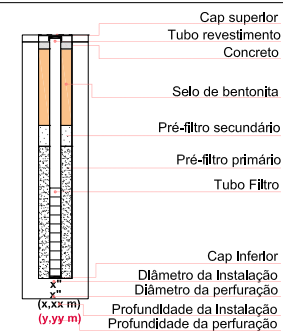
Cobertura antropogênica:

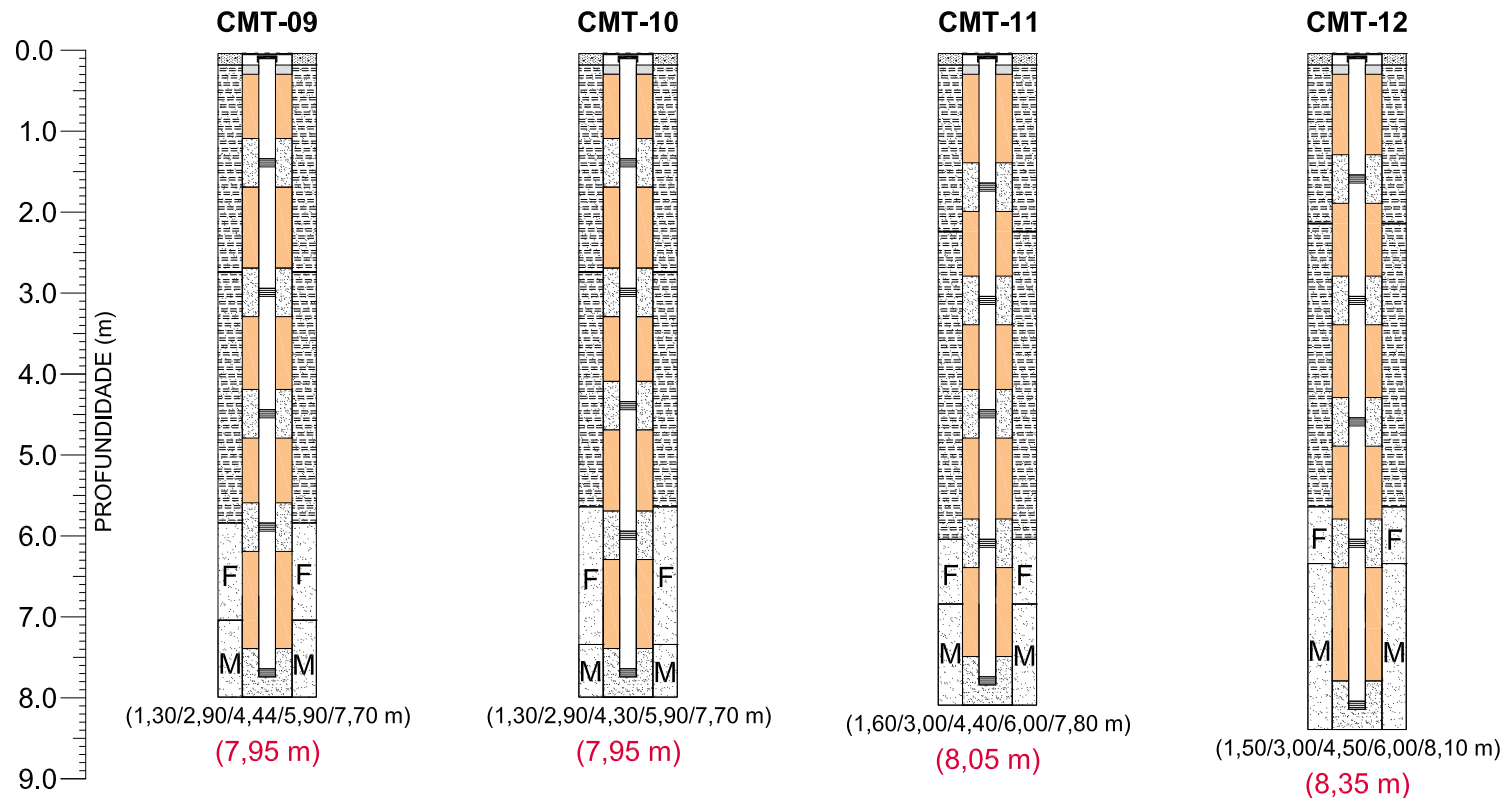
- Concreto
- Gramado
- Aterro silte-arenoso, amarelo, com presença de fragmentos de rocha e entulho

Depósitos aluvionares:

- Sedimentos silte-arenoso, avermelhado com presença de fragmentos de rocha
- F Areia fina, esverdeada com presença de minerais do grupo mica e seixos de quartzo
- M Areia média, cinza esbranquiçado com presença de seixos de quartzo
- Contato entre a camada de aterro e a geologia local

Perfil construtivo - ilustrativo





Perfis litológico-constructivos dos poços de monitoramento multinível (CMT)

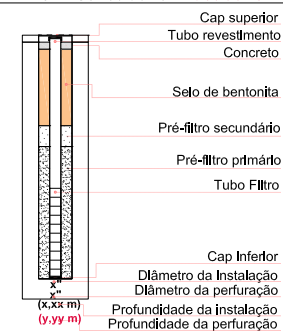
Cobertura antropogénica:

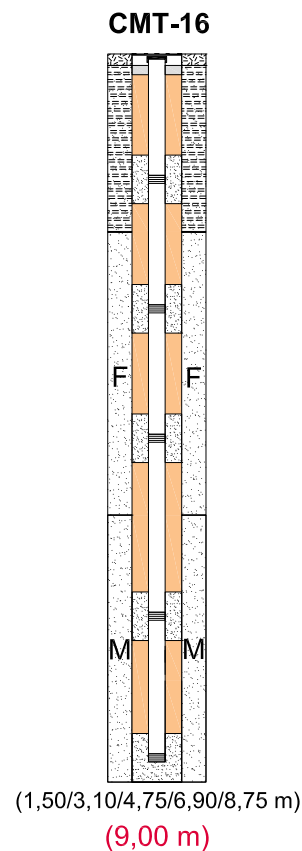
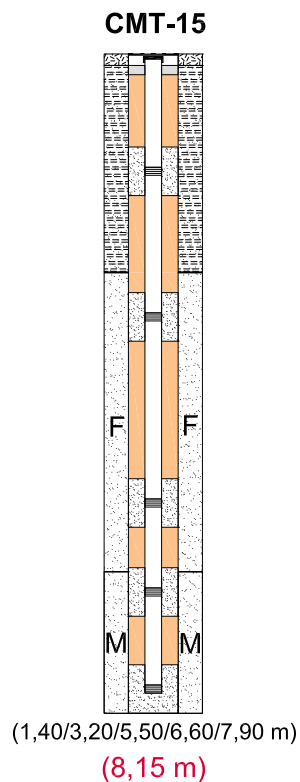
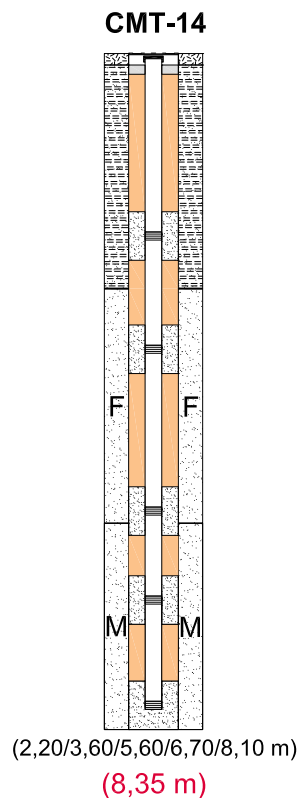
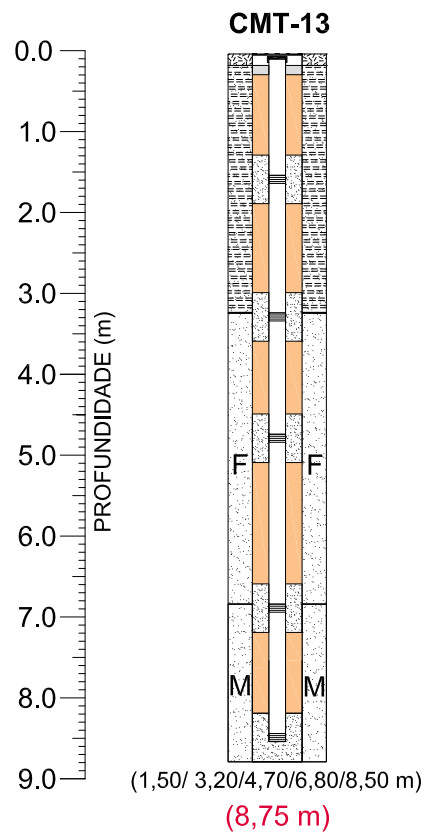
-  Concreto
-  Aterro silte-arenoso, amarronzado, com presença de fragmentos de rocha e entulho

Depósitos aluvionares:

-  Sedimentos silte-arenoso, avermelhado com presença de fragmentos de rocha
-  Areia fina, esverdeada com presença de minerais do grupo mica e seixos de quartzo
-  Areia média, cinza esbranquiçado com presença de seixos de quartzo
- — Contato entre a camada de aterro e a geologia local

Perfil construtivo - ilustrativo





Perfis litológico-constructivos dos poços de monitoramento multinível (CMT)

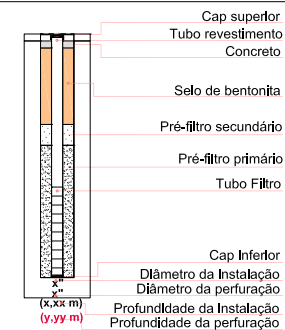
Cobertura antropogênica:

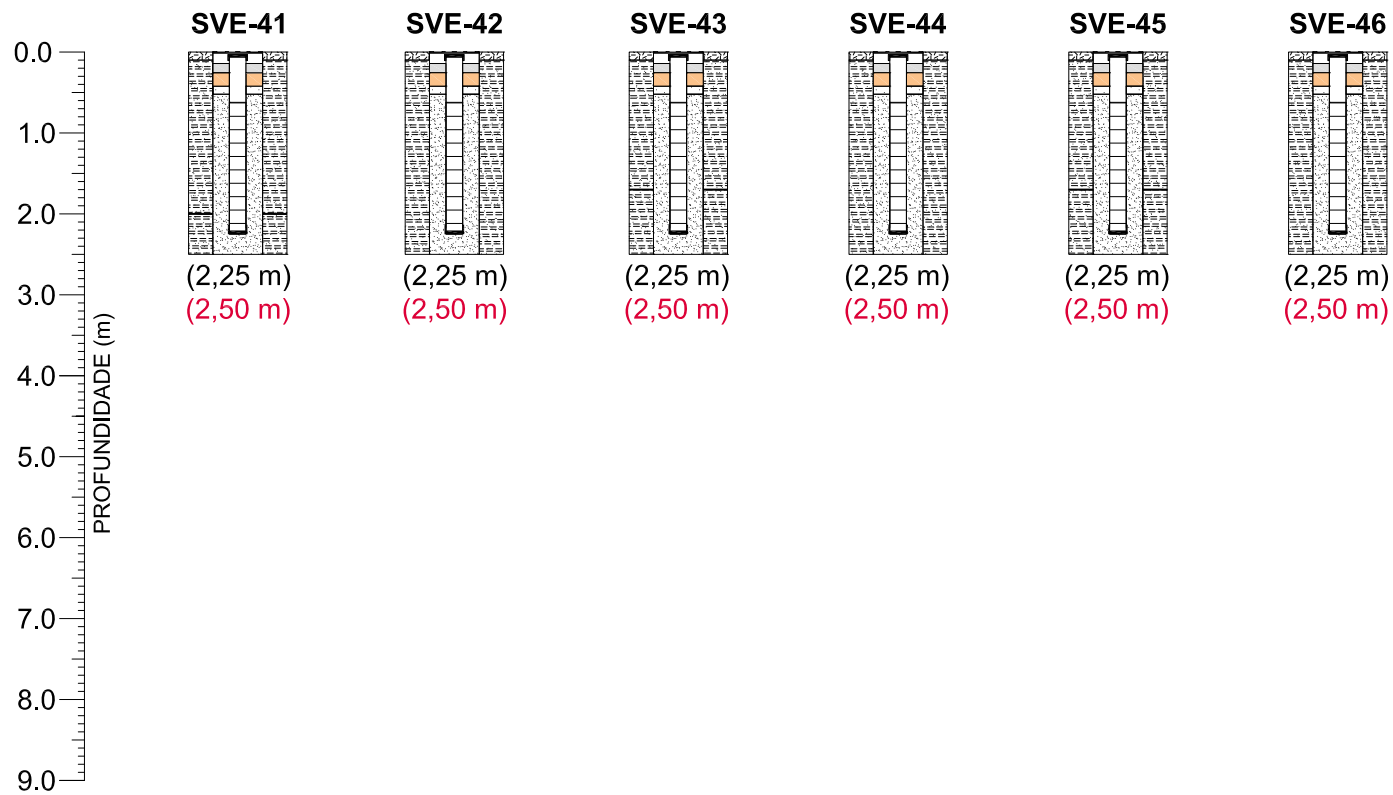
- Gramado
- Aterro silte-arenoso, amarronzado, com presença de fragmentos de rocha e entulho

Depósitos aluvionares:

- Areia fina, esverdeada com presença de minerais do grupo mica e seixos de quartzo
- Areia média, cinza esbranquiçado com presença de seixos de quartzo
- Contato entre a camada de aterro e a geologia local

Perfil construtivo - ilustrativo





Perfis litológico-constructivos dos poços de monitoramento extração de vapores (SVE)

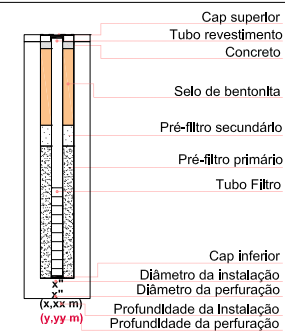
Cobertura antropogênica:

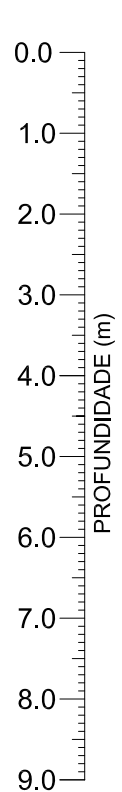
- Gramado
- Aterro silte-arenoso, amarronzado, com presença de fragmentos de rocha e entulho

Depósitos aluvionares:

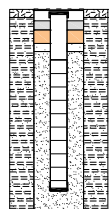
- Sedimentos silte-arenoso, avermelhado com presença de fragmentos de rocha
- Contato entre a camada de aterro e a geologia local

Perfil construtivo - Ilustrativo



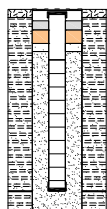


SVE-47



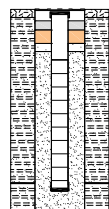
(2,25 m)
(2,50 m)

SVE-48



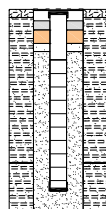
(2,25 m)
(2,50 m)

SVE-49



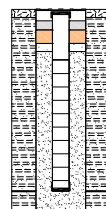
(2,25 m)
(2,50 m)

SVE-50



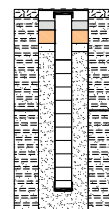
(2,25 m)
(2,50 m)

SVE-51



(2,25 m)
(2,50 m)

SVE-52



(2,25 m)
(2,50 m)

Perfis litológico-constructivos dos poços de monitoramento extração de vapores (SVE)

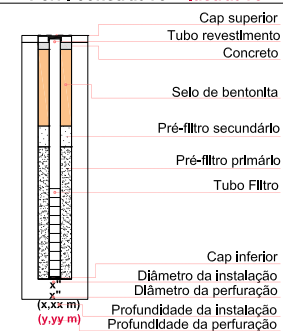
Cobertura antropogênica:

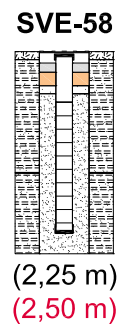
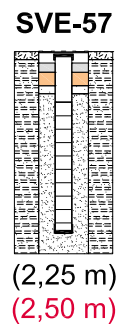
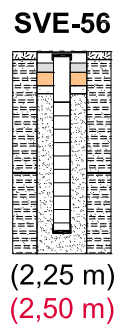
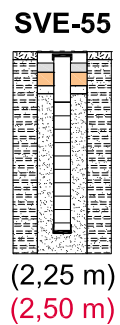
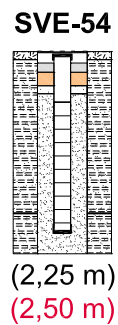
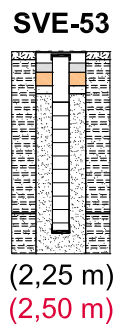
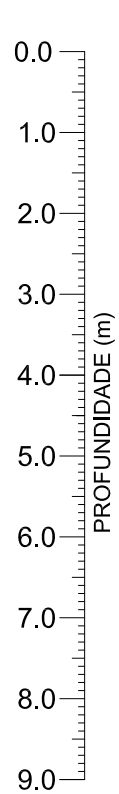
-  Gramado
-  Aterro silte-arenoso, amarronzado, com presença de fragmentos de rocha e entulho

Depósitos aluvionares:

-  Sedimentos silte-arenoso, avermelhado com presença de fragmentos de rocha
-  Contato entre a camada de aterro e a geologia local

Perfil construtivo - **ilustrativo**





Perfis litológico-constructivos dos poços de monitoramento extração de vapores (SVE)

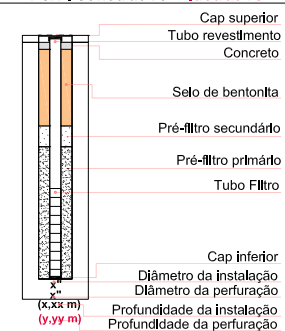
Cobertura antropogênica:

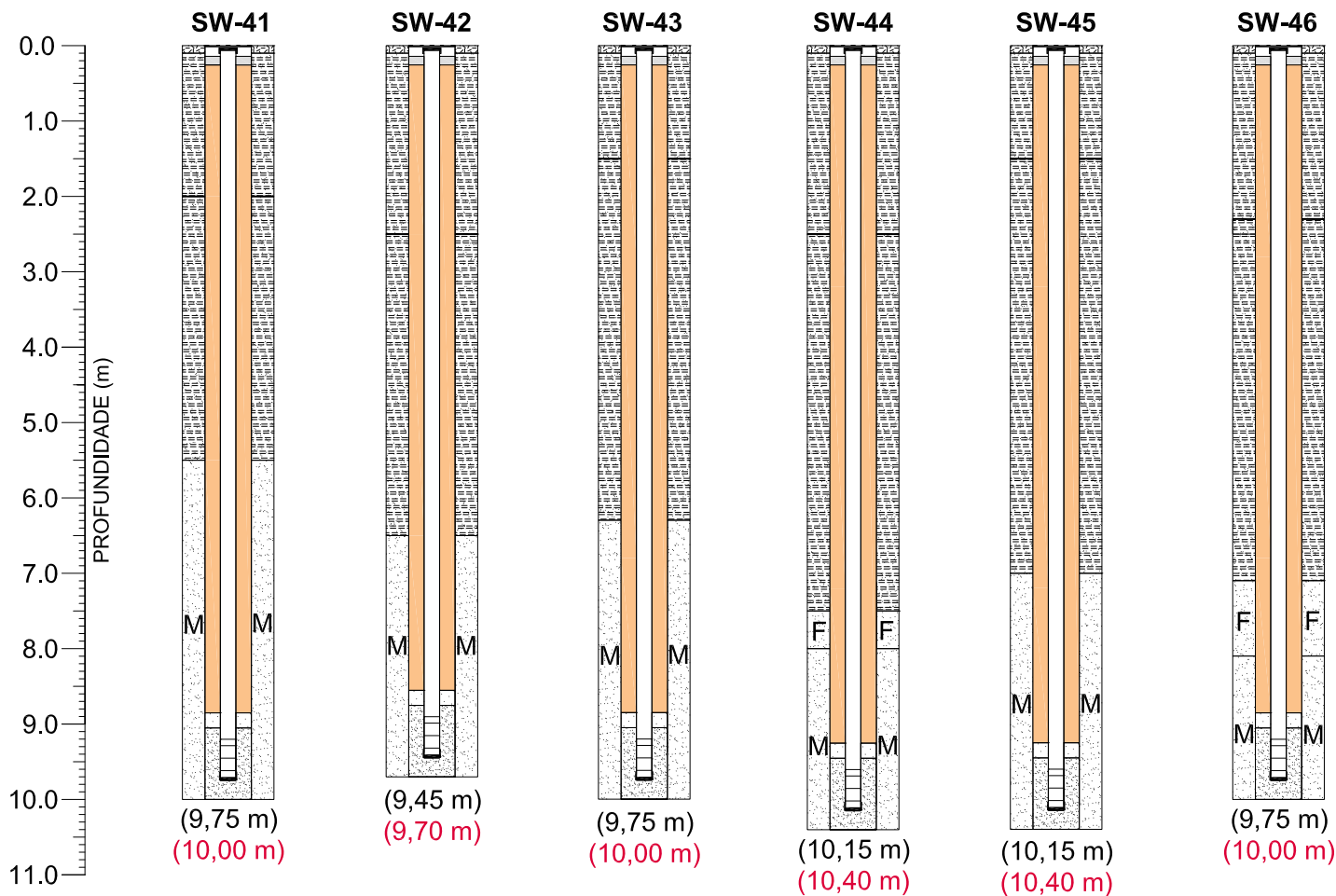
- Gramado
- Aterro silte-arenoso, amarronzado, com presença de fragmentos de rocha e entulho

Depósitos aluvionares:

- Sedimentos silte-arenoso, avermelhado com presença de fragmentos de rocha
- Contato entre a camada de aterro e a geologia local

Perfil construtivo - Ilustrativo





Perfis litológico-constructivos dos poços de monitoramento injeção de ar (SW)

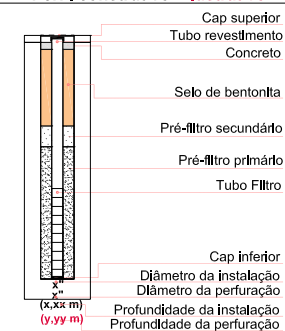
Cobertura antropogênica:

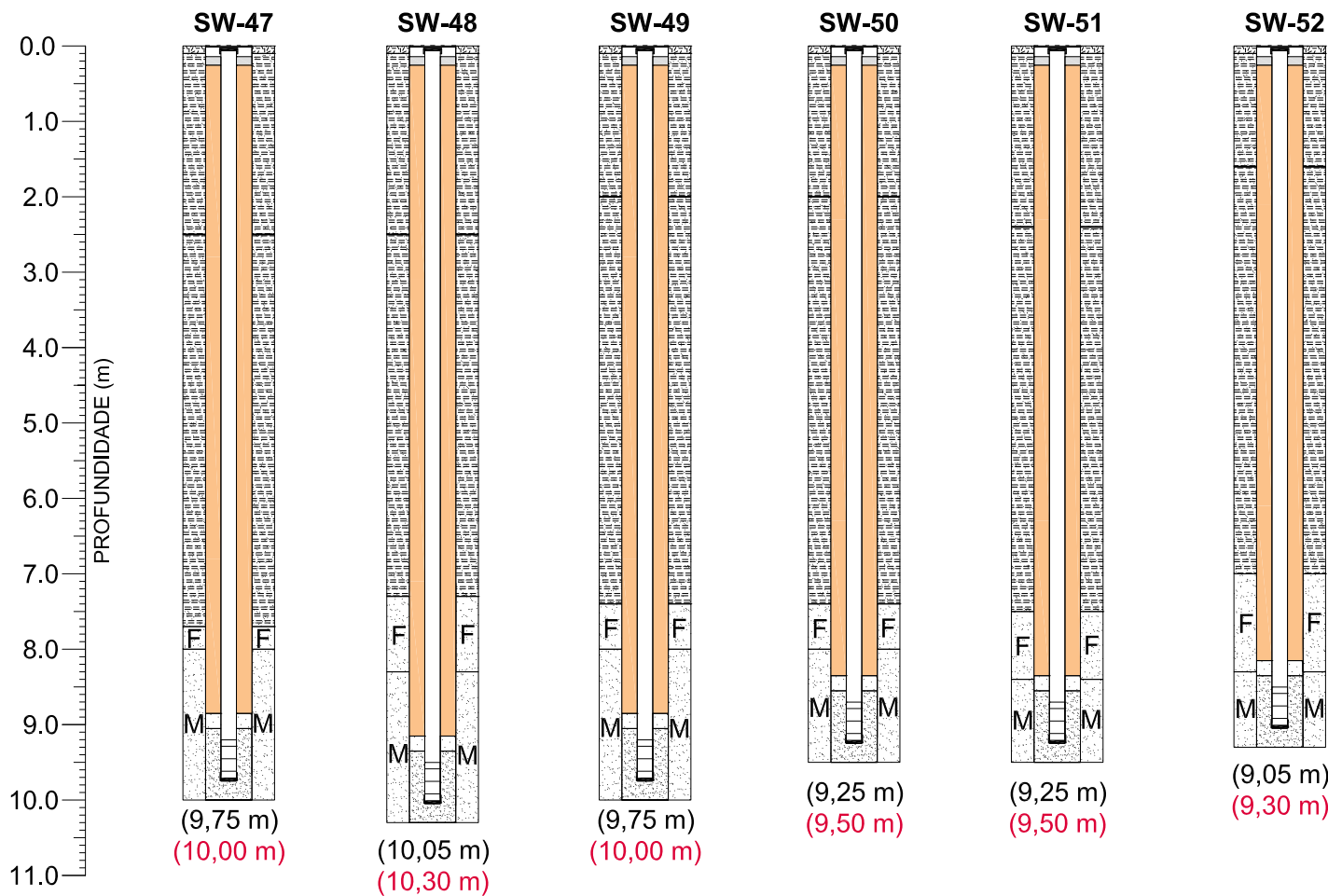
- Gramado
- Aterro silte-arenoso, amarronzado, com presença de fragmentos de rocha e entulho

Depósitos aluvionares:

- Sedimentos silte-arenoso, avermelhado com presença de fragmentos de rocha
- Areia fina, esverdeada com presença de minerais do grupo mica e seixos de quartzo
- Areia média, cinza esbranquiçado com presença de seixos de quartzo
- Contato entre a camada de aterro e a geologia local

Perfil construtivo - Ilustrativo





Perfis litológico-constructivos dos poços de monitoramento injeção de ar (SW)

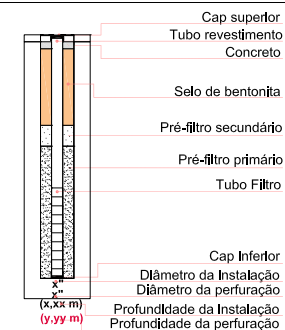
Cobertura antropogênica:

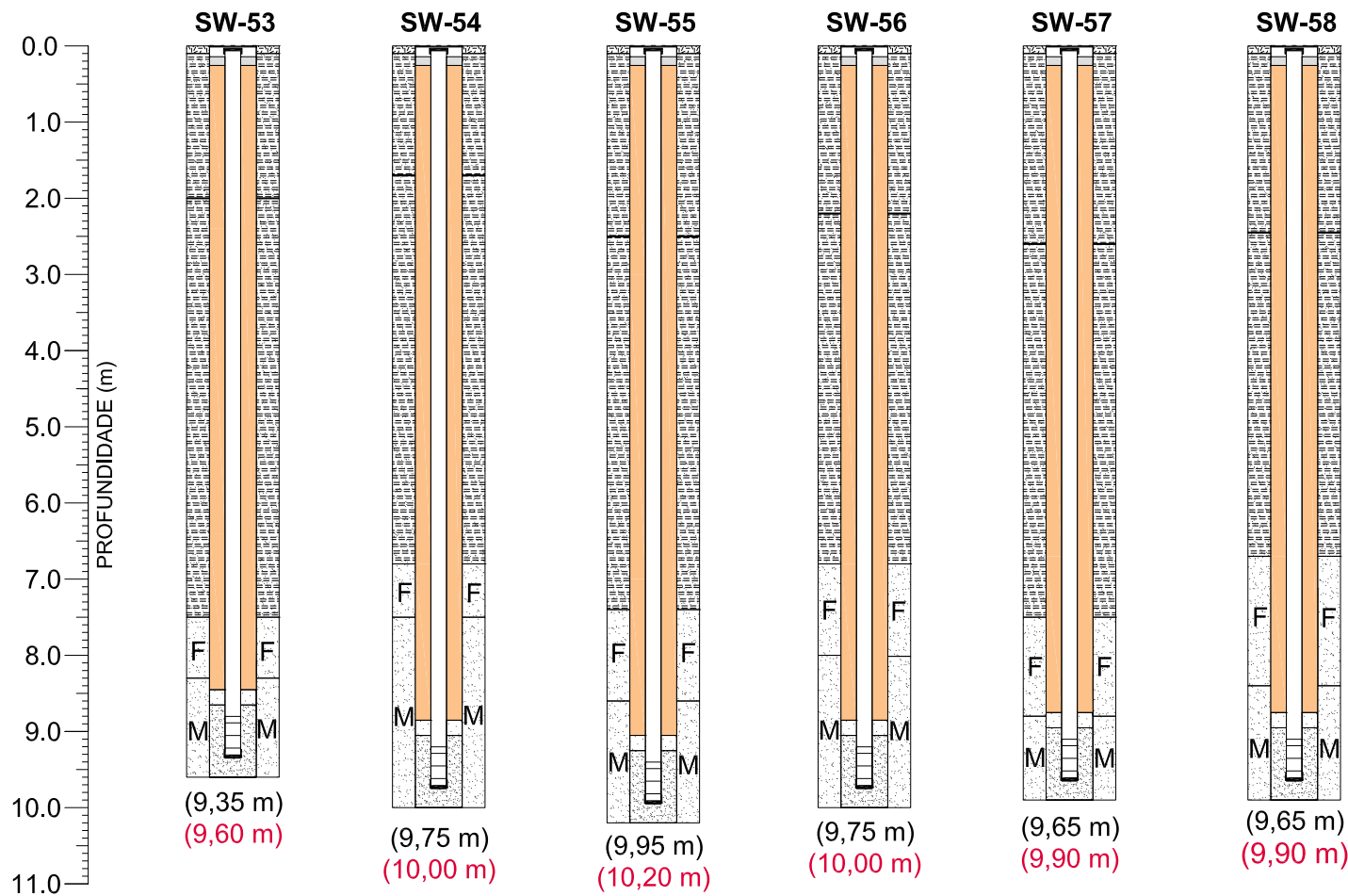
- Gramado
- Aterro silte-arenoso, amarronzado, com presença de fragmentos de rocha e entulho

Depósitos aluvionares:

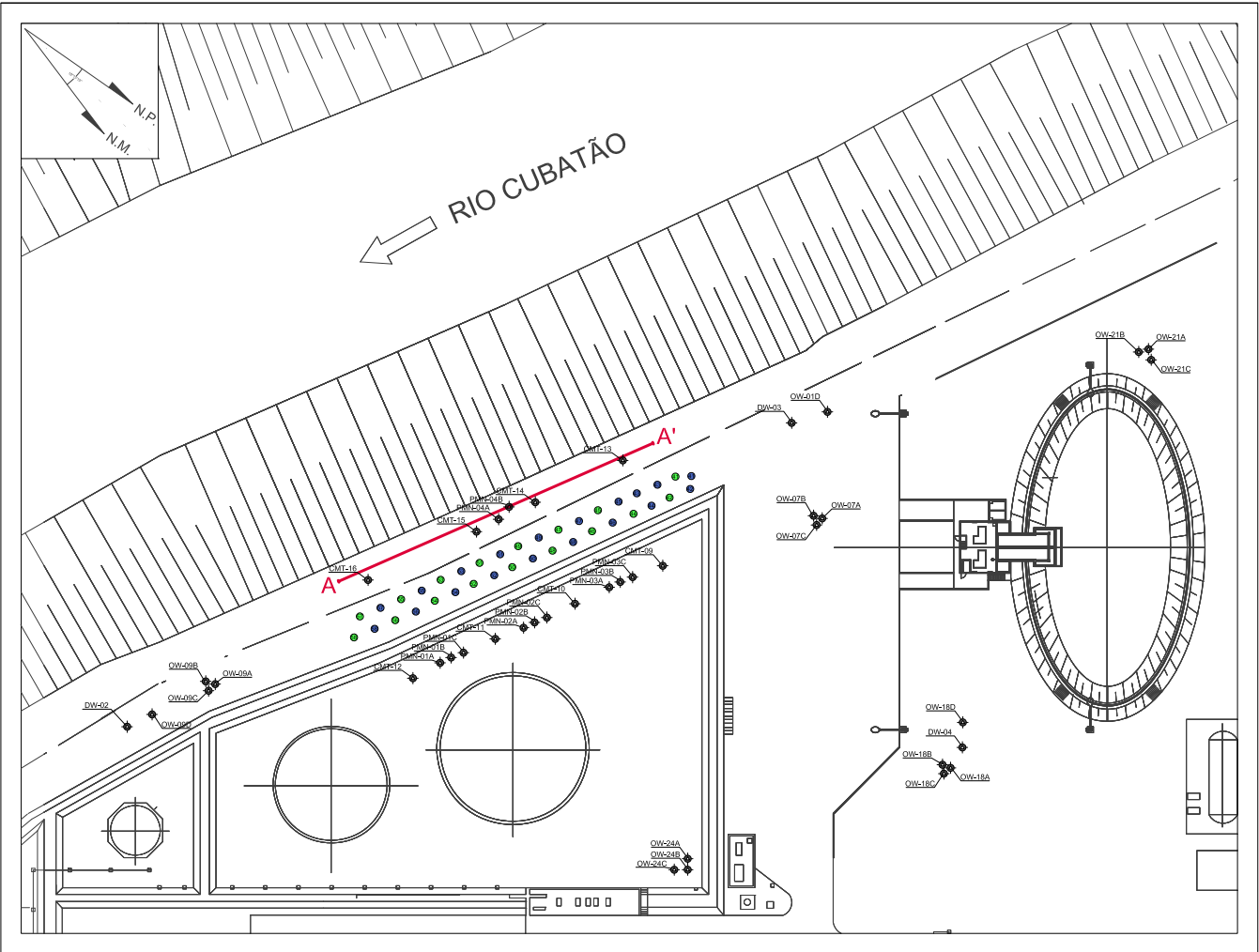
- Sedimentos silte-arenoso, avermelhado com presença de fragmentos de rocha
- Areia fina, esverdeada com presença de minerais do grupo mica e selxos de quartzo
- Areia média, cinza esbranquiçado com presença de selxos de quartzo
- Contato entre a camada de aterro e a geologia local

Perfil construtivo - ilustrativo





Situação em Planta



Obs: Para efeito ilustrativo os poços de monitoramento estão superdimensionados

SEÇÃO GEOLÓGICA A-A'

Cobertura antropogênica:

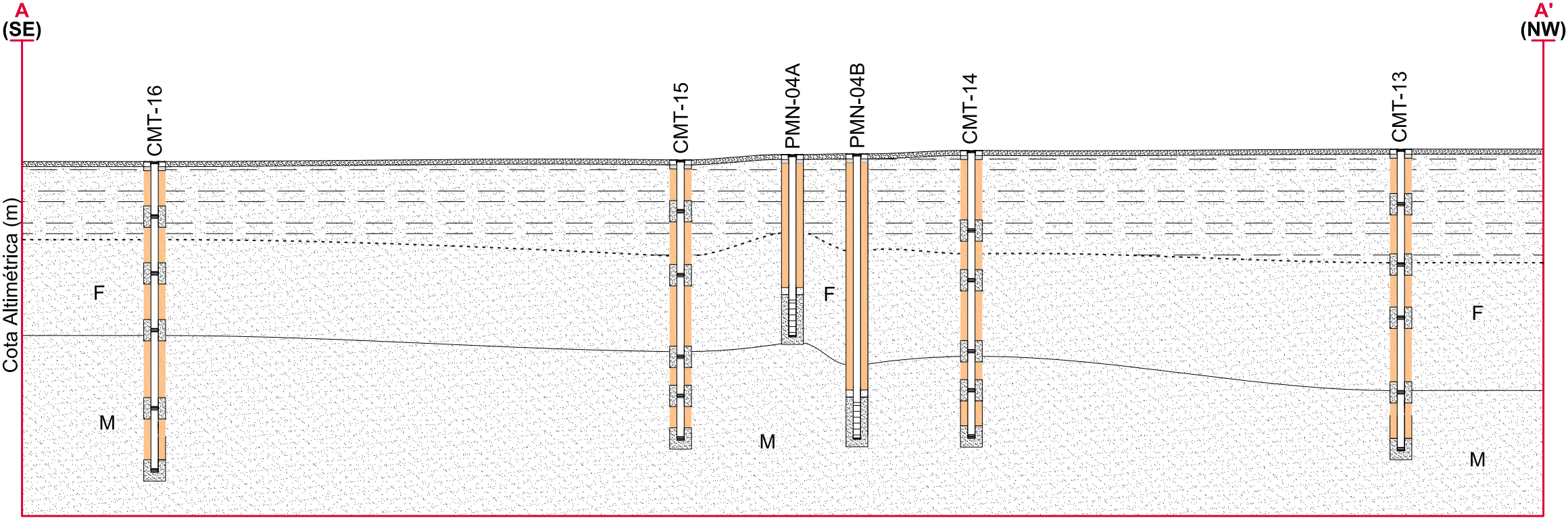
- Gramado
- Aterro silte-arenoso, amarronzado, com presença de fragmentos de rocha e entulho

Depósitos aluvionares:

- Areia fina, esverdeada com presença de minerais do grupo mica e seixos de quartzo
- Areia média, cinza esbranquiçado com presença de seixos de quartzo

- Contato litológico definido
- Contato entre a camada de aterro e a geologia local

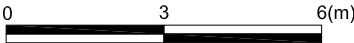
Corte em planta da seção hidrogeológica

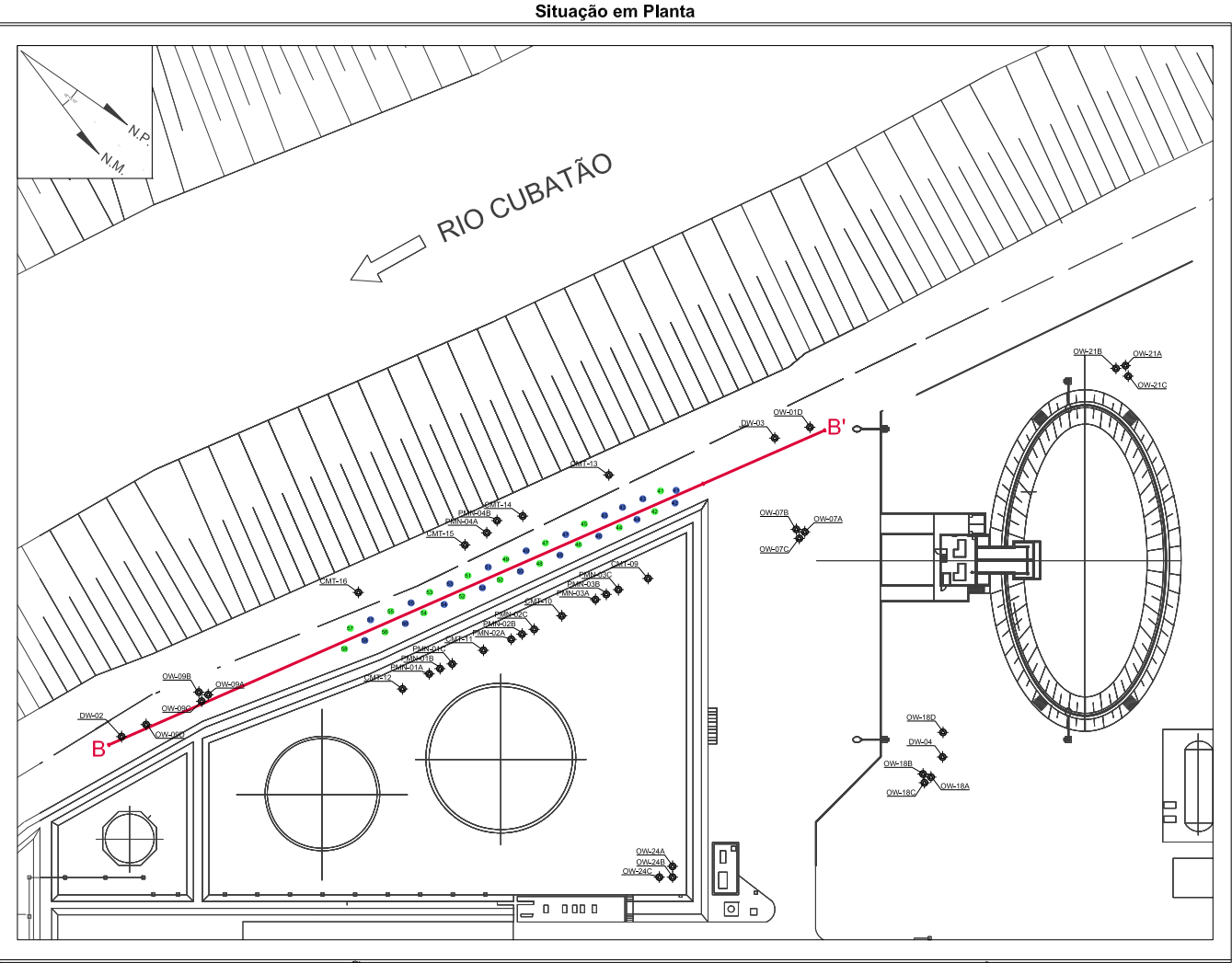


Perfil construtivo - ilustrativo

- Cap superior
- Tubo revestimento
- Concreto
- Selo de bentonita
- Pré-filtro secundário
- Pré-filtro primário
- Tubo Filtro
- Cap inferior
- Diâmetro da instalação
- Diâmetro da perfuração
- Profundidade da instalação
- Profundidade da perfuração

Escala





Obs: Para efeito ilustrativo os poços de monitoramento estão superdimensionados

SEÇÃO GEOLÓGICA B-B'

Cobertura antropogênica:

- Concreto
- Gramado
- Aterro silte-arenoso, amarronzado, com presença de fragmentos de rocha e entulho

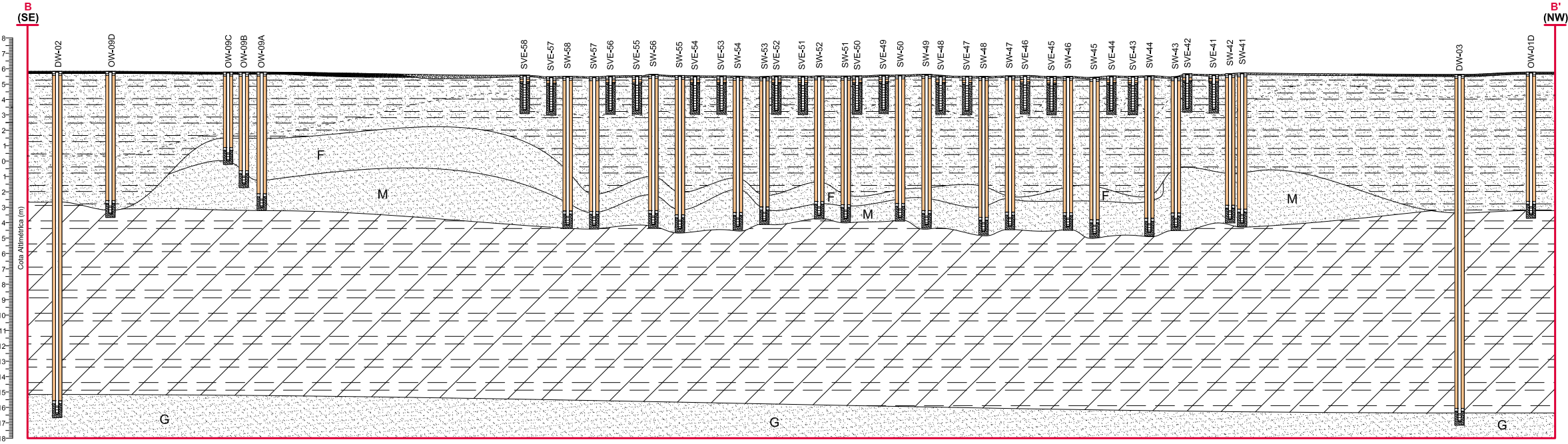
Depósitos aluvionares:

- Sedimento argilo-siltoso, acinzentado com alta plasticidade
- Sedimento silte-arenoso, avermelhado com presença de fragmentos de rocha
- Areia fina, esverdeada com presença de minerais do grupo mica e seixos de quartzo
- Areia média, cinza esbranquiçado com presença de seixos de quartzo

Alteração de Rocha:

- Areia grossa, acinzentado rica em muscovita, seixos de quartzo e fragmentos de rocha
- Contato litológico definido
- Contato entre a camada de aterro e a geologia local

Corte em planta da seção hidrogeológica

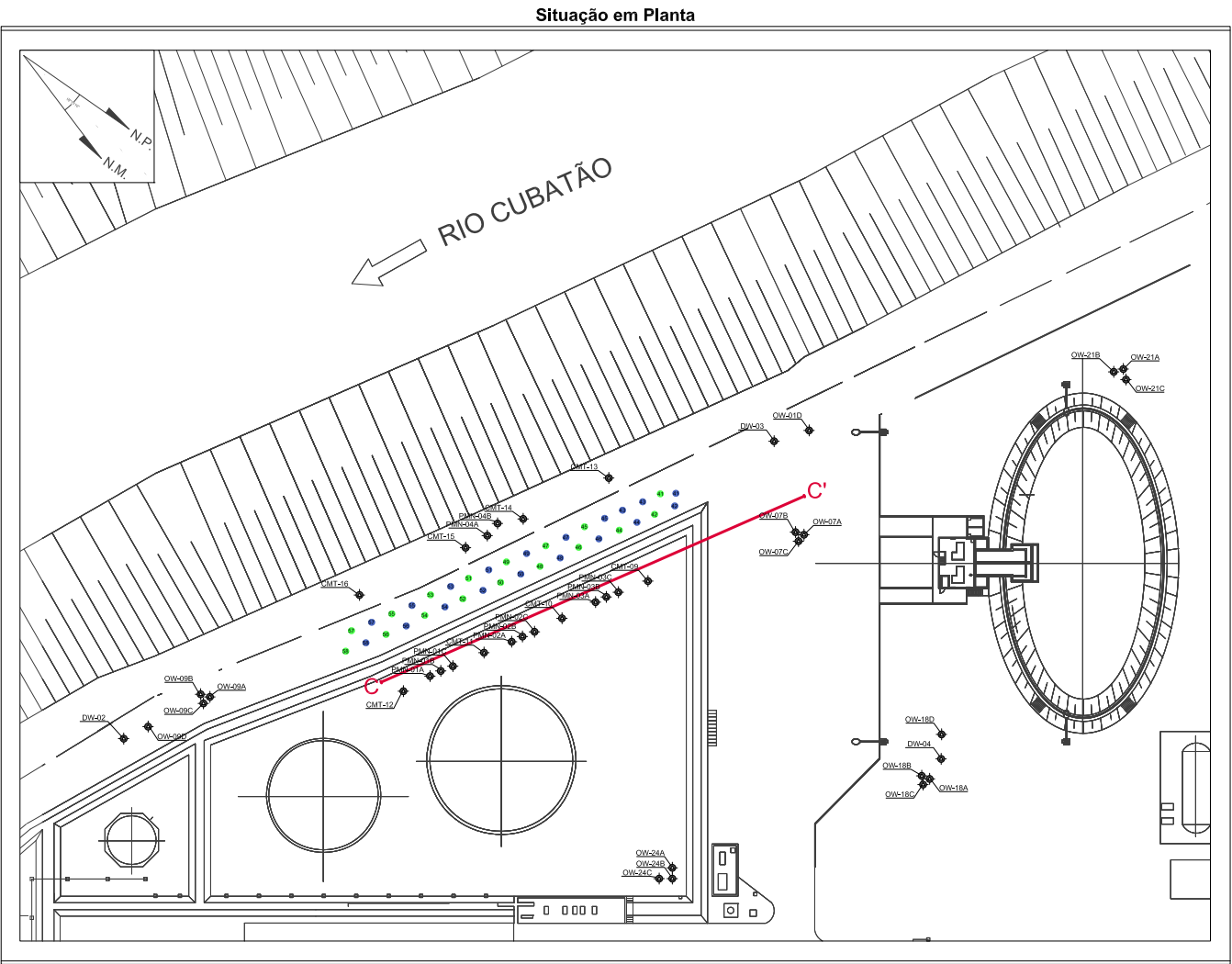


Perfil construtivo - ilustrativo

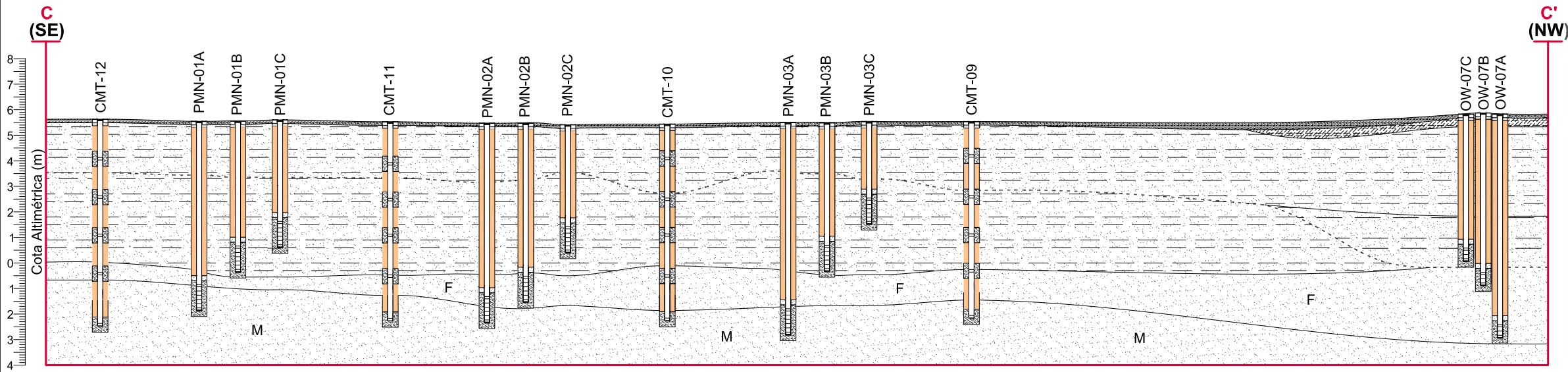
- Cap superior
- Tubo revestimento
- Concreto
- Selo de bentonita
- Pré-filtro secundário
- Pré-filtro primário
- Tubo Filtro
- Cap Inferior
- Diâmetro da Instalação
- Diâmetro da perfuração
- Profundidade da Instalação
- Profundidade da perfuração

Escala

0 5 10(m)



Obs: Para efeito ilustrativo os poços de monitoramento estão superdimensionados



SEÇÃO GEOLÓGICA C-C'

Cobertura antropogênica:

- Concreto
- Aterro silte-argiloso, de coloração variegada, com presença de fragmentos de rocha
- Aterro silte-arenoso, amarronzado, com presença de fragmentos de rocha e entulho
- Aterro areno-siltoso, avermelhado, com alteração de gnásse

Depósitos aluvionares:

- Sedimento silte-arenoso, avermelhado com presença de fragmentos de rocha
- Areia fina, esverdeada com presença de minerais do grupo mica e seixos de quartzo
- Areia média, cinza esbranquiçado com presença de seixos de quartzo

Contato litológico definido

Contato entre a camada de aterro e a geologia local

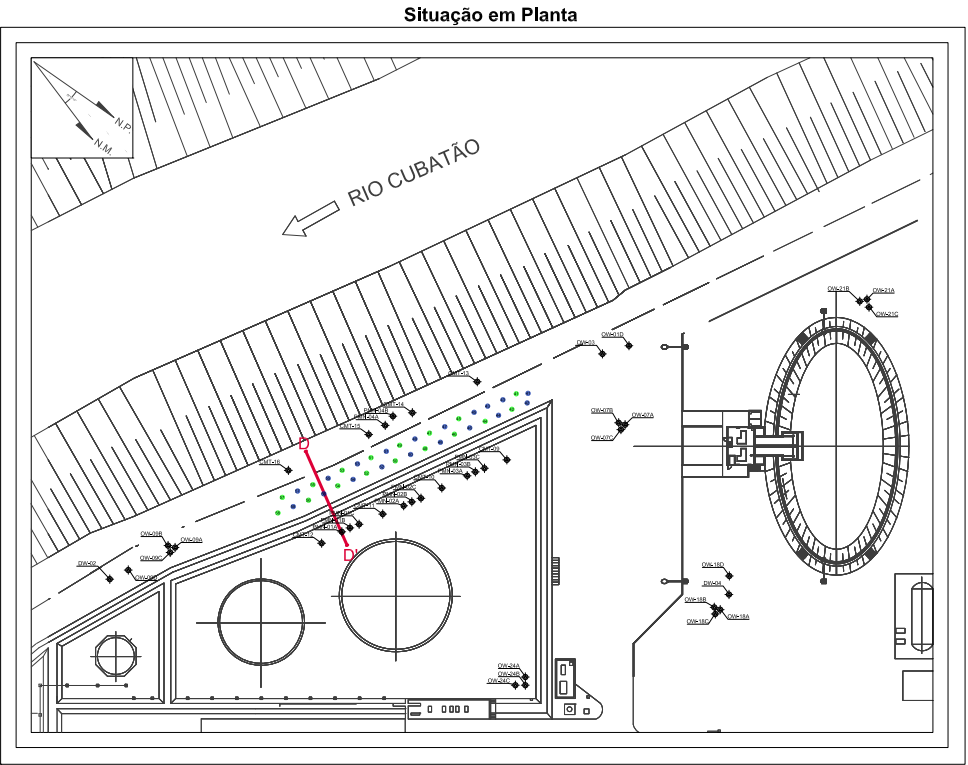
Corte em planta da seção hidrogeológica

Perfil construtivo - ilustrativo

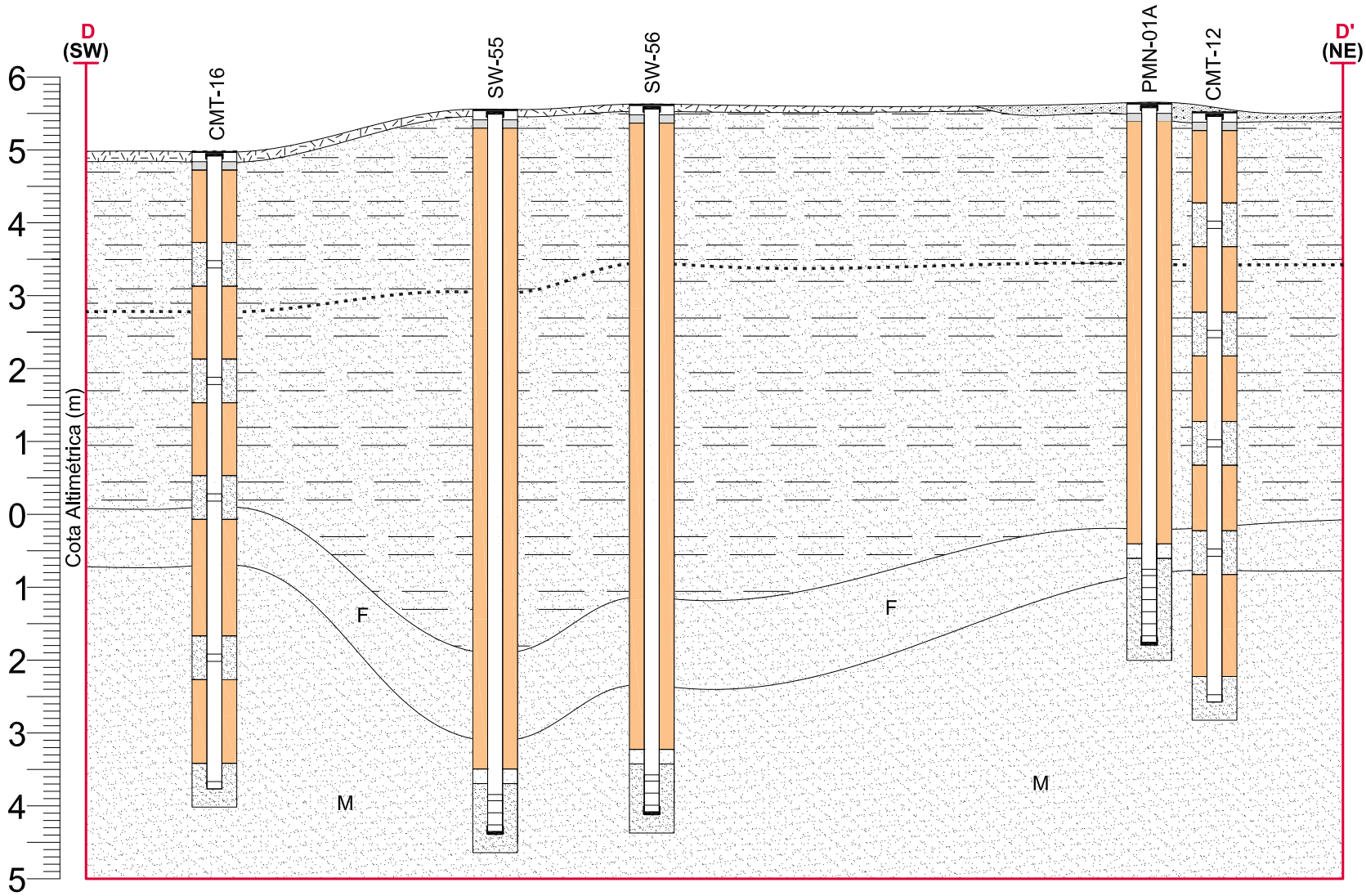
- Cap superior
- Tubo revestimento
- Concreto
- Selo de bentonita
- Pré-filtro secundário
- Pré-filtro primário
- Tubo Filtro
- Cap Inferior
- Diâmetro da Instalação
- Diâmetro da perfuração
- Profundidade da Instalação
- Profundidade da perfuração

Escala

0 4 8(m)



Obs: Para efeito ilustrativo os poços de monitoramento estão superdimensionados



SEÇÃO GEOLÓGICA D-D'

Cobertura antropogênica:

- Concreto
- Gramado
- Aterro silte-arenoso, amarronzado, com presença de fragmentos de rocha e entulho

Depósitos aluvionares:

- Sedimento silte-arenoso, avermelhado com presença de fragmentos de rocha
- Areia fina, esverdeada com presença de minerais do grupo mica e seixos de quartzo
- Areia média, cinza esbranquiçado com presença de seixos de quartzo

- Contato litológico definido
- Contato entre a camada de aterro e a geologia local

Corte em planta da seção hidrogeológica

Perfil construtivo - ilustrativo

- Cap superior
- Tubo revestimento
- Concreto
- Selo de bentonita
- Pré-filtro secundário
- Pré-filtro primário
- Tubo Filtro
- Cap inferior
- Diâmetro da instalação
- Diâmetro da perfuração
- Profundidade da instalação
- Profundidade da perfuração

Escala



Cobertura antropológica:

 Concreto

 Gramado

 Aterro **silt**-arenoso, amarronzado, com presença de fragmentos de rocha e entulho

Depósitos aluvionares:

 Sedimento **silt**-arenoso, avermelhado com presença de fragmentos de rocha

 Areia fina, esverdeada com presença de minerais do grupo mica e seixos de quartzo

 Areia média, cinza esbranquiçado com presença de seixos de quartzo

— Contato **litológico definido**

- - - - - Contato entre a camada de aterro e a geologia local

 Corte em planta da seção hidrogeológica

Obs: Para efeito ilustrativo os poços de monitoramento estão superdimensionados

Cap superior

Tubo revestimento

Concreto

Selo de bentonita

Pré-filtro secundário

Pré-filtro primário

Tubo Filtro

Cap Inferior

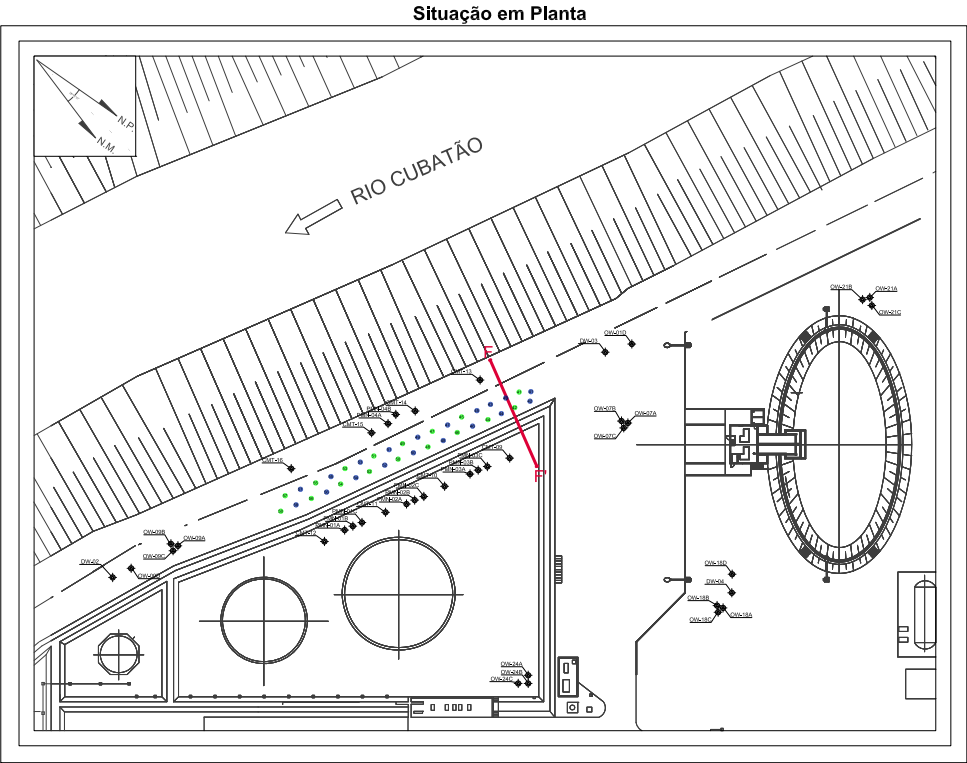
Diâmetro da Instalação
Diâmetro da perfuração

(x,xx m)
(y,yy m)

Profundidade da instalação
Profundidade da perfuração

Escala

0 3 6(m)



Obs: Para efeito ilustrativo os poços de monitoramento estão superdimensionados

SEÇÃO GEOLÓGICA F-F'

Cobertura antropogênica:



Concreto



Gramado



Aterro silte-arenoso, amarronzado, com presença de fragmentos de rocha e entulho

Depósitos aluvionares:



Sedimento silte-arenoso, avermelhado com presença de fragmentos de rocha



Areia fina, esverdeada com presença de minerais do grupo mica e seixos de quartzo



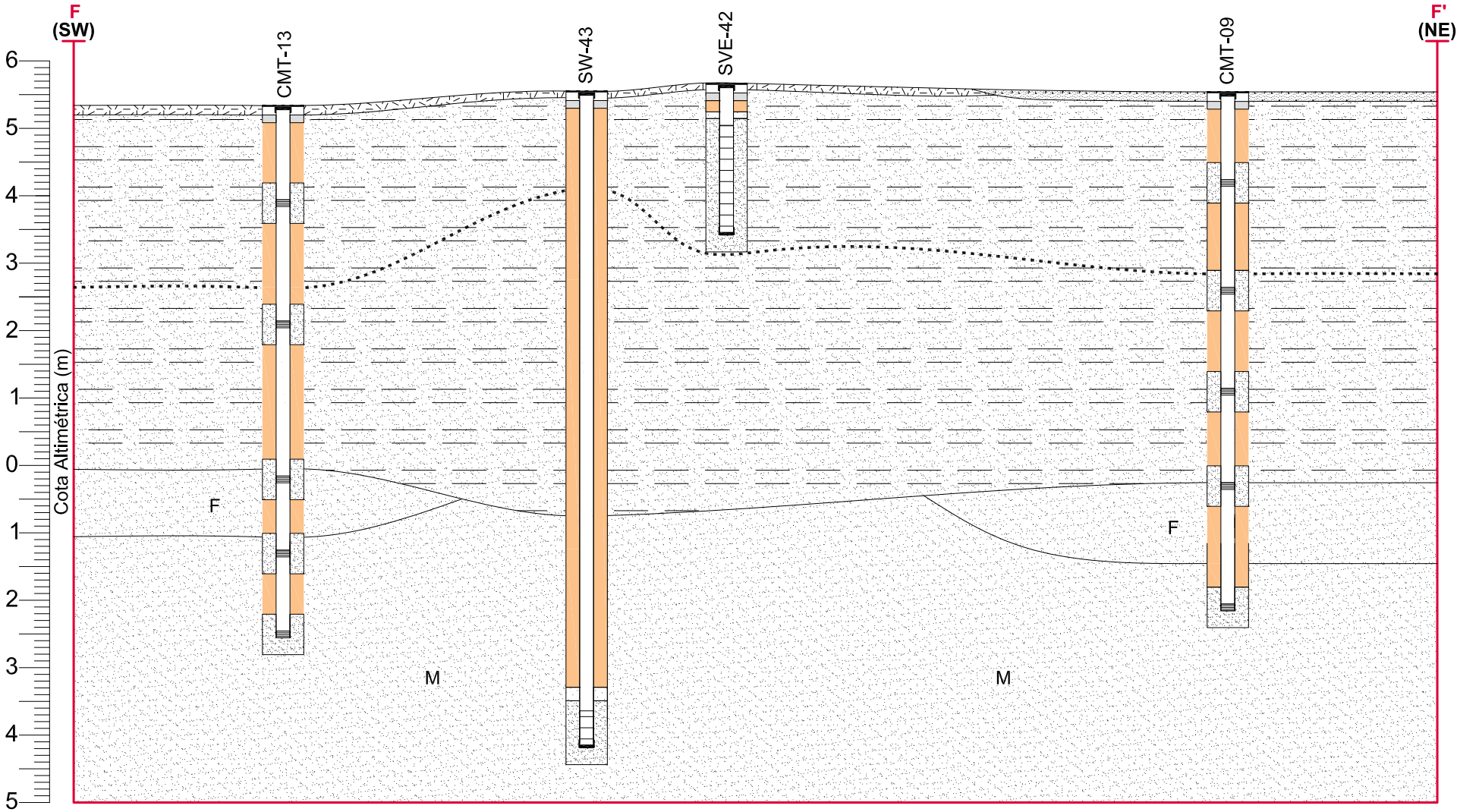
Areia média, cinza esbranquiçado com presença de seixos de quartzo

Contato litológico definido

Contato entre a camada de aterro e a geologia local



Corte em planta da seção hidrogeológica



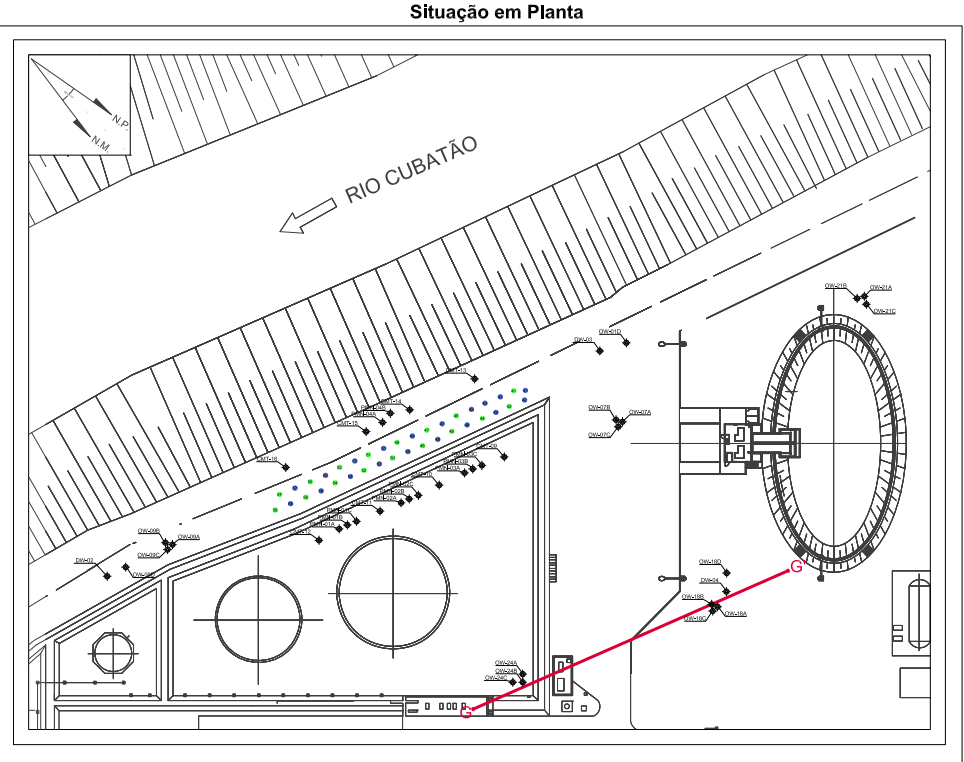
Perfil construtivo - Ilustrativo



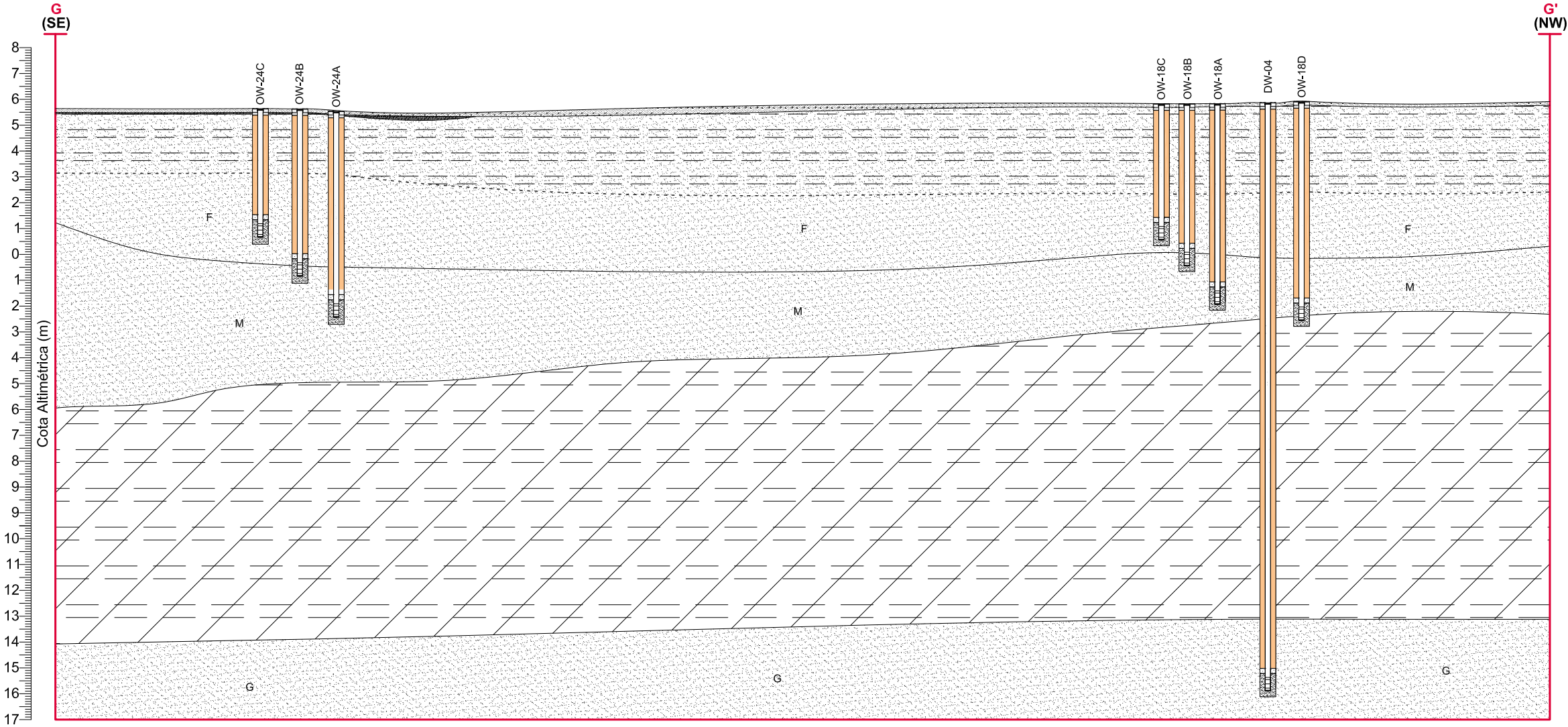
Cap superior
Tubo revestimento
Concreto
Selo de bentonita
Pré-filtro secundário
Pré-filtro primário
Tubo Filtro
Cap inferior
Diâmetro da instalação
Diâmetro da perfuração
Profundidade da instalação
Profundidade da perfuração

Escala





Obs: Para efeito ilustrativo os poços de monitoramento estão superdimensionados



SEÇÃO GEOLÓGICA G-G'

Cobertura antropogénica:

- Concreto
- Gramado
- Aterro silte-argiloso, de coloração variegada, com presença de fragmentos de rocha
- Aterro silte-arenoso, amarronzado, com presença de fragmentos de rocha e entulho

Depósitos aluvionares:

- Sedimento argilo-siltoso, acinzentado com alta plasticidade
- Areia fina, esverdeada com presença de minerais do grupo mica e seixos de quartzo
- Areia média, cinza esbranquiçado com presença de seixos de quartzo

Alteração de Rocha:

- Areia grossa, acinzentado rica em muscovita, seixos de quartzo e fragmentos de rocha

- Contato litológico definido
- Contato entre a camada de aterro e a geologia local

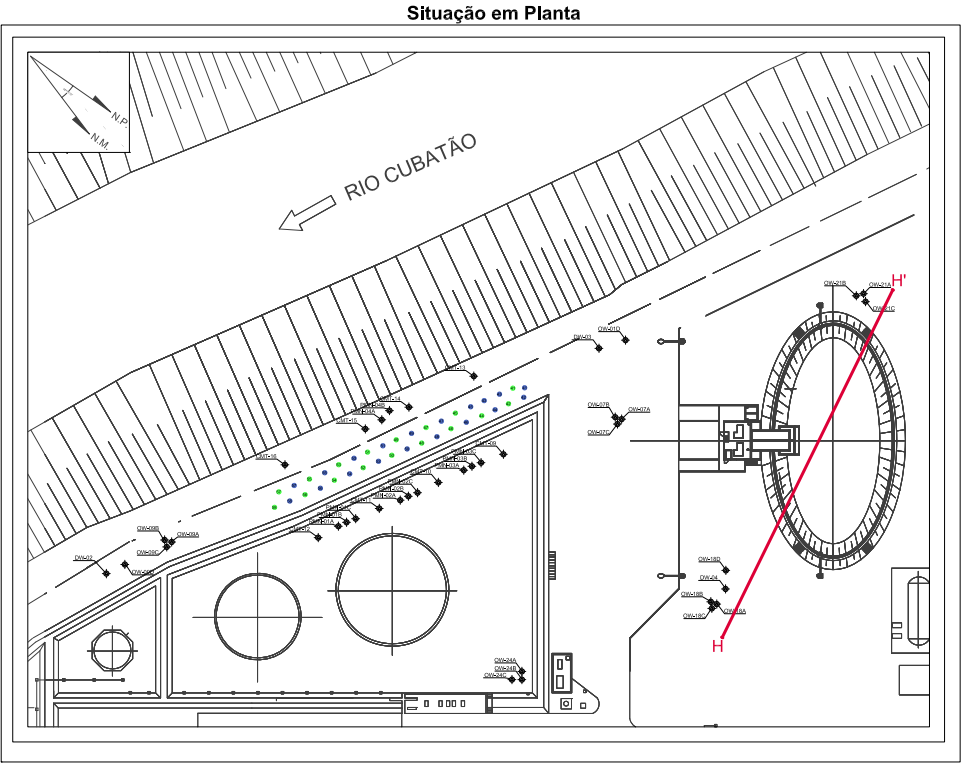
Corte em planta da seção hidrogeológica

Perfil construtivo - ilustrativo

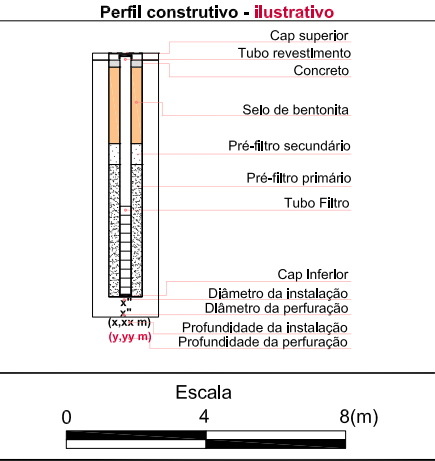
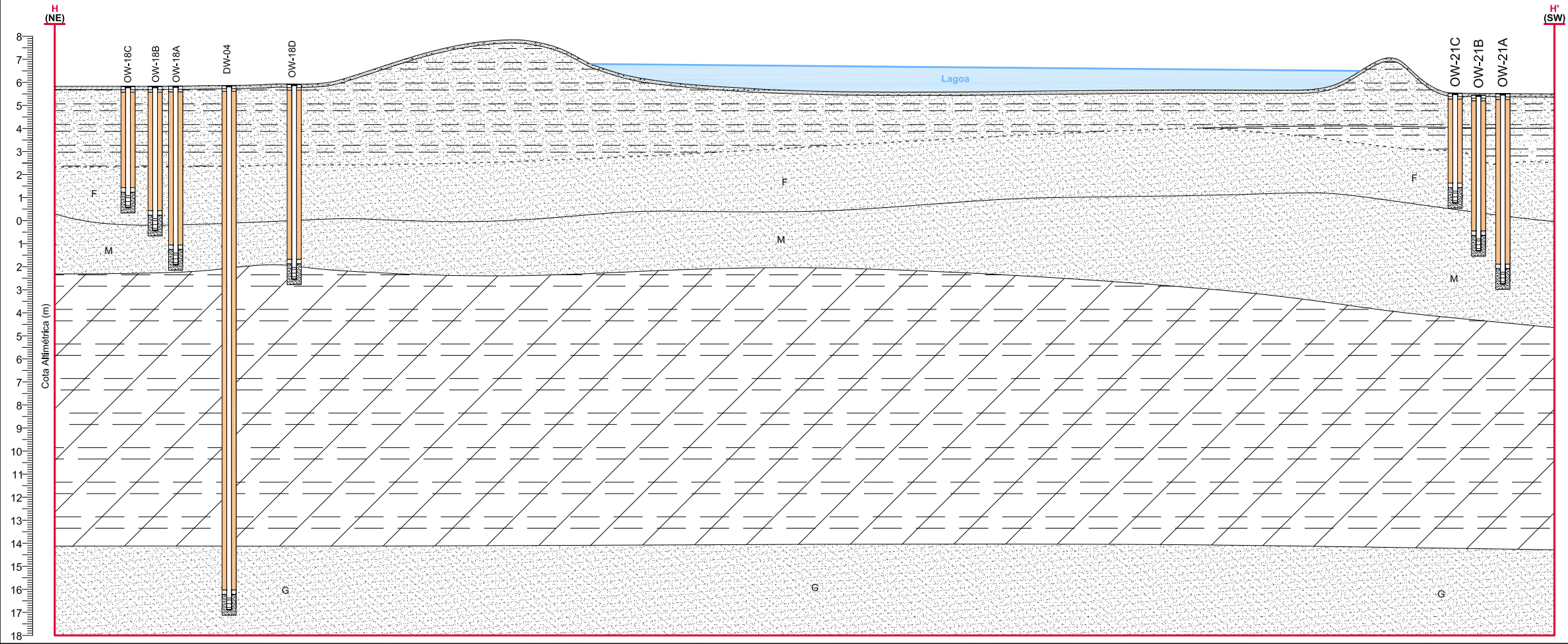
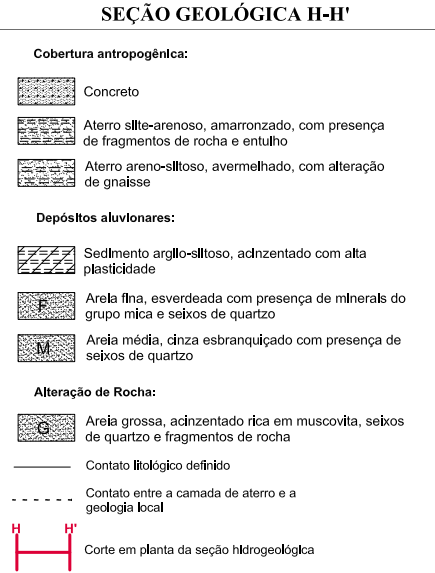
- Cap superior
- Tubo revestimento
- Concreto
- Selo de bentonita
- Pré-filtro secundário
- Pré-filtro primário
- Tubo Filtro
- Cap Inferior
- Diâmetro da Instalação
- Diâmetro da perfuração
- Profundidade da Instalação
- Profundidade da perfuração

Escala

0 4 8(m)



Obs: Para efeito ilustrativo os poços de monitoramento estão superdimensionados



ANEXO 2

Matrizes dos coeficientes de correlação (ρ de Pearson)

Matriz de coeficientes de correlação (ρ de Pearson) - Ambas as campanhas de monitoramento contínuo														
Dados	Climáticos			Hidrológicos			Hidrogeológicos (Cargas Hidráulicas)							
	Pressão atmosférica	Temperatura do ar	Índice pluviométrico	Altura da maré	Nível do rio	Condutividade elétrica do rio	PMN-02A	PMN-02B	PMN-02C	PMN-04A	PMN-04B	OW-24A	OW-24B	OW-24C
Pressão atmosférica														
Temperatura do ar	0,521													
Índice pluviométrico	0,047	-0,046												
Altura da maré	-	-	-											
Nível do rio Cubatão	-	-	-	0,848										
Condutividade elétrica do rio Cubatão	-	-	-	-	0,014									
PMN-02A	-	-	-0,036	-	-0,197	0,055								
PMN-02B	-	-	-0,038	-	-0,207	0,055	0,999							
PMN-02C	-	-	-0,029	-	-0,129	0,053	0,982	0,976						
PMN-04A	-	-	-0,045	-	-0,065	0,128	0,673	0,663	0,704					
PMN-04B	-	-	-0,039	-	-0,350	0,04	0,958	0,966	0,896	0,554				
OW-24A	-	-	-0,054	-	-0,326	0,07	0,899	0,901	0,864	0,417	0,840			
OW-24B	-	-	-0,047	-	-0,216	0,055	0,951	0,948	0,944	0,748	0,875	0,971		
OW-24C	-	-	-0,055	-	-0,292	0,063	0,852	0,856	0,813	0,466	0,788	0,989	0,957	

Matriz de coeficientes de correlação (ρ de Pearson) - 1ª campanha de monitoramento contínuo														
Dados	Climáticos			Hidrológicos			Hidrogeológicos (Cargas Hidráulicas)							
	Pressão atmosférica	Temperatura do ar	Índice pluviométrico	Altura da maré	Nível do rio	Condutividade elétrica do rio	PMN-02A	PMN-02B	PMN-02C	PMN-04A	PMN-04B	OW-24A	OW-24B	OW-24C
Pressão atmosférica														
Temperatura do ar	-0,375													
Índice pluviométrico	0,095	-												
Altura da maré	-	-	-											
Nível do rio Cubatão	-	-	-	0,825										
Condutividade elétrica do rio Cubatão	-	-	-	-	0,014									
PMN-02A	-	-	-0,062	-	-0,310	0,055								
PMN-02B	-	-	-0,063	-	-0,311	0,055	0,999							
PMN-02C	-	-	-0,059	-	-0,254	0,053	0,981	0,980						
PMN-04A	-	-	-0,063	-	-0,158	0,128	0,253	0,269	0,185					
PMN-04B	-	-	-0,058	-	-0,438	0,04	0,971	0,972	0,926	0,248				
OW-24A	-	-	-0,054	-	-0,326	0,07	0,899	0,901	0,864	0,417	0,840			
OW-24B	-	-	-0,077	-	-0,357	0,055	0,896	0,898	0,865	0,420	0,838	0,971		
OW-24C	-	-	-0,055	-	-0,292	0,063	0,852	0,856	0,813	0,466	0,788	0,989	0,957	

Matriz de coeficientes de correlação (ρ de Pearson) - 2ª campanha de monitoramento contínuo														
Dados	Climáticos			Hidrológicos			Hidrogeológicos (Cargas Hidráulicas)							
	Pressão atmosférica	Temperatura do ar	Índice pluviométrico	Altura da maré	Nível do rio	Condutividade elétrica do rio	PMN-02A	PMN-02B	PMN-02C	PMN-04A	PMN-04B	OW-24A	OW-24B	OW-24C
Pressão atmosférica														
Temperatura do ar	-0,411													
Índice pluviométrico	0,131	-												
Altura da maré	-	-	-											
Nível do rio Cubatão	-	-	-	0,968										
Condutividade elétrica do rio Cubatão	-	-	-	-	0,342									
PMN-02A	-	-	0,089	-	-0,535	-0,219								
PMN-02B	-	-	0,09	-	-0,533	-0,214	0,999							
PMN-02C	-	-	0,099	-	-0,526	-0,187	0,975	0,975						
PMN-04A	-	-	-0,082	-	-0,137	0,286	0,032	0,023	0,128					
PMN-04B	-	-	0,081	-	-0,584	-0,229	0,982	0,982	0,921	-0,042				
OW-24A	-	-	NA	-	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA			
OW-24B	-	-	0,077	-	-0,488	-0,316	0,873	0,868	0,930	0,249	0,782	NA		
OW-24C	-	-	NA	-	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	

ANEXO 3

Relatório das medições com o ADCP
(programa de computador River Surveyor Live)

Relatório da Medição

Data Medido: sexta-feira, 5 de julho de 2013

Detalhes do Local			Informações da Medição	
Nome do Local	Cubatao		Participantes	Unicamp
Código da Seção	001		Barco/Motor	000
Localização	Rio Cubatao Pte Av 9 Abril		Nº da Medição	004

Informações do Sistema		Configurações do Sistema		Unidades	
Tipo do Sistema	RS-M9	Prof. dos Transdutores (m)	0,20	Dist.	m
Número de Série	1049	Salinidade (ppt)	0,0	Velocidade	m/s
Versão do Firmware	3.00	Declinação Mag. (graus)	-20,4	Área	m2
Versão do Software	3.6.0.3384			Vaz.	m3/s
				Temperatura	graus C

Configurações da Medição				Resultados de Vazão	
Ref. para Trajeto	GPS-VTG	Método Margem Esq.	Margem Gradual*	Largura	76,836
Ref. para Prof.	Feixe Vertical	Método Margem Dir.	Margem Gradual*	Área	245,131
Sist. de Coord.	ENU	Tipo Extrapolação Superf.	Lei Exponencial	Vel. Abs. Média	0,049
		Tipo Extrapolação Fundo	Lei Exponencial	Vaz. Total	11,281
				Profundidade máxima medida	6,279
				Velocidade máxima medida	1,667

Resultados das Medições															
Nº da trav.	Hora			Dist.			Vel. Méd.			Vaz.					%
#	Hora	Duração	Temp.	Trajeto	DMG	Larg.	Área	Emb.	Água	Esq.	Dir.	Superf.	Meio	Fundo	Total
1 M	13:14:00	0:08:54	22,4	92,35	76,99	80,990	292,679	0,173	-0,014	0,00	-0,02	-0,43	-2,99	-0,72	-4,163
2 M	13:23:54	0:05:53	22,2	81,92	77,01	81,005	285,115	0,232	-0,020	0,00	-0,01	-0,72	-4,36	-0,47	-5,566
3 M	13:30:10	0:06:04	22,2	83,47	78,87	82,870	276,030	0,229	-0,022	0,00	0,00	-0,72	-4,59	-0,85	-6,166
4 M	13:36:40	0:06:32	22,1	84,57	73,90	77,897	286,001	0,216	-0,052	0,00	0,00	-1,65	-10,79	-2,30	-14,740
5 M	14:50:56	0:06:27	22,1	79,61	75,13	80,125	250,567	0,206	0,065	0,02	0,01	1,96	11,85	2,51	16,348
6 M	14:57:48	0:05:42	22,3	77,82	75,53	78,525	247,732	0,228	0,074	0,03	-0,03	2,16	13,35	2,69	18,209
7 M	15:03:54	0:06:06	22,1	77,07	74,21	77,210	250,885	0,211	0,077	0,02	0,00	2,27	14,03	3,10	19,426
8 M	15:10:43	0:05:14	22,2	77,51	74,58	77,577	251,540	0,247	0,057	-0,01	0,00	1,65	10,53	2,19	14,370
9 M	15:16:16	0:04:47	22,1	75,61	73,26	76,264	254,580	0,263	0,044	0,00	0,00	1,33	8,07	1,74	11,130
10 M	15:39:48	0:05:46	22,0	78,77	74,83	76,834	240,959	0,228	0,044	0,00	0,00	1,32	7,80	1,49	10,615
11 M	15:45:51	0:05:02	21,9	78,94	75,06	77,060	268,389	0,261	0,041	0,00	0,00	1,43	8,11	1,58	11,117
12 M	15:51:20	0:05:20	21,8	78,31	73,63	75,631	247,753	0,245	0,045	0,00	-0,01	1,27	8,20	1,67	11,124
13 M	15:57:14	0:05:15	21,9	77,59	73,58	75,575	269,015	0,246	0,052	0,00	0,00	1,65	10,69	1,71	14,048
14 M	16:50:11	0:06:12	21,7	77,75	74,72	77,718	220,248	0,209	0,078	0,00	0,00	1,93	13,12	2,17	17,229
15 M	16:56:36	0:09:06	21,8	82,90	69,64	71,143	241,431	0,152	0,135	-0,02	0,00	3,70	24,84	4,08	32,610
16 M	17:06:13	0:06:16	21,8	79,78	74,55	76,048	216,110	0,212	0,071	0,00	0,00	1,65	11,71	2,03	15,392
17 M	17:12:46	0:06:28	21,9	76,41	73,85	75,848	223,461	0,197	0,081	0,00	0,00	2,02	13,56	2,46	18,041
18 M	17:37:34	0:05:37	21,9	74,94	72,53	74,534	199,524	0,222	0,087	0,00	0,00	1,97	13,26	2,22	17,450
19 M	17:43:28	0:08:03	21,9	80,02	72,32	74,315	215,742	0,166	0,066	0,00	0,00	1,66	10,35	2,15	14,168
20 M	17:51:44	0:06:50	22,0	73,06	70,62	72,616	191,222	0,178	0,061	0,00	0,00	1,37	8,80	1,57	11,738
21 M	17:58:43	0:08:46	22,0	75,48	71,76	73,760	218,771	0,143	0,066	0,00	0,00	1,62	10,74	2,15	14,521
		Média	22,0	79,23	74,12	76,836	245,131	0,213	0,049	0,00	0,00	1,31	8,40	1,58	11,281
		Desvio Padrão	0,2	4,07	2,06	2,792	27,868	0,033	0,042	0,01	0,01	1,19	7,78	1,45	10,401
		CV	0,0	0,051	0,028	0,036	0,114	0,157	0,858	3,910	-	0,911	0,927	0,916	0,922

Tempo de Exposição: 2:14:20

Nº da trav.20130705131400.riv; Nº da trav.20130705132353.riv; Nº da trav.20130705133009.riv; Nº da trav.20130705133638.riv; Nº da trav.20130705145054.riv; Nº da trav.20130705145747.riv; Nº da trav.20130705150353.riv; Nº da trav.20130705151043.riv; Nº da trav.20130705151614.riv; Nº da trav.20130705153947.riv; Nº da trav.20130705154550.riv; Nº da trav.20130705155119.riv; Nº da trav.20130705155713.riv; Nº da trav.20130705165011.riv; Nº da trav.20130705165636.riv; Nº da trav.20130705170613.riv; Nº da trav.20130705171246.riv; Nº da trav.20130705173734.riv; Nº da trav.20130705174327.riv; Nº da trav.20130705175143.riv; Nº da trav.20130705175842.riv;

Coment.	
Nº da trav.20130705131400.riv - e; Nº da trav.20130705132353.riv - e; Nº da trav.20130705133009.riv - e; Nº da trav.20130705133638.riv - e; Nº da trav.20130705145054.riv - rrr; Nº da trav.20130705145747.riv - rrr; Nº da trav.20130705150353.riv - rrr; Nº da trav.20130705151043.riv - rrr; Nº da trav.20130705151614.riv - rrr; Nº da trav.20130705153947.riv - rr; Nº da trav.20130705154550.riv - rr; Nº da trav.20130705155119.riv - rr; Nº da trav.20130705155713.riv - rr; Nº da trav.20130705165011.riv - via computador ; dia nublado ; ceu emcoberto; Nº da trav.20130705165636.riv - via computador ; dia nublado ; ceu emcoberto; Nº da trav.20130705170613.riv - via computador ; dia nublado ; ceu emcoberto; Nº da trav.20130705171246.riv - via computador ; dia nublado ; ceu emcoberto; Nº da trav.20130705173734.riv - via computador ; dia nublado ; ceu emcoberto; Nº da trav.20130705174327.riv - via computador ; dia nublado ; ceu emcoberto; Nº da trav.20130705175143.riv - via computador ; dia nublado ; ceu emcoberto; Nº da trav.20130705175842.riv - via computador ; dia nublado ; ceu emcoberto;	

emcoberto; Nº da trav.20130705173734.riv - via copmputaor ; dia nublado ; ceu emcoberto; Nº da trav.20130705174327.riv - via copmputaor ; dia nublado ; ceu emcoberto; Nº da trav.20130705175143.riv - via copmputaor ; dia nublado ; ceu emcoberto; Nº da trav.20130705175842.riv - via copmputaor ; dia nublado ; ceu emcoberto;

Calibração da Bússola

Resultado: CALIBRADA CORRETAMENTE

Resultado é excelente

Interferência magnética é muito fraca.

Resultado da Calibração: M0.00Q9

Testar Sistema

Resultado: Sistema está operando normalmente

Parâmetros e configurações marcadas com um * não são constantes para todos os arquivos.

Relatório gerado com RiverSurveyor Live v3.6.0.3384

Relatório da Medição

Data Medido: sábado, 6 de julho de 2013

Detalhes do Local				Informações da Medição			
Nome do Local		Secao Jusante Pte 9 Abril		Participantes			
Código da Seção		jusante		Barco/Motor			
Localização		jusante da ponte av 9 abril		Nº da Medição			

Informações do Sistema		Configurações do Sistema		Unidades	
Tipo do Sistema	RS-M9	Prof. dos Transdutores (m)	0,30	Dist.	m
Número de Série	1049	Salinidade (ppt)	0,0	Velocidade	m/s
Versão do Firmware	3.00	Declinação Mag. (graus)	-20,4	Área	m2
Versão do Software	3.7			Vaz.	m3/s
				Temperatura	graus C

Configurações da Medição				Resultados de Vazão			
Ref. para Trajeto	GPS-VTG	Método Margem Esq.	Margem Gradual	Largura (m)	68,024		
Ref. para Prof.	Feixe Vertical	Método Margem Dir.	Margem Gradual	Área (m2)	209,830		
Sist. de Coord.	ENU	Tipo Extrapolação Superf.	Lei Exponencial	Vel. Abs. Média (m/s)	0,116		
				Vaz. Total (m3/s)	21,123		
				Profundidade máxima medida	6,165		
				Velocidade máxima medida	1,438		

Resultados das Medições																
Nº da trav.	Hora			Dist.				Vel. Méd.				Vaz.				%
#	Hora	Duração	Temp.	Trajeto	DMG	Larg.	Área	Emb.	Água	Esq.	Dir.	Superf.	Meio	Fundo	Total	LTTotal
1	M 07:29:36	0:06:40	21,1	75,59	69,39	71,386	196,766	0,189	0,021	0,00	0,00	0,67	3,18	0,38	4,226	--
2	M 07:36:27	0:06:43	21,1	73,96	69,84	71,841	220,449	0,184	0,044	0,00	0,00	1,44	7,05	1,31	9,800	--
3	M 07:43:27	0:06:54	21,1	73,81	70,45	72,454	195,898	0,178	0,056	0,00	-0,01	1,55	8,06	1,38	10,980	--
4	M 07:50:32	0:07:00	21,2	73,13	70,08	72,083	207,262	0,174	0,068	0,00	0,00	1,84	10,11	2,07	14,021	--
5	M 08:45:05	0:05:57	21,2	72,27	69,37	71,370	198,433	0,202	0,030	0,00	-0,01	0,88	4,32	0,70	5,902	--
6	M 08:51:11	0:06:24	21,2	73,06	69,44	71,443	207,733	0,190	0,052	0,00	-0,01	1,77	7,50	1,52	10,787	--
7	M 08:57:46	0:06:36	21,4	73,03	69,00	71,003	214,337	0,184	0,008	0,00	-0,01	0,37	1,14	0,18	1,676	--
8	M 09:04:32	0:06:33	21,3	73,50	70,34	72,344	218,646	0,187	0,010	0,00	0,01	0,42	1,52	0,17	2,121	--
9	M 09:27:09	0:05:45	21,6	72,27	69,39	71,389	172,268	0,209	0,038	0,00	0,00	0,92	4,83	0,89	6,626	--
10	M 09:33:06	0:05:36	21,5	72,52	69,96	71,959	224,721	0,216	0,026	0,00	0,00	0,84	4,26	0,72	5,815	--
11	M 09:39:07	0:05:47	21,7	70,63	68,70	70,699	203,682	0,204	0,028	0,00	0,00	0,81	4,07	0,73	5,608	--
12	M 09:45:02	0:05:29	21,6	74,78	71,47	73,466	233,737	0,227	0,041	0,00	0,00	1,32	6,81	1,38	9,504	--
13	M 11:02:43	0:07:00	22,4	73,17	73,167	75,834	254,610	0,174	0,000	0,00	-0,01	0,12	-0,17	0,10	0,030	--
14	M 11:09:58	0:06:56	22,5	76,81	73,83	75,834	263,811	0,185	-0,008	0,00	0,00	-0,12	-1,71	-0,17	-2,004	--
15	M 11:17:11	0:08:03	22,7	86,92	76,27	78,272	206,805	0,180	-0,001	0,01	0,00	0,13	-0,29	-0,06	-0,207	--
16	M 11:25:27	0:06:35	22,8	75,60	72,61	74,605	273,334	0,191	0,014	0,01	-0,01	0,57	2,50	0,64	3,713	--
17	M 11:48:07	0:06:07	23,0	77,95	77,185	79,185	263,984	0,212	0,009	0,01	0,00	0,39	1,75	0,34	2,504	--
18	M 11:54:31	0:07:28	23,1	80,39	74,61	76,614	253,906	0,179	0,022	0,01	0,00	0,82	3,98	0,69	5,497	--
19	M 12:02:20	0:06:17	23,1	82,12	75,79	79,795	274,712	0,218	0,013	0,01	0,05	0,53	2,62	0,48	3,694	--
20	M 12:08:52	0:06:18	23,2	79,70	76,67	79,669	273,987	0,211	0,021	0,01	0,00	0,89	4,14	0,80	5,841	--
21	M 12:26:19	0:04:33	23,3	82,97	74,61	79,612	261,896	0,304	-0,017	-0,01	0,02	-0,66	-3,21	-0,36	-4,418	--
22	M 12:31:33	0:02:24	23,3	69,99	64,08	69,083	237,237	0,486	0,017	0,01	0,01	0,58	2,83	0,55	3,981	--
23	M 12:35:25	0:03:59	23,3	75,24	69,23	72,226	222,834	0,315	-0,002	0,00	0,03	-0,21	-0,25	-0,06	-0,483	--
24	M 13:31:20	0:04:35	23,6	67,81	64,67	67,667	216,969	0,247	0,029	0,00	0,00	0,80	4,74	0,65	6,197	--
25	M 13:37:31	0:06:12	23,6	67,06	64,64	67,636	209,513	0,180	0,024	0,00	0,00	0,67	3,73	0,52	4,927	--
26	M 13:46:36	0:05:32	23,5	68,31	64,89	67,885	222,768	0,206	0,031	0,00	0,01	0,95	5,22	0,71	6,893	--
27	M 14:57:19	0:05:48	23,3	69,97	64,33	66,334	221,607	0,201	0,062	0,00	0,01	1,80	10,34	1,51	13,649	--
28	M 15:03:19	0:07:07	23,0	72,09	64,69	66,687	233,786	0,169	0,037	0,00	0,01	1,25	6,52	0,97	8,750	--
29	M 15:10:42	0:07:05	23,2	68,77	64,11	66,107	211,359	0,162	0,020	0,00	0,01	0,66	2,91	0,55	4,124	--
30	M 15:17:59	0:08:25	23,0	83,13	64,46	66,457	241,386	0,165	0,006	0,00	0,01	0,43	0,68	0,24	1,347	--
31	M 15:54:57	0:06:21	22,9	69,16	65,12	67,122	221,407	0,182	0,041	0,00	0,03	1,24	6,75	1,01	9,030	--
32	M 16:01:29	0:09:34	22,8	75,76	64,30	66,298	238,540	0,132	0,038	0,00	0,01	1,22	6,72	1,02	8,957	--
33	M 16:11:23	0:08:17	23,0	71,88	65,05	67,051	222,675	0,145	0,060	0,00	0,02	1,85	10,09	1,47	13,435	--
34	M 16:19:52	0:09:20	22,9	71,43	63,87	65,874	233,163	0,128	0,063	0,00	0,02	2,05	11,06	1,64	14,778	--
35	M 16:41:28	0:07:43	22,9	79,27	61,96	65,956	207,913	0,171	0,074	0,01	0,08	2,20	11,47	1,68	15,431	--
36	M 16:49:24	0:08:07	22,9	75,88	62,21	66,214	215,742	0,156	0,086	0,01	0,02	2,55	13,90	1,98	18,461	--
37	M 16:57:42	0:05:38	22,9	70,40	65,27	68,266	215,763	0,208	0,084	0,00	0,00	2,52	13,69	1,96	18,178	--
38	M 17:03:38	0:06:42	22,9	69,15	62,29	64,792	215,228	0,172	0,081	0,00	0,01	2,48	12,97	1,87	17,335	--
39	M 17:54:12	0:05:32	22,7	69,42	62,71	63,312	193,371	0,209	0,168	0,00	0,00	4,68	24,38	3,36	32,423	--
40	M 17:59:52	0:11:56	22,7	97,11	60,79	61,586	192,128	0,136	0,203	0,00	0,00	5,64	29,16	4,12	38,929	--
41	M 18:11:57	0:06:47	22,7	80,33	62,85	63,650	186,248	0,197	0,249	0,00	0,00	6,77	34,90	4,69	46,367	--

42	M	18:18:52	0:10:11	22,8	93,67	59,41	60,413	180,196	0,153	0,275	0,00	0,00	7,25	37,40	4,88	49,534	--	75,5
43	M	18:30:01	0:08:46	22,8	97,32	62,46	63,461	177,212	0,185	0,301	0,00	0,00	8,14	39,96	5,20	53,302	--	75,0
44	M	18:38:53	0:09:51	22,9	88,03	61,08	62,084	176,564	0,149	0,352	0,00	0,00	9,52	46,38	6,32	62,213	--	74,5
45	M	18:49:10	0:07:12	22,8	78,88	61,02	62,024	174,562	0,183	0,376	0,00	0,00	10,18	48,91	6,61	65,690	--	74,5
46	M	18:56:45	0:08:53	22,8	72,06	60,09	61,087	172,597	0,135	0,393	0,00	0,00	10,64	50,15	7,13	67,913	--	73,8
47	M	19:12:58	0:07:08	22,7	77,32	59,31	60,815	166,434	0,181	0,379	0,00	0,00	10,21	46,57	6,32	63,090	--	73,8
48	M	19:20:14	0:07:00	22,7	81,40	61,05	62,049	171,286	0,194	0,349	0,00	0,00	9,43	43,75	6,62	59,800	--	73,2
49	M	19:29:36	0:05:33	22,5	75,43	60,66	61,657	169,113	0,227	0,311	0,00	0,00	8,15	39,28	5,18	52,617	--	74,7
50	M	19:35:20	0:04:31	22,4	72,06	58,75	60,248	172,311	0,266	0,329	0,00	0,00	8,79	41,79	6,05	56,626	--	73,8
51	M	19:52:32	0:05:23	21,9	76,61	60,12	62,118	169,934	0,237	0,365	0,00	-0,01	9,51	46,26	6,33	62,088	--	74,5
52	M	19:58:05	0:04:00	21,8	63,50	59,02	60,515	167,163	0,265	0,347	0,00	0,00	9,15	41,89	6,93	57,976	--	72,3
53	M	20:02:12	0:05:33	21,6	69,71	61,74	63,738	167,421	0,209	0,290	0,00	0,00	7,36	36,45	4,71	48,525	--	75,1
54	M	20:07:58	0:04:16	21,4	65,98	58,86	60,361	164,964	0,258	0,266	0,02	0,00	6,66	32,94	4,32	43,931	--	75,0
55	M	20:16:20	0:07:36	21,4	78,21	61,49	62,491	170,741	0,172	0,138	0,00	0,00	3,27	18,08	2,21	23,565	--	76,7
56	M	20:24:04	0:07:21	20,9	85,09	58,91	59,906	169,361	0,193	0,187	0,00	0,02	4,84	23,62	3,12	31,613	--	74,7
			Média	22,4	75,74	65,96	68,024	209,830	0,199	0,116	0,00	0,01	3,19	15,67	2,25	21,123	0,000	72,0
			Desvio Padrão	0,8	7,08	5,18	5,621	31,649	0,054	0,131	0,00	0,01	3,43	16,49	2,26	22,139	0,000	6,9
			CV	0,0	0,093	0,079	0,083	0,151	0,271	1,128	3,504	2,652	1,076	1,052	1,003	1,049	0,000	0,096
Tempo de Exposição: 6:14:59																		
Nº da trav.20130706072935.riv; Nº da trav.20130706073627.riv; Nº da trav.20130706074325.riv; Nº da trav.20130706075032.riv; Nº da trav.20130706084504.riv; Nº da trav.20130706085111.riv; Nº da trav.20130706085745.riv; Nº da trav.20130706090432.riv; Nº da trav.20130706092739.riv; Nº da trav.20130706093337.riv; Nº da trav.20130706093937.riv; Nº da trav.20130706094532.riv; Nº da trav.20130706110242.riv; Nº da trav.20130706110957.riv; Nº da trav.20130706111710.riv; Nº da trav.20130706112525.riv; Nº da trav.20130706114807.riv; Nº da trav.20130706115430.riv; Nº da trav.20130706120220.riv; Nº da trav.20130706120851.riv; Nº da trav.20130706122618.riv; Nº da trav.20130706123131.riv; Nº da trav.20130706123524.riv; Nº da trav.20130706133119.riv; Nº da trav.20130706133730.riv; Nº da trav.20130706134636.riv; Nº da trav.20130706145718.riv; Nº da trav.20130706150318.riv; Nº da trav.20130706151041.riv; Nº da trav.20130706151757.riv; Nº da trav.20130706155456.riv; Nº da trav.20130706160128.riv; Nº da trav.20130706161122.riv; Nº da trav.20130706161950.riv; Nº da trav.20130706164126.riv; Nº da trav.20130706164923.riv; Nº da trav.20130706165741.riv; Nº da trav.20130706170337.riv; Nº da trav.20130706175411.riv; Nº da trav.20130706175951.riv; Nº da trav.20130706181157.riv; Nº da trav.20130706181851.riv; Nº da trav.20130706183001.riv; Nº da trav.20130706183852.riv; Nº da trav.20130706184909.riv; Nº da trav.20130706185644.riv; Nº da trav.20130706191256.riv; Nº da trav.20130706192013.riv; Nº da trav.20130706192935.riv; Nº da trav.20130706193519.riv; Nº da trav.20130706195230.riv; Nº da trav.20130706195803.riv; Nº da trav.20130706200211.riv; Nº da trav.20130706200757.riv; Nº da trav.20130706201618.riv; Nº da trav.20130706202403.riv;																		
Coment.																		
Nº da trav.20130706072935.riv - Ceu Aberto, dia ensolarado; Nº da trav.20130706073627.riv - Ceu Aberto, dia ensolarado; Nº da trav.20130706074325.riv - Ceu Aberto, dia ensolarado; Nº da trav.20130706075032.riv - Ceu Aberto, dia ensolarado; Nº da trav.20130706084504.riv - ; Nº da trav.20130706085111.riv - ; Nº da trav.20130706085745.riv - ; Nº da trav.20130706090432.riv - ; Nº da trav.20130706092739.riv - ; Nº da trav.20130706093337.riv - ; Nº da trav.20130706093937.riv - ; Nº da trav.20130706094532.riv - ; Nº da trav.20130706110242.riv - ; Nº da trav.20130706110957.riv - ; Nº da trav.20130706111710.riv - ; Nº da trav.20130706112525.riv - ; Nº da trav.20130706114807.riv - ensolarado, efeito de mare; Nº da trav.20130706115430.riv - ensolarado, efeito de mare; Nº da trav.20130706120220.riv - ensolarado, efeito de mare; Nº da trav.20130706120851.riv - ensolarado, efeito de mare; Nº da trav.20130706122618.riv - ensolarado, efeito de mare; Nº da trav.20130706123131.riv - ensolarado, efeito de mare; Nº da trav.20130706123524.riv - ensolarado, efeito de mare; Nº da trav.20130706133119.riv - jusante da ponte, puxando na corda ambos os lados, ceu aberto e sem nuvens; Nº da trav.20130706133730.riv - jusante da ponte, puxando na corda ambos os lados, ceu aberto e sem nuvens; Nº da trav.20130706134636.riv - jusante da ponte, puxando na corda ambos os lados, ceu aberto e sem nuvens; Nº da trav.20130706145718.riv - ; Nº da trav.20130706150318.riv - ; Nº da trav.20130706151041.riv - ; Nº da trav.20130706151757.riv - ; Nº da trav.20130706155456.riv - ; Nº da trav.20130706160128.riv - ; Nº da trav.20130706161122.riv - ; Nº da trav.20130706161950.riv - ; Nº da trav.20130706164126.riv - ; Nº da trav.20130706164923.riv - ; Nº da trav.20130706165741.riv - ; Nº da trav.20130706170337.riv - ; Nº da trav.20130706175411.riv - ; Nº da trav.20130706175951.riv - ; Nº da trav.20130706181157.riv - ; Nº da trav.20130706181851.riv - ; Nº da trav.20130706183001.riv - ; Nº da trav.20130706183852.riv - ; Nº da trav.20130706184909.riv - ; Nº da trav.20130706185644.riv - ; Nº da trav.20130706191256.riv - ; Nº da trav.20130706192013.riv - ; Nº da trav.20130706192935.riv - ; Nº da trav.20130706193519.riv - ; Nº da trav.20130706195230.riv - ; Nº da trav.20130706195803.riv - ; Nº da trav.20130706200211.riv - ; Nº da trav.20130706200757.riv - ; Nº da trav.20130706201618.riv - ; Nº da trav.20130706202403.riv - ;																		
Calibração da Bússola																		
Resultado: CALIBRADA CORRETAMENTE Resultado é excelente Interferência magnética é muito fraca.																		
Resultado da Calibração: M0.00Q9																		
Testar Sistema																		
Resultado: Sistema está operando normalmente																		
Parâmetros e configurações marcadas com um * não são constantes para todos os arquivos.																		
Relatório gerado com RiverSurveyor Live v3.7																		

Relatório da Medição

Data Medido: domingo, 7 de julho de 2013

Detalhes do Local			Informações da Medição	
Nome do Local	Rio Cubatao Juz Pte 9 de Abril		Participantes	PN, FG, RO
Código da Seção	003		Barco/Motor	
Localização	Rio Cubatao Juz Pte 9 de Abril		Nº da Medição	

Informações do Sistema		Configurações do Sistema		Unidades	
Tipo do Sistema	RS-M9	Prof. dos Transdutores (m)	0,30	Dist.	m
Número de Série	1049	Salinidade (ppt)	0,0	Velocidade	m/s
Versão do Firmware	3.00	Declinação Mag. (graus)	-20,4	Área	m2
Versão do Software	3.6.0.3384			Vaz.	m3/s
				Temperatura	graus C

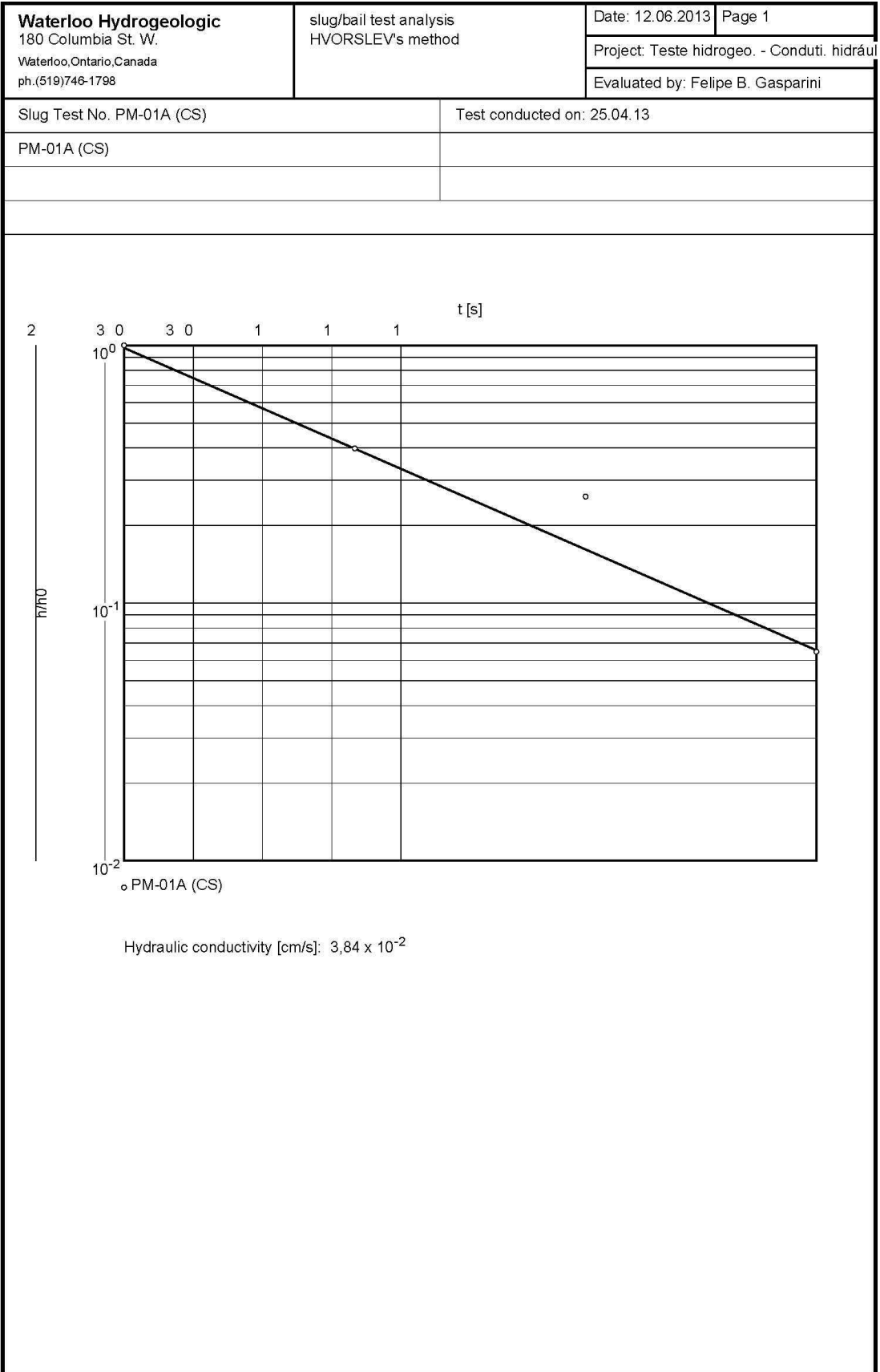
Configurações da Medição				Resultados de Vazão	
Ref. para Trajeto	GPS-VTG	Método Margem Esq.	Margem Gradual	Largura	62,688
Ref. para Prof.	Feixe Vertical	Método Margem Dir.	Margem Gradual	Área	193,890
Sist. de Coord.	ENU	Tipo Extrapolação Superf.	Lei Exponencial	Vel. Abs. Média	0,056
		Tipo Extrapolação Fundo	Lei Exponencial	Vaz. Total	10,641
				Profundidade máxima medida	5,207
				Velocidade máxima medida	1,768

Resultados das Medições															
Nº da trav.	Hora			Dist.			Vel. Méd.			Vaz.					%
#	Hora	Duração	Temp.	Trajeto	DMG	Larg.	Área	Emb.	Água	Esq.	Dir.	Superf.	Meio	Fundo	Total
1	M 10:02:23	0:06:06	22,2	60,63	54,59	56,085	143,314	0,166	0,067	0,00	0,00	1,77	6,87	0,99	9,640
2	M 10:08:37	0:04:15	22,2	58,64	55,63	57,127	146,182	0,230	0,027	0,00	0,00	0,75	2,88	0,38	4,003
3	M 10:13:01	0:08:12	22,1	62,36	55,68	57,182	142,782	0,127	0,051	0,00	0,00	1,31	5,26	0,73	7,306
4	M 10:22:17	0:08:21	22,3	60,97	56,56	58,059	150,752	0,122	0,033	0,00	0,00	0,84	3,67	0,52	5,031
5	M 10:31:08	0:07:27	22,1	60,14	56,68	58,185	153,531	0,135	0,006	0,00	0,00	0,14	0,74	0,09	0,979
6	M 10:41:14	0:08:04	22,2	69,32	58,48	60,982	162,779	0,143	0,018	0,06	0,01	0,50	2,08	0,31	2,946
7	M 10:49:34	0:06:57	22,2	61,96	58,31	59,813	160,875	0,149	0,019	0,00	0,00	0,48	2,24	0,32	3,046
8	M 10:56:37	0:07:09	22,5	62,03	58,44	59,939	164,200	0,145	0,043	0,00	0,00	1,24	5,08	0,75	7,068
9	M 11:03:52	0:06:19	22,2	63,66	59,10	60,599	167,166	0,168	0,045	0,00	0,00	1,24	5,41	0,81	7,464
10	M 11:10:20	0:05:31	22,4	62,46	59,19	60,695	167,996	0,189	0,042	0,00	0,00	1,19	5,16	0,76	7,118
11	M 13:08:08	0:06:27	23,4	69,23	64,68	66,181	218,387	0,179	0,015	0,00	0,00	0,40	2,54	0,32	3,265
12	M 13:14:50	0:06:54	23,4	68,60	65,60	66,600	234,543	0,166	0,018	0,00	0,00	0,54	3,14	0,45	4,134
13	M 13:22:02	0:07:21	23,2	71,08	66,82	67,824	227,291	0,161	0,010	0,00	0,00	0,24	1,85	0,26	2,343
14	M 13:29:33	0:06:27	23,3	68,58	66,03	67,034	239,258	0,177	0,018	0,00	0,00	0,54	3,16	0,48	4,187
15	M 13:36:11	0:09:14	23,2	78,91	66,48	67,480	218,183	0,142	0,022	0,00	0,00	0,58	3,79	0,47	4,849
16	M 13:45:38	0:06:46	23,3	72,16	65,56	66,556	241,439	0,178	0,033	0,00	0,00	1,08	5,97	0,89	7,942
17	M 13:54:06	0:07:59	23,3	73,10	67,82	68,825	224,817	0,153	0,029	0,00	0,00	0,90	4,91	0,73	6,540
18	M 14:02:24	0:05:54	23,4	70,10	65,51	66,506	241,834	0,198	0,020	0,00	0,00	0,68	3,49	0,64	4,802
19	M 15:22:46	0:05:37	23,3	67,57	64,38	67,376	252,153	0,201	0,057	0,01	0,02	1,91	10,88	1,66	14,487
20	M 15:28:37	0:05:10	23,2	68,22	65,01	68,015	253,692	0,220	0,060	0,01	0,06	2,11	11,41	1,69	15,277
21	M 15:34:21	0:04:30	23,3	66,89	65,28	67,782	251,402	0,248	0,042	0,00	0,06	1,46	7,83	1,18	10,530
22	M 16:15:20	0:05:17	23,0	66,47	65,14	67,642	246,742	0,210	0,070	0,00	0,07	2,28	13,06	1,92	17,332
23	M 16:20:59	0:05:49	22,9	67,33	64,72	67,220	245,933	0,193	0,062	0,00	0,06	2,08	11,37	1,69	15,209
24	M 16:27:04	0:04:42	23,1	66,27	65,13	67,632	243,696	0,235	0,047	0,00	0,06	1,61	8,44	1,28	11,386
25	M 16:32:03	0:05:07	23,0	67,74	65,08	67,579	247,401	0,221	0,045	0,00	0,05	1,65	8,05	1,28	11,031
26	M 17:12:23	0:14:29	23,0	69,21	66,69	69,190	239,382	0,080	0,068	0,00	0,07	2,24	12,02	1,84	16,170
27	M 17:31:49	0:12:58	23,1	76,29	63,95	66,446	230,829	0,098	0,062	0,00	0,03	2,04	10,61	1,66	14,335
28	M 17:49:00	0:06:21	23,1	66,09	64,96	67,461	228,464	0,173	0,062	0,00	0,04	1,97	10,69	1,56	14,257
29	M 17:55:42	0:10:44	23,1	66,74	28,26	30,756	89,615	0,104	0,084	0,00	0,00	1,08	5,46	0,96	7,493
30	M 18:15:20	0:06:05	23,1	66,07	64,10	65,096	214,757	0,181	0,097	0,00	0,00	2,94	15,47	2,33	20,738
31	M 18:21:49	0:09:21	23,1	67,77	64,89	65,892	212,306	0,121	0,088	0,00	0,00	2,65	14,05	1,98	18,676
32	M 18:31:41	0:07:42	23,1	66,30	63,61	65,114	206,277	0,143	0,096	0,00	0,00	2,86	14,70	2,18	19,742
33	M 18:43:59	0:07:24	23,1	65,71	62,85	64,349	200,027	0,148	0,121	0,00	0,00	3,50	18,15	2,53	24,184
34	M 18:51:38	0:07:05	23,2	63,62	61,73	63,228	191,901	0,150	0,127	0,00	0,00	3,62	18,06	2,63	24,309
35	M 19:13:27	0:07:14	23,1	62,76	60,56	61,560	179,064	0,145	0,109	0,00	0,00	2,94	14,43	2,11	19,478
36	M 19:20:55	0:07:17	23,2	61,70	59,85	60,846	177,261	0,141	0,077	0,00	0,00	2,12	10,11	1,47	13,699
37	M 19:28:58	0:05:15	23,2	61,88	60,17	61,169	173,156	0,196	0,065	0,00	0,00	1,75	8,42	1,17	11,336
38	M 19:34:43	0:06:03	23,3	62,14	60,33	61,333	176,993	0,171	0,070	0,00	0,00	1,97	9,14	1,32	12,432
39	M 19:44:06	0:06:33	23,3	65,64	62,50	63,500	174,715	0,167	0,089	0,00	0,00	2,61	11,34	1,67	15,619
40	M 19:50:54	0:06:36	23,3	61,06	58,11	59,109	166,808	0,154	0,102	0,00	0,00	2,82	12,30	1,85	16,979
41	M 20:02:15	0:06:58	23,3	63,52	61,09	62,092	171,133	0,152	0,076	0,00	0,00	2,08	9,54	1,37	12,990

42	M	20:09:29	0:06:13	23,3	60,20	57,59	58,586	166,696	0,161	0,080	0,00	0,00	2,05	9,88	1,40	13,330	--	74,1
43	M	20:15:53	0:05:53	23,3	63,16	61,10	62,102	169,084	0,179	0,071	0,00	0,00	1,90	8,88	1,23	12,003	--	74,0
44	M	20:22:07	0:05:54	23,3	61,53	59,19	60,186	166,889	0,174	0,065	0,00	0,00	1,71	8,02	1,17	10,897	--	73,6
45	M	20:28:24	0:07:25	23,2	71,87	60,88	61,879	165,587	0,162	0,057	0,00	0,00	1,45	7,03	1,01	9,481	--	74,1
46	M	20:35:57	0:06:19	23,3	61,16	59,71	60,712	169,385	0,161	0,070	0,00	0,00	1,96	8,57	1,27	11,797	--	72,6
47	M	20:42:33	0:05:25	23,3	61,75	60,41	61,412	162,111	0,190	0,035	0,00	0,00	0,92	4,23	0,59	5,741	--	73,6
48	M	20:48:10	0:06:01	23,3	60,63	59,54	60,540	170,610	0,168	0,056	0,00	0,00	1,59	6,93	1,01	9,532	--	72,7
49	M	20:54:22	0:05:51	23,2	62,18	60,67	61,672	170,940	0,177	0,030	0,00	0,00	0,94	3,68	0,57	5,193	--	70,9
50	M	21:00:30	0:06:37	23,2	62,21	60,27	61,269	174,149	0,157	0,021	0,00	0,00	0,71	2,61	0,41	3,732	--	70,1
			Média	23,0	65,51	61,18	62,688	193,890	0,166	0,056	0,00	0,01	1,60	7,87	1,16	10,641	0,000	73,9
			Desvio Padrão	0,4	4,36	5,80	5,814	38,255	0,034	0,029	0,01	0,02	0,85	4,35	0,64	5,827	0,000	1,7
			CV	0,0	0,067	0,095	0,093	0,197	0,203	0,529	5,706	2,069	0,531	0,553	0,551	0,548	0,000	0,024
Tempo de Exposição: 5:45:18																		
Nº da trav.20130707100219.riv; Nº da trav.20130707100833.riv; Nº da trav.20130707101257.riv; Nº da trav.20130707102213.riv; Nº da trav.20130707103105.riv; Nº da trav.20130707104110.riv; Nº da trav.20130707104930.riv; Nº da trav.20130707105633.riv; Nº da trav.20130707110348.riv; Nº da trav.20130707111016.riv; Nº da trav.20130707130805.riv; Nº da trav.20130707131446.riv; Nº da trav.20130707132159.riv; Nº da trav.20130707132929.riv; Nº da trav.20130707133608.riv; Nº da trav.20130707134534.riv; Nº da trav.20130707135401.riv; Nº da trav.20130707140219.riv; Nº da trav.20130707152242.riv; Nº da trav.20130707152832.riv; Nº da trav.20130707153416.riv; Nº da trav.20130707161515.riv; Nº da trav.20130707162055.riv; Nº da trav.20130707162659.riv; Nº da trav.20130707163158.riv; Nº da trav.20130707171218.riv; Nº da trav.20130707173145.riv; Nº da trav.20130707174855.riv; Nº da trav.20130707175537.riv; Nº da trav.20130707181514.riv; Nº da trav.20130707182144.riv; Nº da trav.20130707183135.riv; Nº da trav.20130707184355.riv; Nº da trav.20130707185133.riv; Nº da trav.20130707191323.riv; Nº da trav.20130707192050.riv; Nº da trav.20130707192853.riv; Nº da trav.20130707193438.riv; Nº da trav.20130707194401.riv; Nº da trav.20130707195049.riv; Nº da trav.20130707200210.riv; Nº da trav.20130707200924.riv; Nº da trav.20130707201547.riv; Nº da trav.20130707202201.riv; Nº da trav.20130707202818.riv; Nº da trav.20130707203552.riv; Nº da trav.20130707204228.riv; Nº da trav.20130707204805.riv; Nº da trav.20130707205417.riv; Nº da trav.20130707210025.riv;																		
Coment.																		
Nº da trav.20130707100219.riv - ; Nº da trav.20130707100833.riv - ; Nº da trav.20130707101257.riv - ; Nº da trav.20130707102213.riv - ; Nº da trav.20130707103105.riv - ; Nº da trav.20130707104110.riv - ; Nº da trav.20130707104930.riv - ; Nº da trav.20130707105633.riv - ; Nº da trav.20130707110348.riv - ; Nº da trav.20130707111016.riv - ; Nº da trav.20130707130805.riv - ; Nº da trav.20130707131446.riv - ; Nº da trav.20130707132159.riv - ; Nº da trav.20130707132929.riv - ; Nº da trav.20130707133608.riv - ; Nº da trav.20130707134534.riv - ; Nº da trav.20130707135401.riv - ; Nº da trav.20130707140219.riv - ; Nº da trav.20130707152242.riv - ; Nº da trav.20130707152832.riv - ; Nº da trav.20130707153416.riv - ; Nº da trav.20130707161515.riv - ; Nº da trav.20130707162055.riv - ; Nº da trav.20130707162659.riv - ; Nº da trav.20130707163158.riv - ; Nº da trav.20130707171218.riv - ; Nº da trav.20130707173145.riv - ; Nº da trav.20130707174855.riv - ; Nº da trav.20130707175537.riv - ; Nº da trav.20130707181514.riv - ; Nº da trav.20130707182144.riv - ; Nº da trav.20130707183135.riv - ; Nº da trav.20130707184355.riv - ; Nº da trav.20130707185133.riv - ; Nº da trav.20130707191323.riv - ; Nº da trav.20130707192050.riv - ; Nº da trav.20130707192853.riv - ; Nº da trav.20130707193438.riv - ; Nº da trav.20130707194401.riv - ; Nº da trav.20130707195049.riv - ; Nº da trav.20130707200210.riv - ; Nº da trav.20130707200924.riv - ; Nº da trav.20130707201547.riv - ; Nº da trav.20130707202201.riv - ; Nº da trav.20130707202818.riv - ; Nº da trav.20130707203552.riv - ; Nº da trav.20130707204228.riv - ; Nº da trav.20130707204805.riv - ; Nº da trav.20130707205417.riv - ; Nº da trav.20130707210025.riv - ;																		
Calibração da Bússola																		
Resultado: CALIBRADA CORRETAMENTE Resultado é excelente Interferência magnética é muito fraca.																		
Resultado da Calibração: M0.00Q9																		
Testar Sistema																		
Resultado: Sistema está operando normalmente																		
Parâmetros e configurações marcadas com um * não são constantes para todos os arquivos.																		
Relatório gerado com RiverSurveyor Live v3.6.0.3384																		

ANEXO 4

Resultados das condutividades hidráulicas
(programa de computador Aquifer Test)



Waterloo Hydrogeologic
 180 Columbia St. W.
 Waterloo, Ontario, Canada
 ph.(519)746-1798

slug/bail test analysis
 HVORSLEV's method

Date: 12.06.2013 Page 1

Project: Teste hidrogeo. - Condu. hidrául.

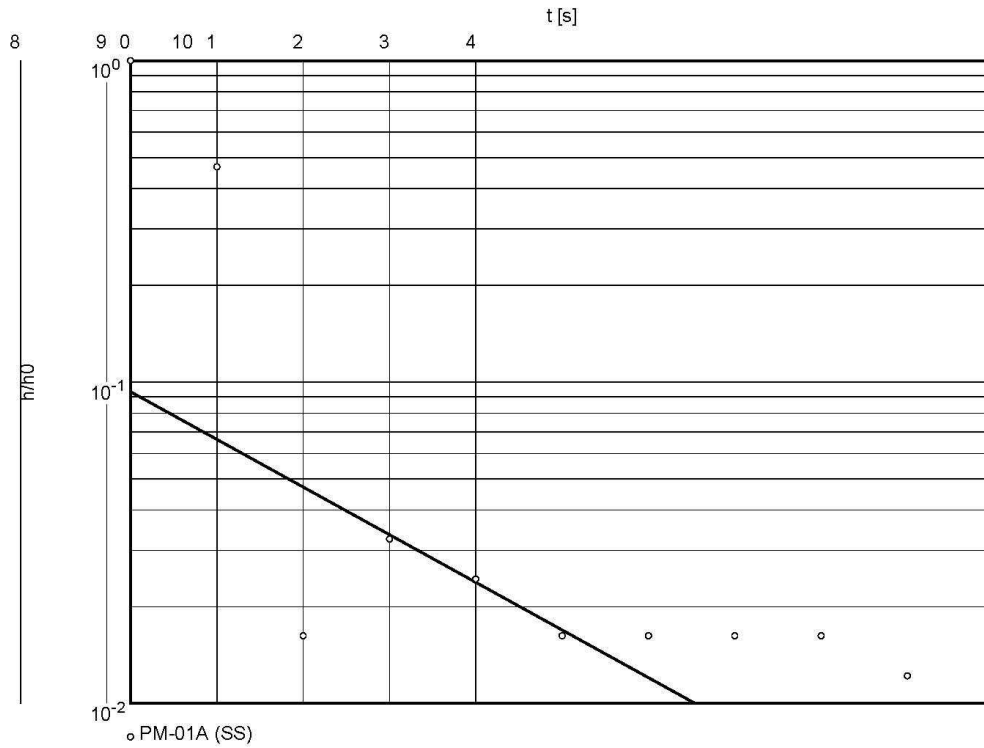
Evaluated by: Felipe B. Gasparini

Slug Test No. PM-01A (SS)

Test conducted on: 25.04.13

PM-01A (SS)

7



Hydraulic conductivity [cm/s]: $1,45 \times 10^{-2}$

Waterloo Hydrogeologic

180 Columbia St. W.
Waterloo, Ontario, Canada
ph. (519) 746-1798

slug/bail test analysis
HVORSLEV's method

Date: 12.06.2013 Page 1

Project: Teste hidrogeo. - Conduiti. hidrául

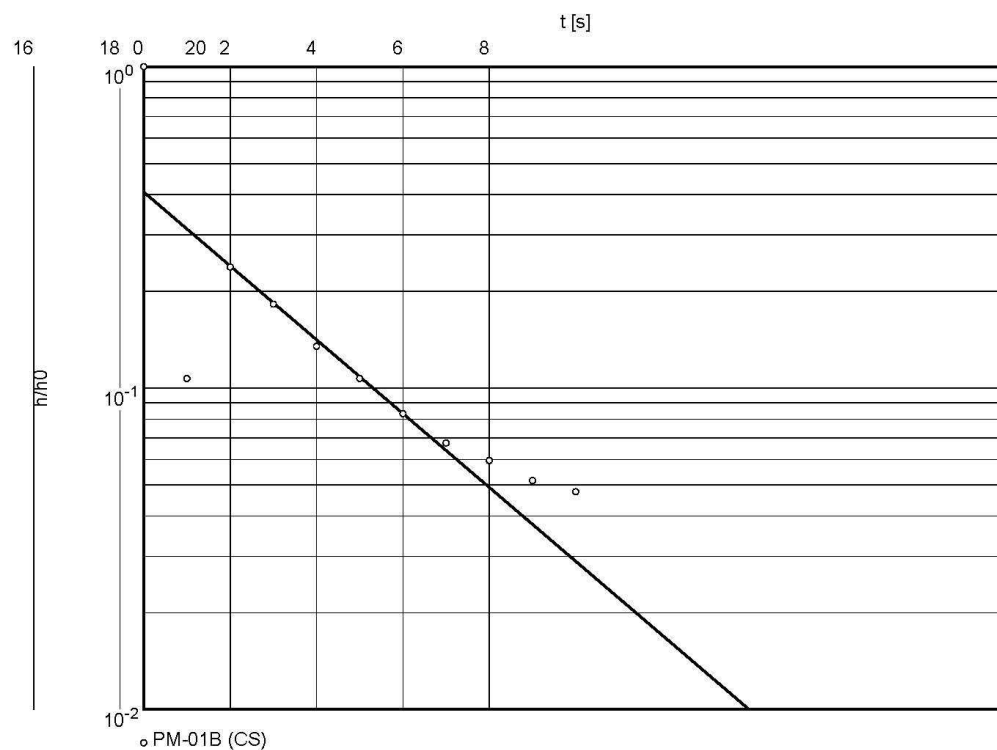
Evaluated by: Felipe B. Gasparini

Slug Test No. PM-01B (CS)

Test conducted on: 25.04.2013

PM-01B (CS)

14



Hydraulic conductivity [cm/s]: $1,16 \times 10^{-2}$

Waterloo Hydrogeologic

180 Columbia St. W.
Waterloo, Ontario, Canada
ph. (519) 746-1798

slug/bail test analysis
HVORSLEV's method

Date: 12.06.2013 Page 1

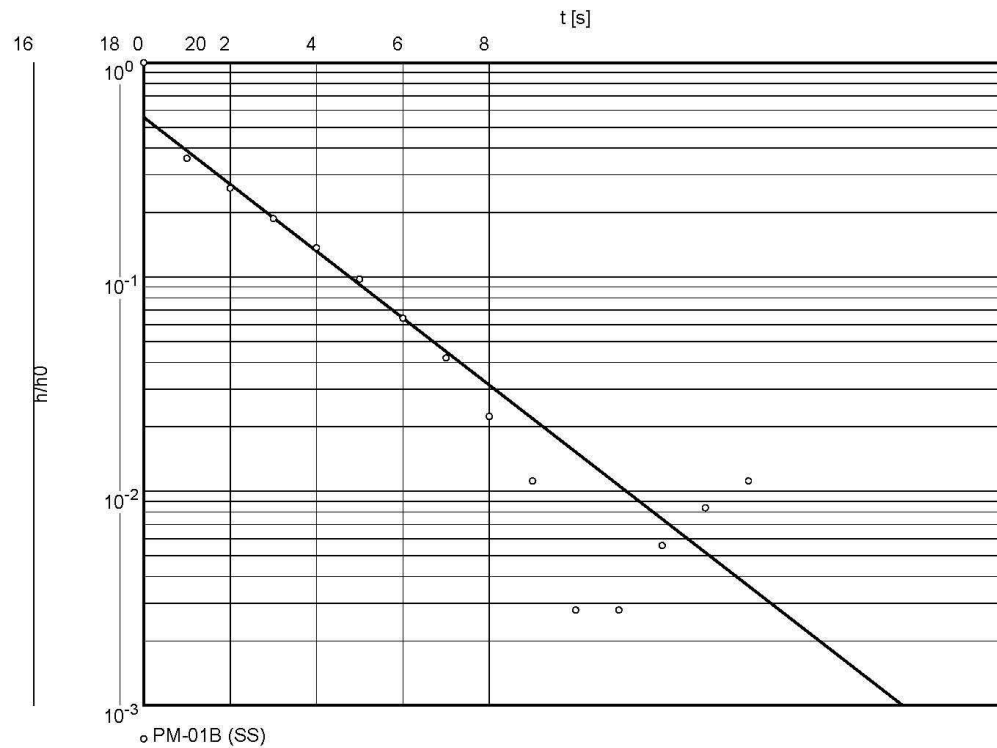
Project: Teste hidrogeo. - Condutivi. hidráulica

Evaluated by: Felipe B. Gasparini

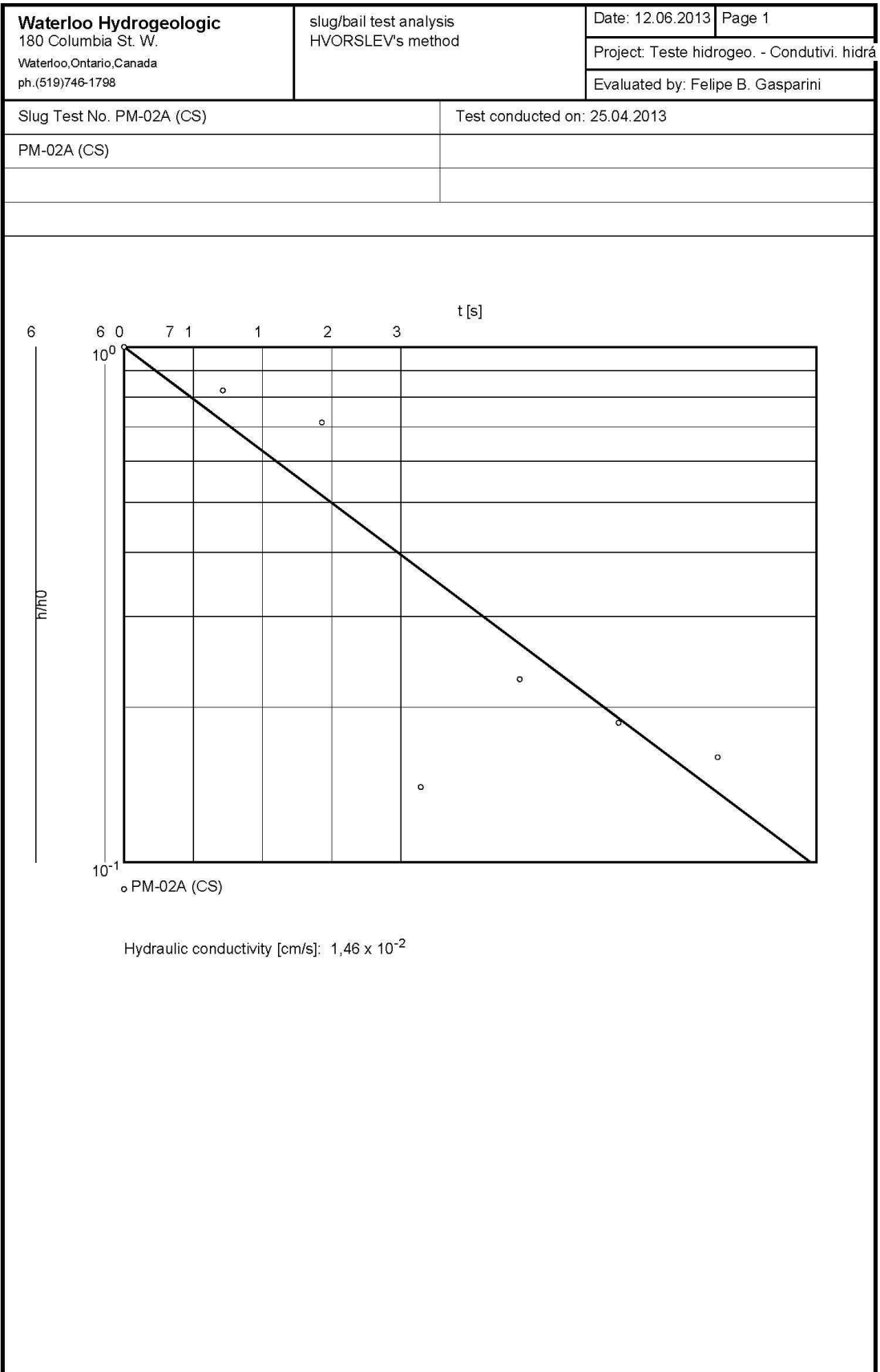
Slug Test No. PM-01B (SS)

Test conducted on: 25.04.2013

PM-01B (SS)



Hydraulic conductivity [cm/s]: $1,58 \times 10^{-2}$



Waterloo Hydrogeologic

180 Columbia St. W.
Waterloo, Ontario, Canada
ph. (519) 746-1798

slug/bail test analysis
HVORSLEV's method

Date: 12.06.2013 Page 1

Project: Teste hidrogeo. - Condutivi. hidrá

Evaluated by: Felipe B. Gasparini

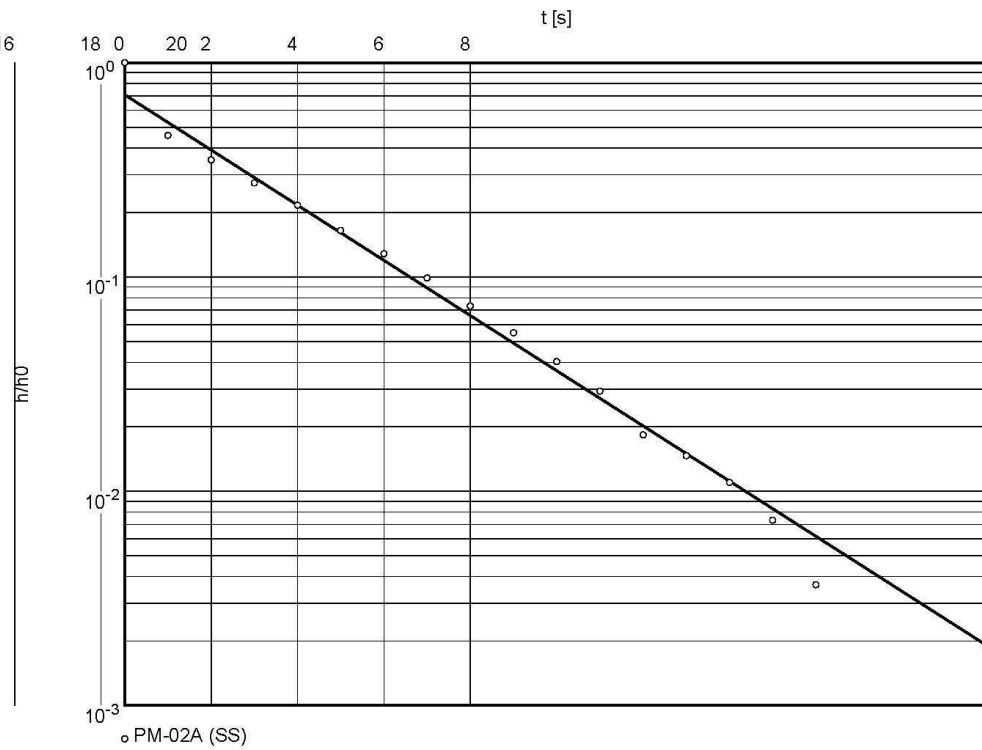
Slug Test No. PM-02A (SS)

Test conducted on: 25.04.2013

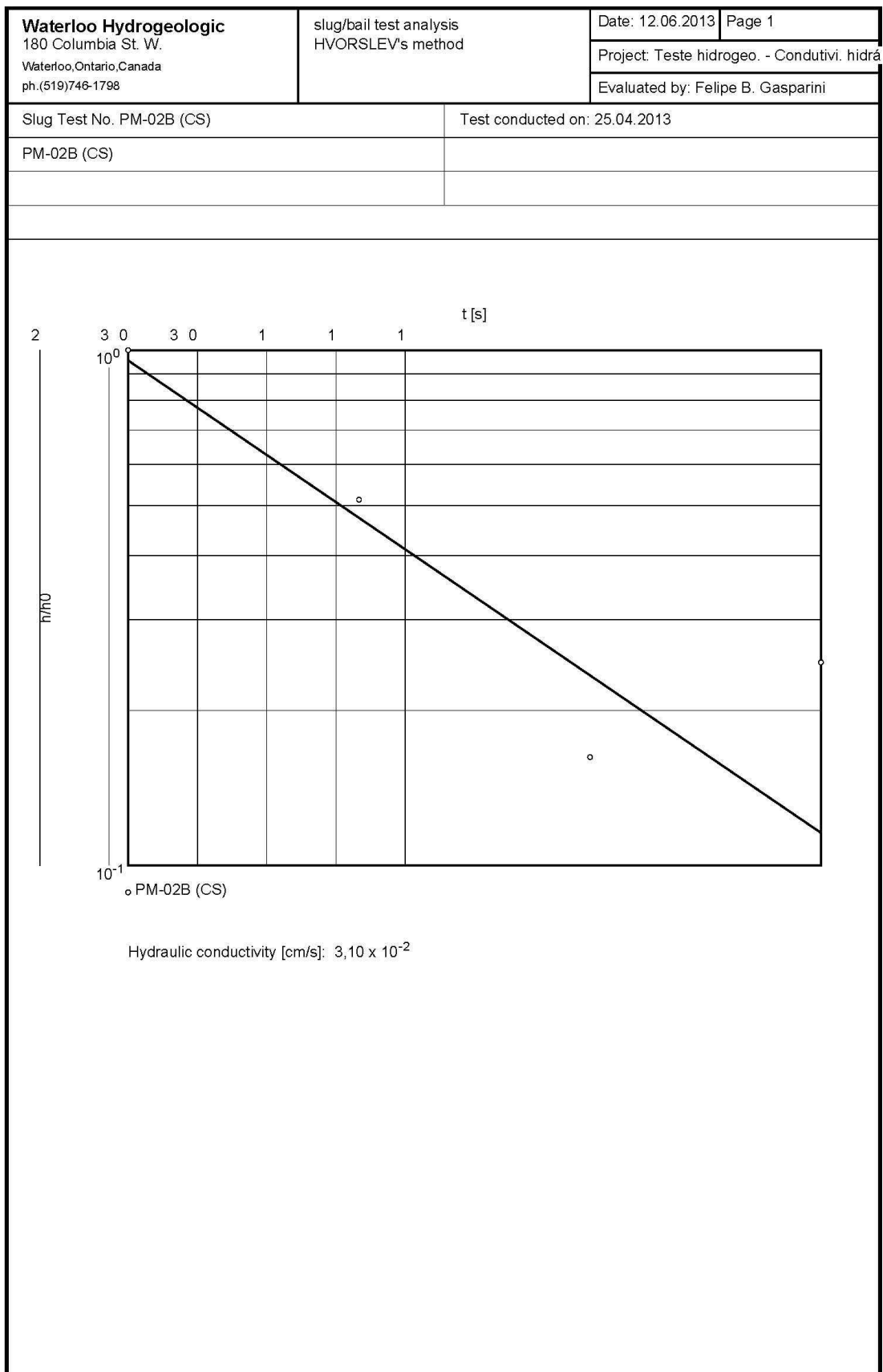
PM-02A (SS)

14

16

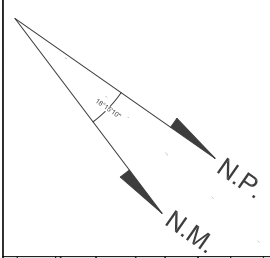


Hydraulic conductivity [cm/s]: $1,30 \times 10^{-2}$

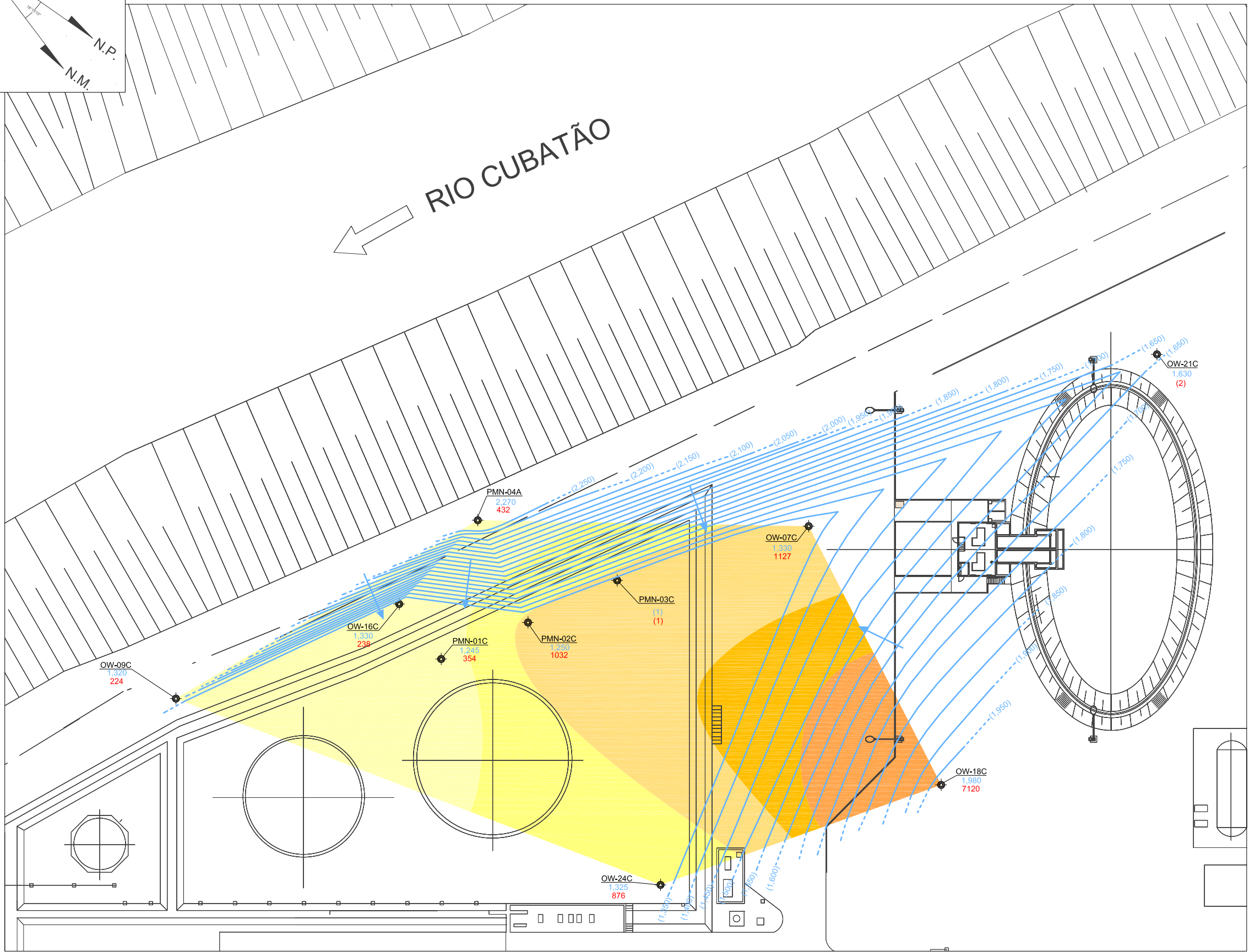


ANEXO 5

Mapas potenciométricos e gradientes das condutividades elétricas
da água subterrânea



RIO CUBATÃO



Mapa 01 - Potenciometria da porção superior do aquífero livre e gradiente de condutividade elétrica da água subterrânea (11/10/2013 - 08:54:00 às 11:35:00 horas - Módulo 03 desligado)

- OW-07C Bateria de poços de observação multinível
1,330 Carga hidráulica (m)
1127 Condutividade elétrica (μS/cm)
- PMN-01C Bateria de poços de monitoramento multinível
- Tanque de combustível aéreo
- Lagoa de incêndio

Hidrogeologia

- Linhas equipotenciais inferidas
- Linhas equipotenciais definidas
- Sentido do fluxo subterrâneo
- (1) Nível d'água subterrâneo abaixo do nível da base da seção filtrante do poço

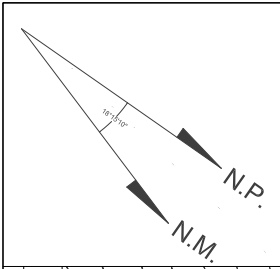
Gradiente da condutividade elétrica (μS/cm)

< 500
500 - 1000
1001 - 2000
2001 - 4000
> 4000

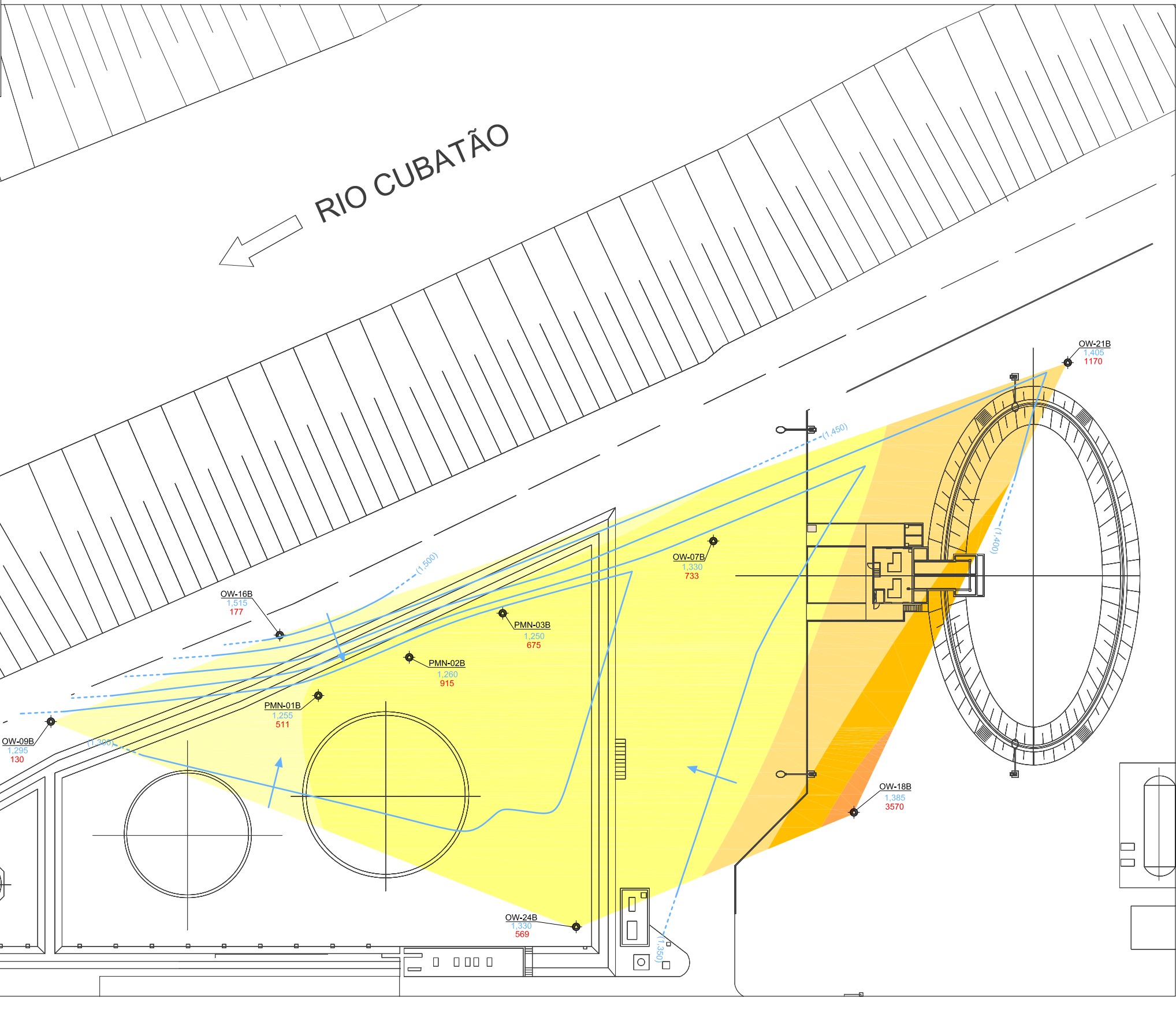
- (1) Nível d'água subterrâneo abaixo do nível da base da seção filtrante do poço
- (2) Obstrução à 0,50 metros

Escala

0 10 20(m)



RIO CUBATÃO



Mapa 02 - Potenciometria da porção intermediária do aquífero livre e gradiente de condutividade elétrica da água subterrânea (11/10/2013 - 08:54:00 às 11:35:00 horas - Módulo 03 desligado)

OW-16B Bateria de poços de observação multinível
1,515 Carga hidráulica (m)
177 Condutividade elétrica ($\mu\text{S/cm}$)

PMN-01B Bateria de poços de monitoramento multinível



Tanque de combustível aéreo



Lagoa de incêndio

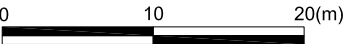
Hidrogeologia

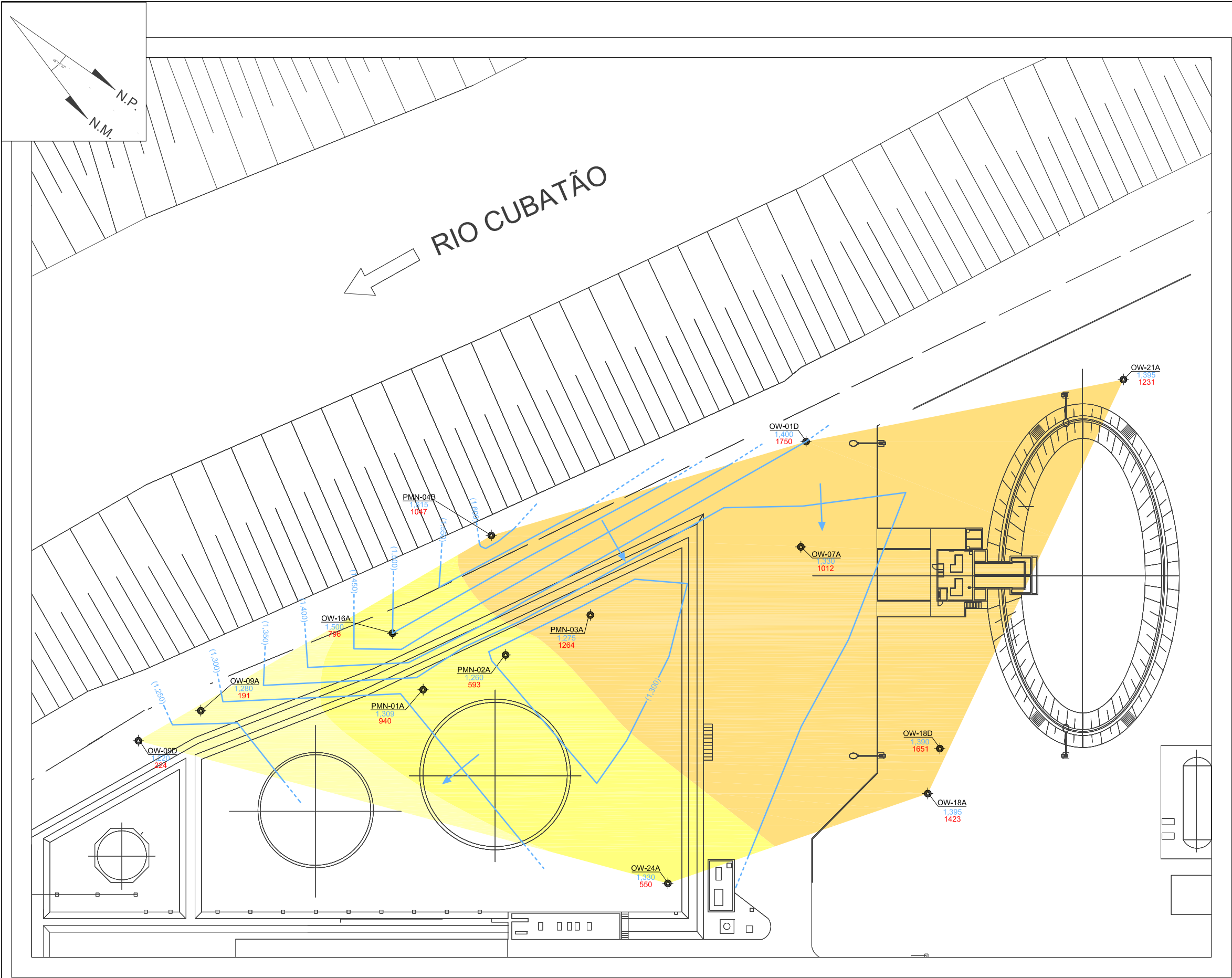
- Linhas equipotenciais inferidas
- Linhas equipotenciais definidas
- Sentido do fluxo subterrâneo

Gradiente da condutividade elétrica ($\mu\text{S/cm}$)

- < 500
- 500 - 1000
- 1001 - 2000
- 2001 - 4000
- > 4000

Escala





Mapa 03 - Potenciometria da porção inferior do aquífero livre e gradiente de condutividade elétrica da água subterrânea (11/10/2013 - 08:54:00 às 11:35:00 horas - Módulo 03 desligado)

OW-16A Bateria de poços de observação multinível
1.500 Carga hidráulica (m)
796 Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

PMN-04B Bateria de poços de monitoramento multinível

Tanque de combustível aéreo

Lagoa de incêndio

Hidrogeologia

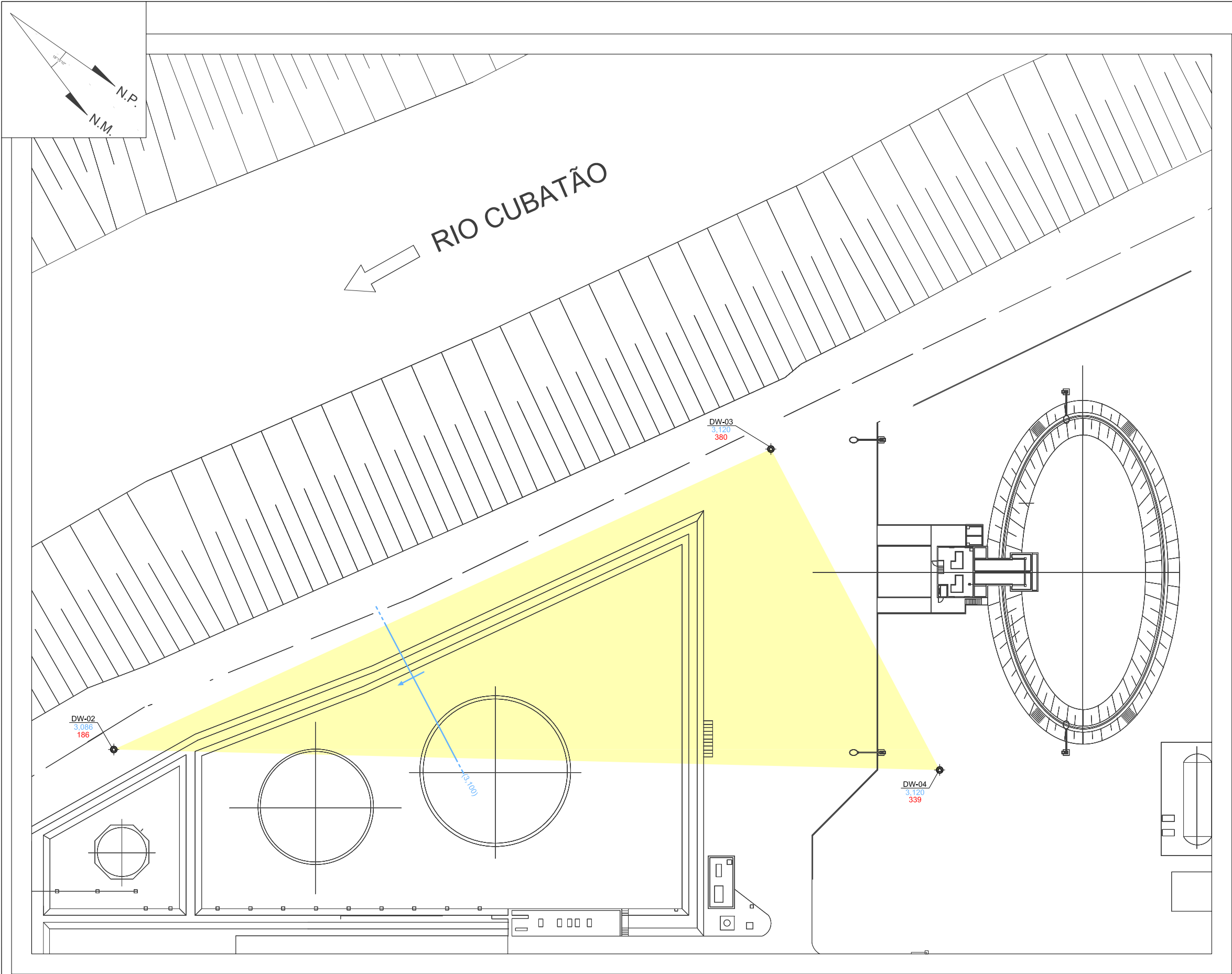
- Linhas equipotenciais inferidas
- Linhas equipotenciais definidas
- Sentido do fluxo subterrâneo

Gradiente da condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

- < 500
- 500 - 1000
- 1001 - 2000
- 2001 - 4000
- > 4000

Escala

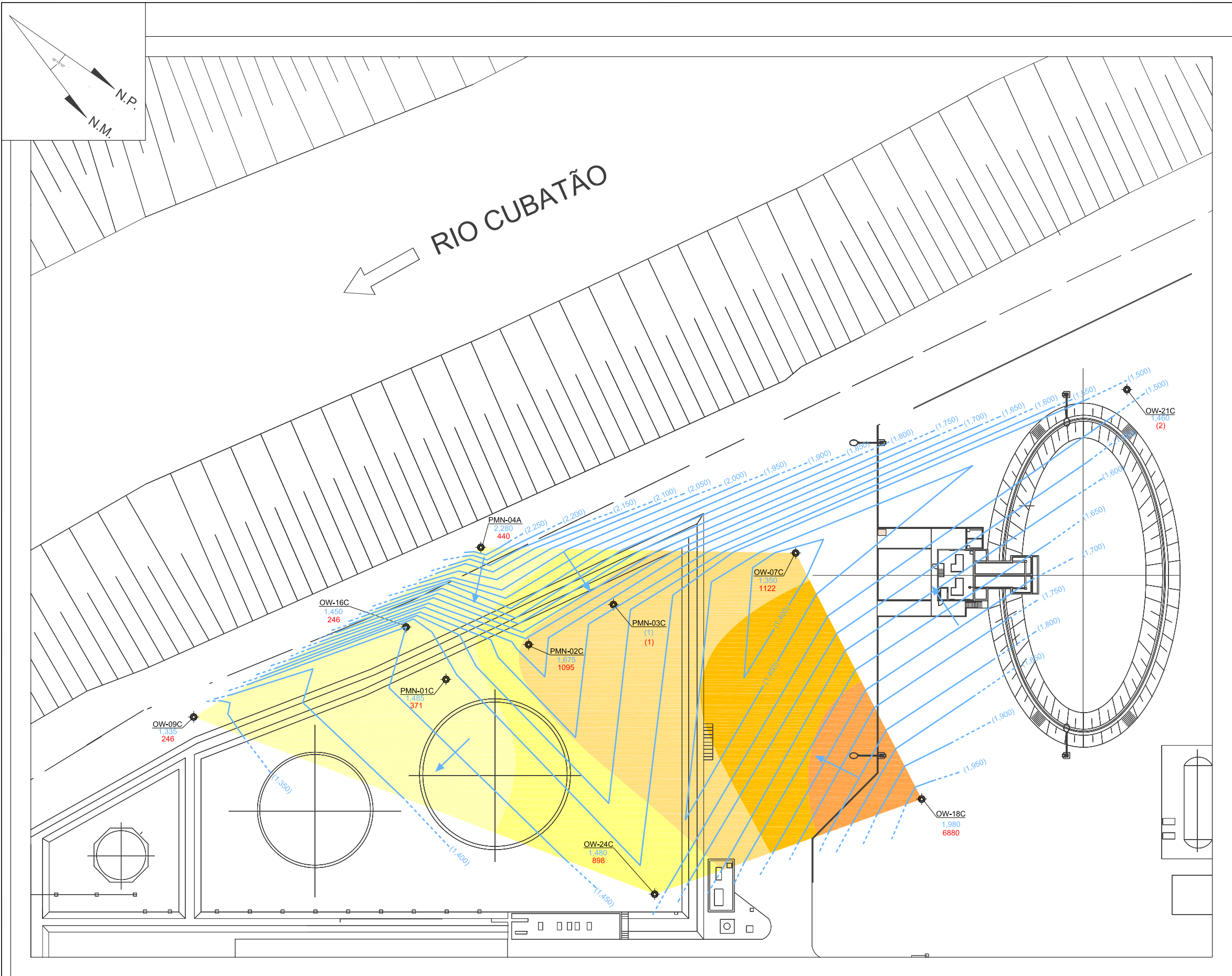
0 10 20(m)



Mapa 04 - Potenciometria da porção superior do aquífero confinado e gradiente de condutividade elétrica da água subterrânea (11/10/2013 - 08:54:00 às 11:35:00 horas - Módulo 03 desligado)

- DW-02 Poço de monitoramento profundo
- 3,086 Carga hidráulica (m)
- 186 Condutividade elétrica (μS/cm)
- Tanque de combustível aéreo
- Lagoa de incêndio

Hidrogeologia	
---	Linhas equipotenciais inferidas
---	Linhas equipotenciais definidas
→	Sentido do fluxo subterrâneo
Gradiente da condutividade elétrica (μS/cm)	
< 500	
500 - 1000	
1001 - 2000	
2001 - 4000	
> 4000	
Escala	
0	20(m)



Mapa 05 - Potenciometria da porção superior do aquífero livre e gradiente de condutividade elétrica da água subterrânea (11/10/2013 - 12:54:00 às 15:19:00 horas - Módulo 03 ligado)

- OW-07C**
1,350
1122
- PMN-01C**
Bateria de poços de monitoramento multinível
- Tanque de combustível aéreo**
- Lagoa de incêndio**

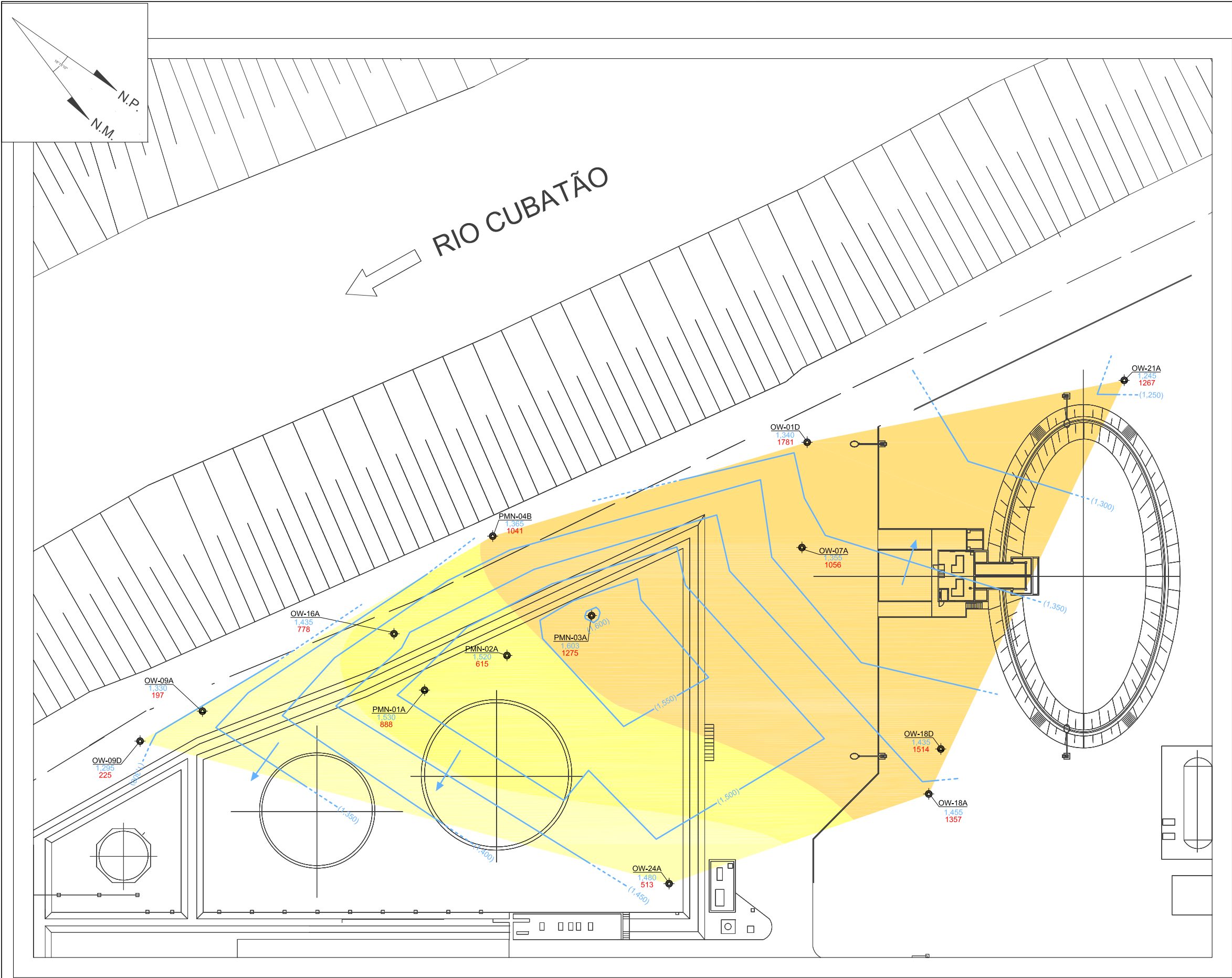
Hidrogeologia

- Linhas equipotenciais inferidas
- Linhas equipotenciais definidas
- Sentido do fluxo subterrâneo
- (1) Nível d'água subterrâneo abaixo do nível da base da seção filtrante do poço

Gradiente da condutividade elétrica ($\mu\text{S/cm}$)

- < 500
- 500 - 1000
- 1001 - 2000
- 2001 - 4000
- > 4000
- (1) Nível d'água subterrâneo abaixo do nível da base da seção filtrante do poço
- (2) Obstrução à 0,50 metros

Escala
0 10 20(m)



Mapa 07 - Potenciometria da porção inferior do aquífero livre e gradiente de condutividade elétrica da água subterrânea (11/10/2013 - 12:54:00 às 15:19:00 horas - Módulo 03 ligado)

OW-16A Bateria de poços de observação multinível
1,365 Carga hidráulica (m)
1,041 Condutividade elétrica (μS/cm)

PMN-04B Bateria de poços de monitoramento multinível

Tanque de combustível aéreo

Lagoa de incêndio

Hidrogeologia

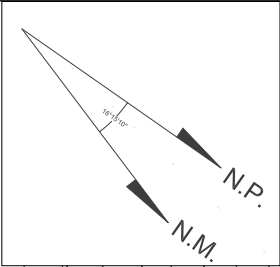
- Linhas equipotenciais inferidas
- Linhas equipotenciais definidas
- Sentido do fluxo subterrâneo

Gradiente da condutividade elétrica (μS/cm)

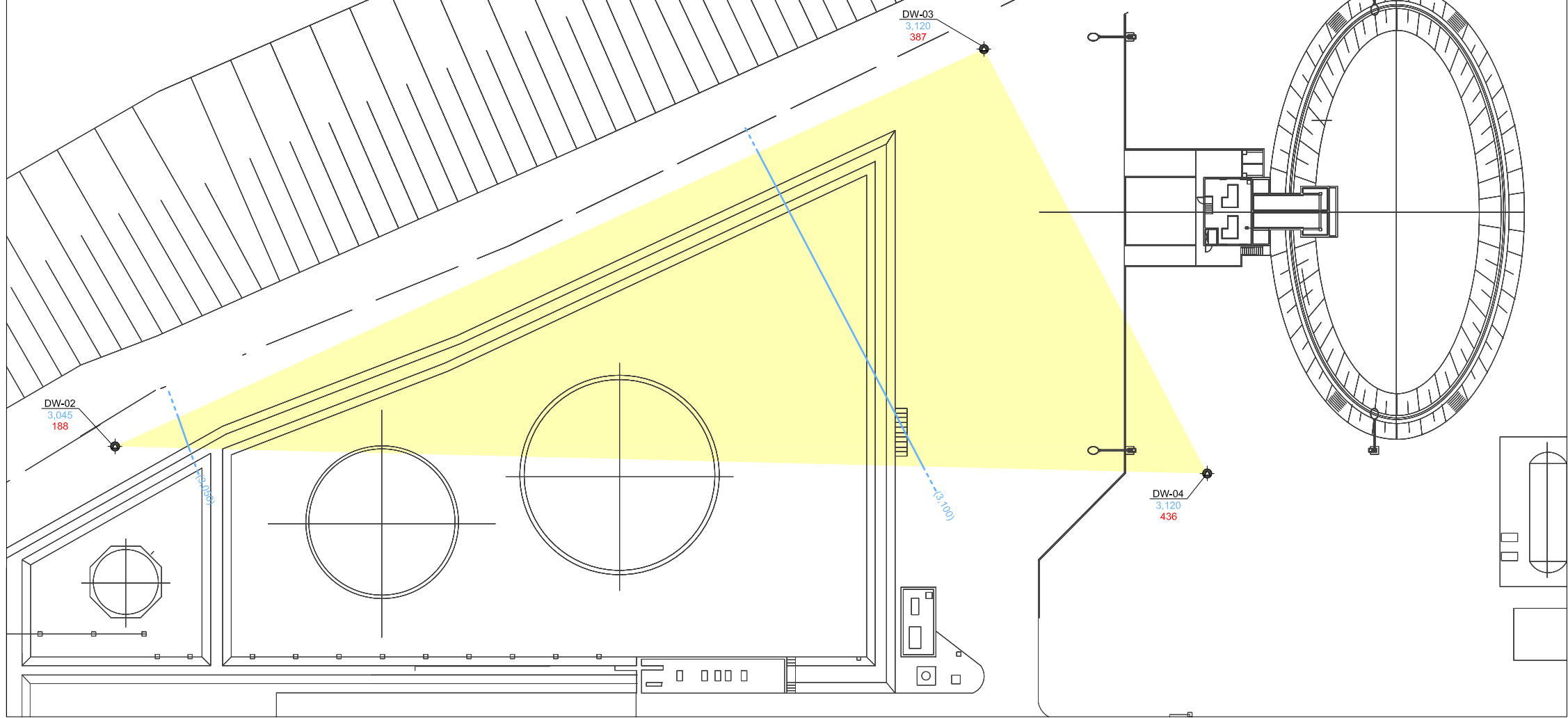
- < 500
- 500 - 1000
- 1001 - 2000
- 2001 - 4000
- > 4000

Escala

0 10 20(m)



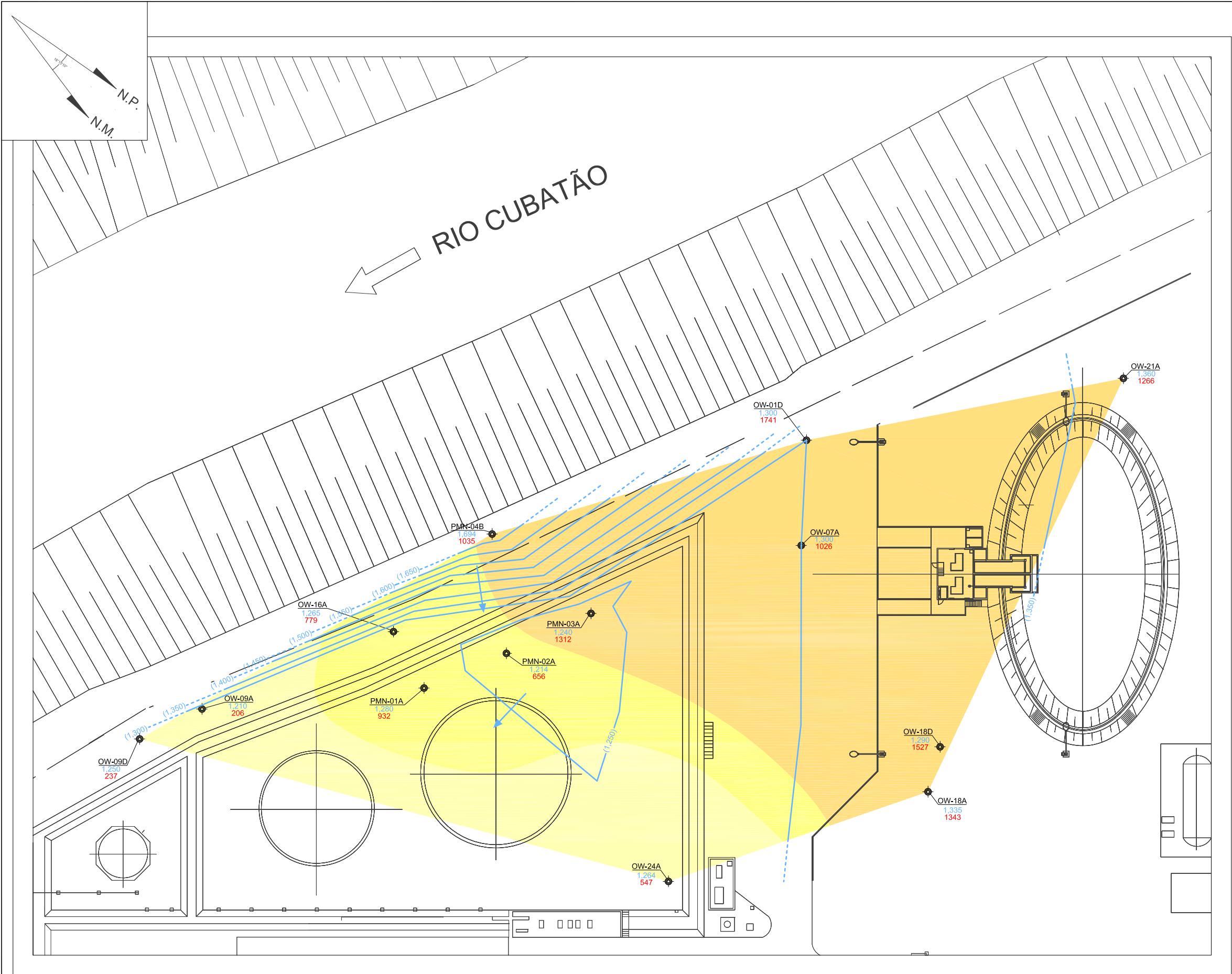
RIO CUBATÃO



Mapa 08 - Potenciometria da porção superior do aquífero confinado e gradiente de condutividade elétrica da água subterrânea (11/10/2013 -12:54:00 às 15:19:00 horas - Módulo 03 ligado)

- DW-02 Poço de monitoramento profundo
- 3,045 Carga hidráulica (m)
- 188 Condutividade elétrica (µS/cm)
- Tanque de combustível aéreo
- Lagoa de incêndio

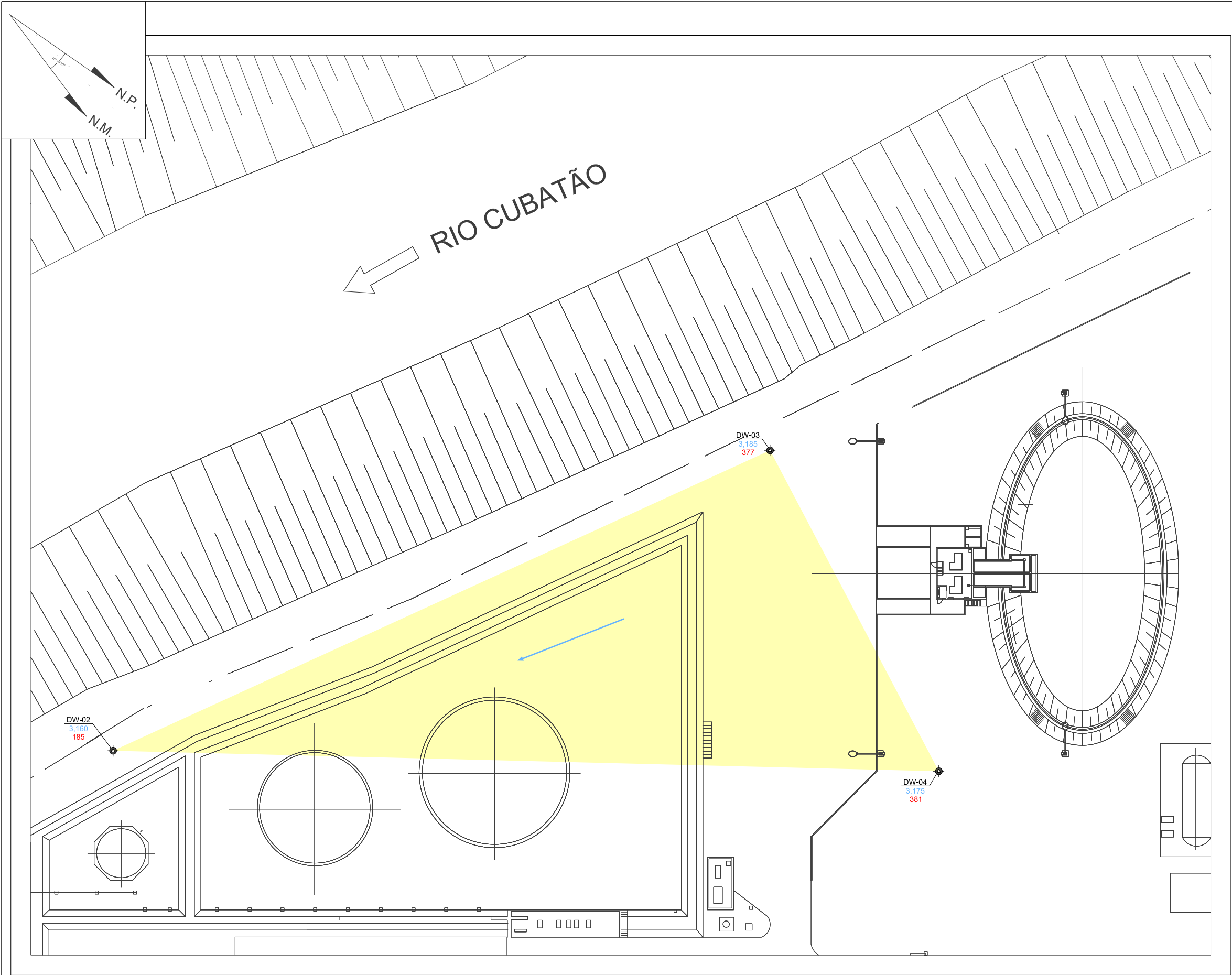
Hidrogeologia	
---	Linhas equipotenciais inferidas
---	Linhas equipotenciais definidas
---	Sentido do fluxo subterrâneo
Gradiente da condutividade elétrica (µS/cm)	
	< 500
	500 - 1000
	1001 - 2000
	2001 - 4000
	> 4000
Escala	
0	10 20(m)



Mapa 11 - Potenciometria da porção inferior do aquífero livre e gradiente de condutividade elétrica da água subterrânea (12/10/2013 - 09:00:00 às 11:33:00 horas - Módulo 03 desligado)

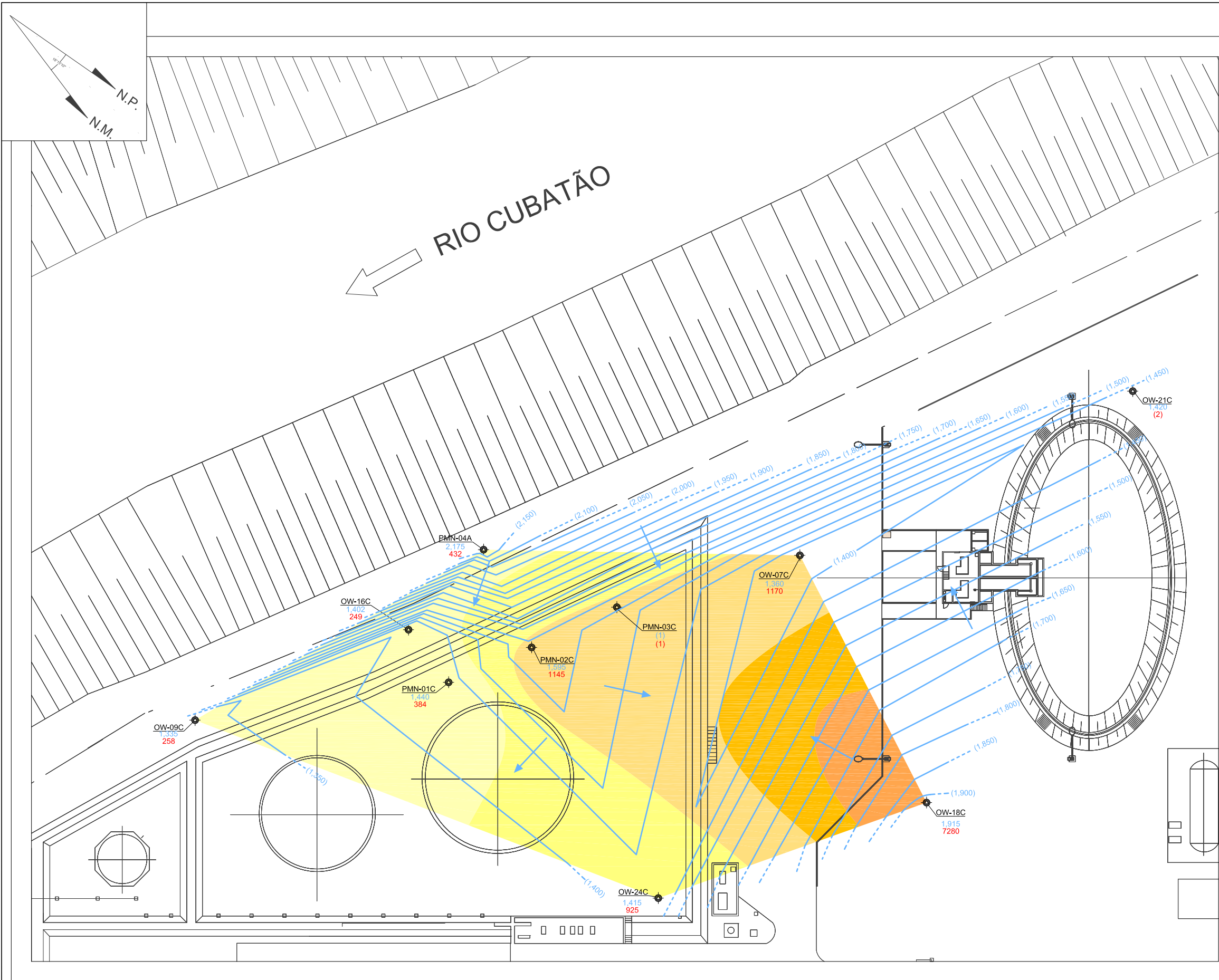
- OW-16A Bateria de poços de observação multinível
1,265 Carga hidráulica (m)
779 Condutividade elétrica (μS/cm)
- PMN-04B Bateria de poços de monitoramento multinível
- Tanque de combustível aéreo
- Lagoa de incêndio

Hidrogeologia	
---	Linhas equipotenciais inferidas
---	Linhas equipotenciais definidas
---	Sentido do fluxo subterrâneo
Gradiente da condutividade elétrica (μS/cm)	
	< 500
	500 - 1000
	1001 - 2000
	2001 - 4000
	> 4000
Escala	
0	10 20(m)



Mapa 12 - Potenciometria da porção superior do aquífero confinado e gradiente de condutividade elétrica da água subterrânea (12/10/2013 - 09:00:00 às 11:33:00 horas - Módulo 03 desligado)

- DW-02 Poço de monitoramento profundo
3,160 Carga hidráulica (m)
185 Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
- Tanque de combustível aéreo
- Lagoa de incêndio



Mapa 13 - Potenciometria da porção superior do aquífero livre e gradiente de condutividade elétrica da água subterrânea (12/10/2013 - 12:32:00 às 15:30:00 horas - Módulo 03 ligado)

- OW-07C 1,360 1170 Bateria de poços de observação multinível
- Carga hidráulica (m)
- Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
- Bateria de poços de monitoramento multinível
- PMN-01C Tanque de combustível aéreo
- Lagoa de incêndio

Hidrogeologia

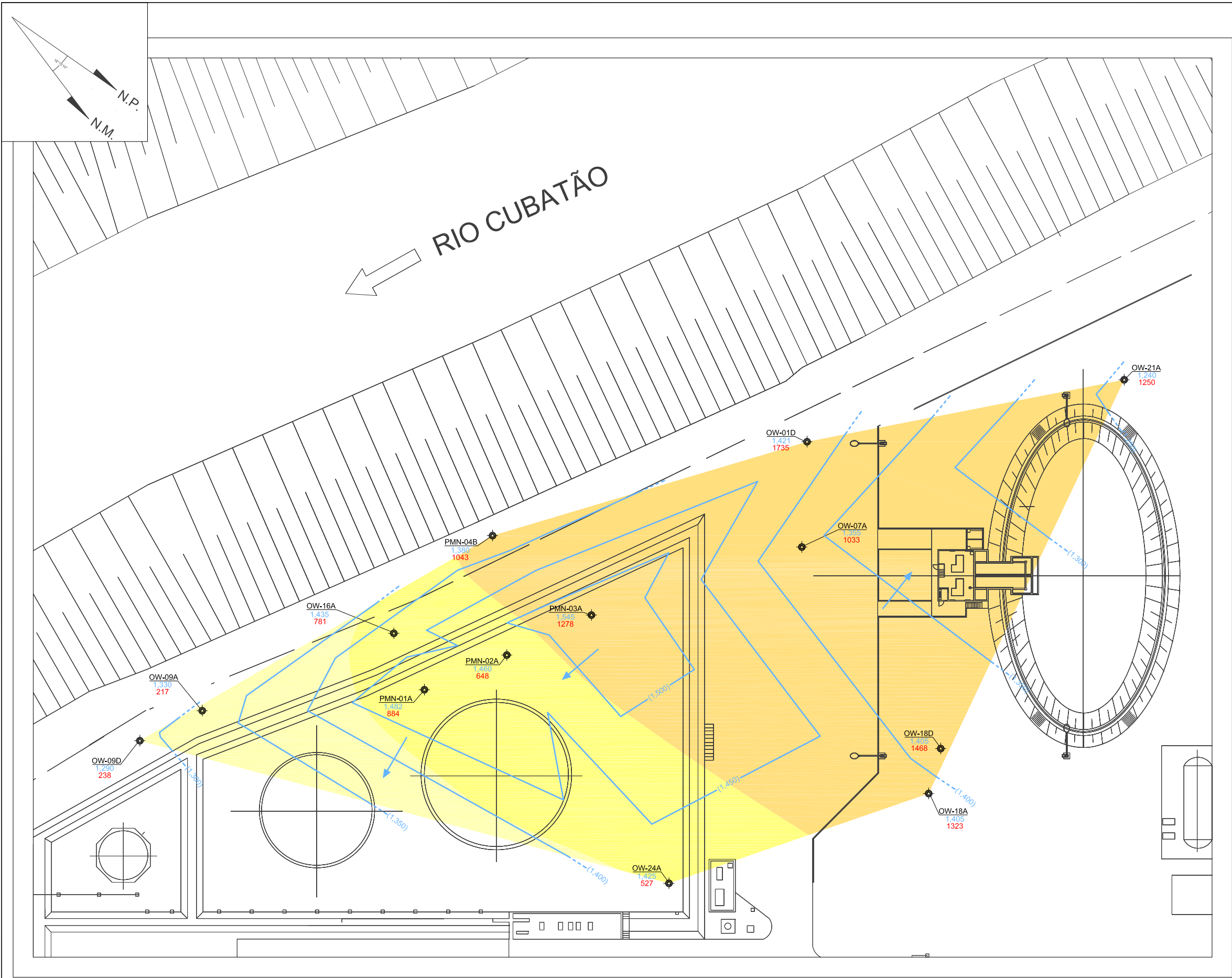
- Linhas equipotenciais inferidas
- Linhas equipotenciais definidas
- Sentido do fluxo subterrâneo
- (1) Nível d'água subterrâneo abaixo do nível da base da seção filtrante do poço

Gradiente da condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

- < 500
- 500 - 1000
- 1001 - 2000
- 2001 - 4000
- > 4000
- (1) Nível d'água subterrâneo abaixo do nível da base da seção filtrante do poço
- (2) Obstrução à 0,50 metros

Escala

0 10 20(m)



Mapa 15 - Potenciometria da porção inferior do aquífero livre e gradiente de condutividade elétrica da água subterrânea (12/10/2013 - 12:32:00 às 15:30:00 horas - Módulo 03 ligado)

- OW-16A Bateria de poços de observação multinível
1,435 Carga hidráulica (m)
781 Condutividade elétrica (μS/cm)
- PMN-04B Bateria de poços de monitoramento multinível
- Tanque de combustível aéreo
- Lagoa de incêndio

Hidrogeologia

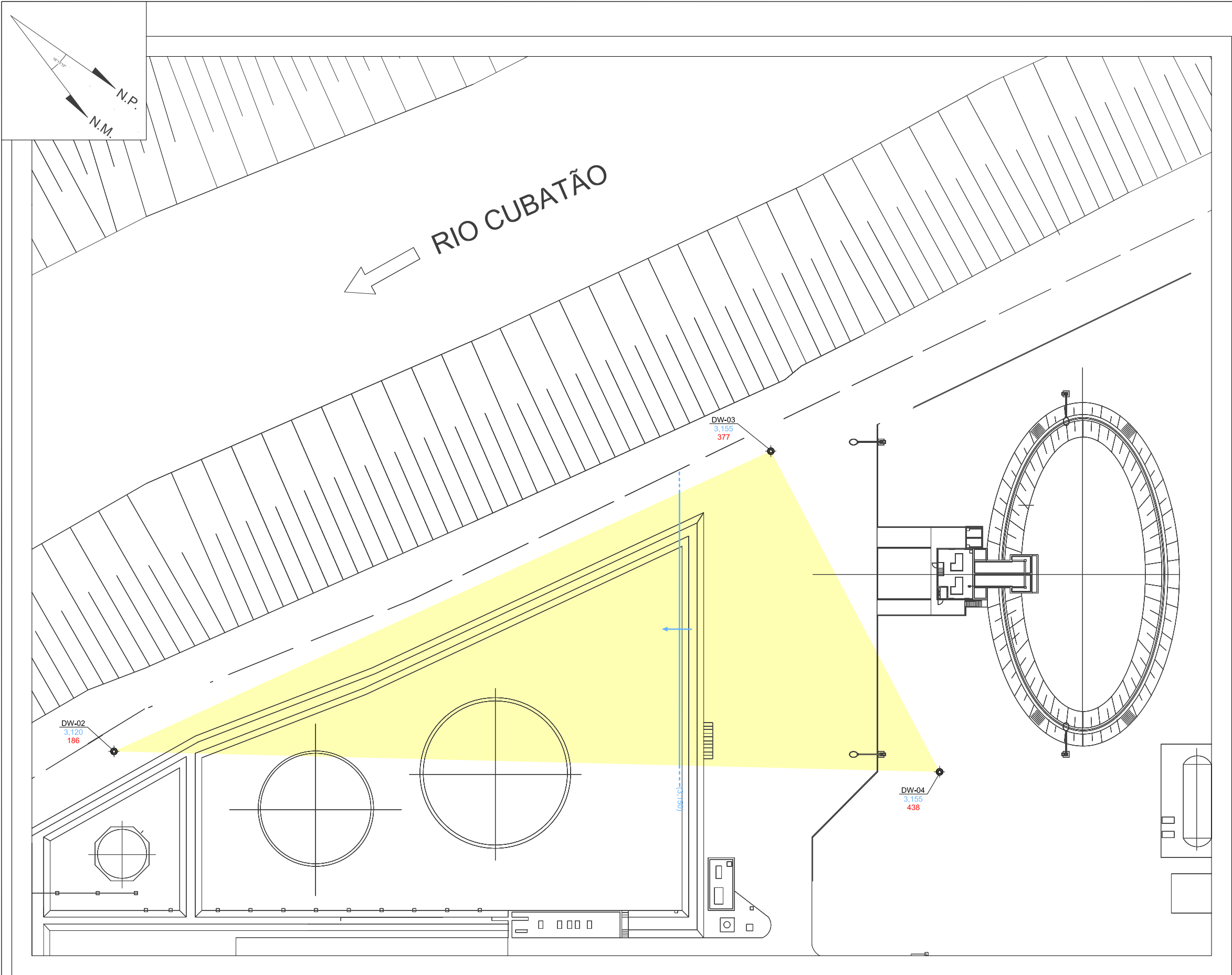
- Linhas equipotenciais inferidas
- Linhas equipotenciais definidas
- Sentido do fluxo subterrâneo

Gradiente da condutividade elétrica (μS/cm)

< 500
500 - 1000
1001 - 2000
2001 - 4000
> 4000

Escala

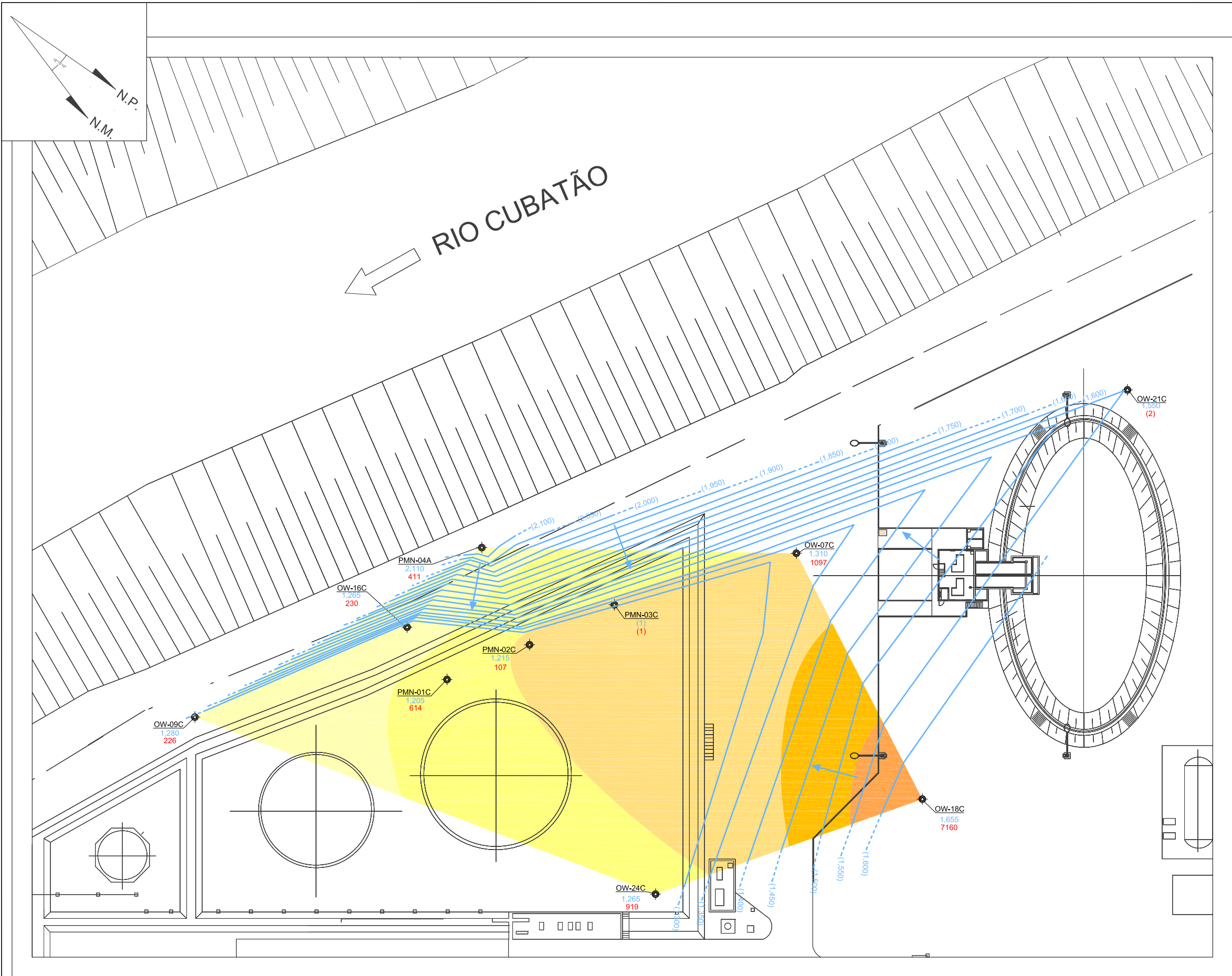
0 10 20(m)



Mapa 16 - Potenciometria da porção superior do aquífero confinado e gradiente de condutividade elétrica da água subterrânea (12/10/2013 - 12:32:00 às 15:30:00 horas - Módulo 03 ligado)

- DW-02 Poço de monitoramento profundo
- 3,120 Carga hidráulica (m)
- 186 Condutividade elétrica (µS/cm)
- Tanque de combustível aéreo
- Lagoa de incêndio

Hidrogeologia	
---	Linhas equipotenciais inferidas
---	Linhas equipotenciais definidas
→	Sentido do fluxo subterrâneo
Gradiente da condutividade elétrica (µS/cm)	
< 500	
500 - 1000	
1001 - 2000	
2001 - 4000	
> 4000	
Escala	
0	10 20(m)



Mapa 17 - Potenciometria da porção superior do aquífero livre e gradiente de condutividade elétrica da água subterrânea (13/10/2013 - 08:47:00 às 11:01:00 horas - Módulo 03 desligado)

- OW-07C: Bateria de poços de observação multinível
1,310: Carga hidráulica (m)
1097: Condutividade elétrica (μS/cm)
- PMN-01C: Bateria de poços de monitoramento multinível
- Tanque de combustível aéreo
- Lagoa de incêndio

Hidrogeologia

- Linhas equipotenciais inferidas
- Linhas equipotenciais definidas
- Sentido do fluxo subterrâneo
- (1) Nível d'água subterrâneo abaixo do nível da base da seção filtrante do poço

Gradiente da condutividade elétrica (μS/cm)

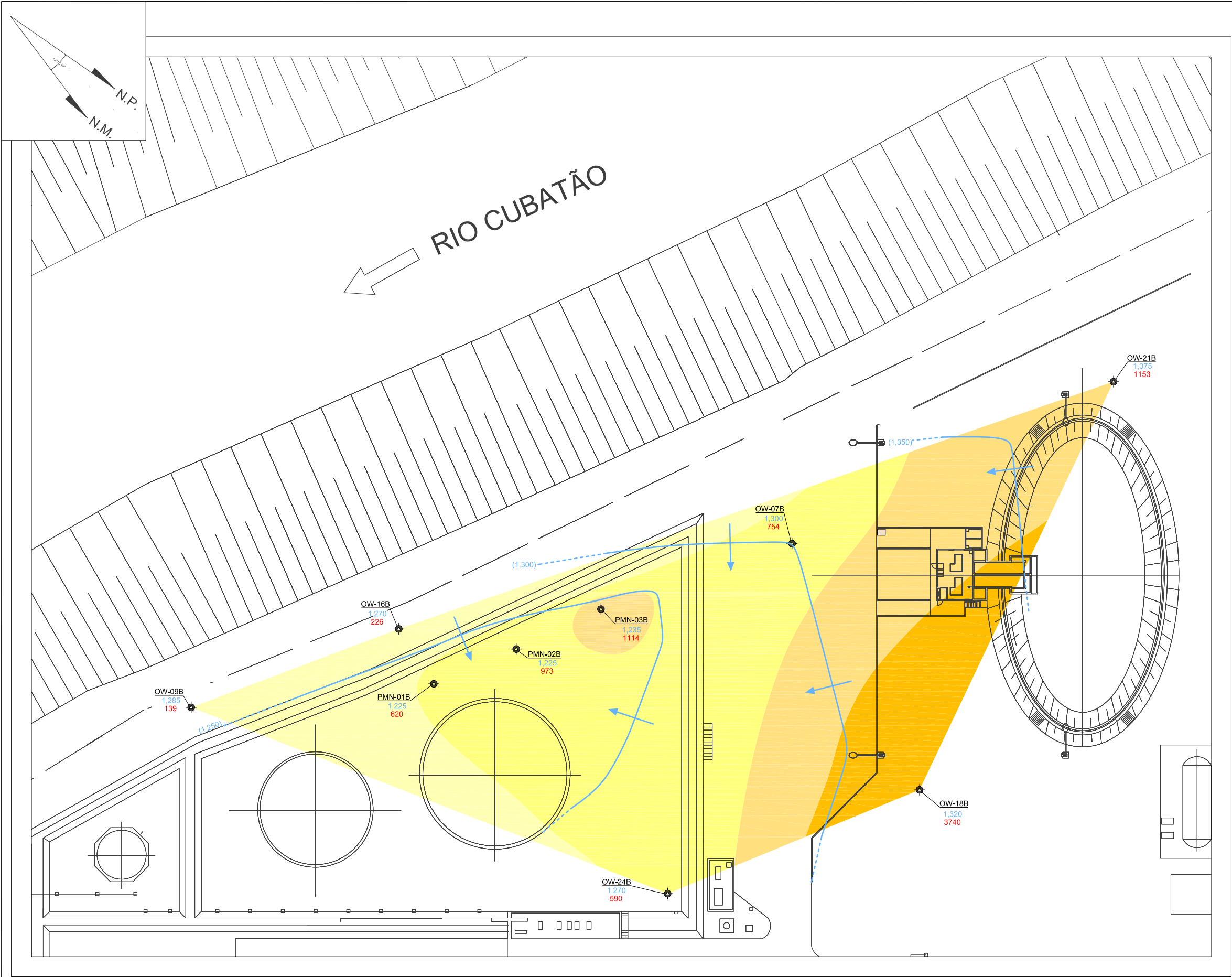
- < 500
- 500 - 1000
- 1001 - 2000
- 2001 - 4000
- > 4000

(1) Nível d'água subterrâneo abaixo do nível da base da seção filtrante do poço

(2) Obstrução à 0,50 metros

Escala

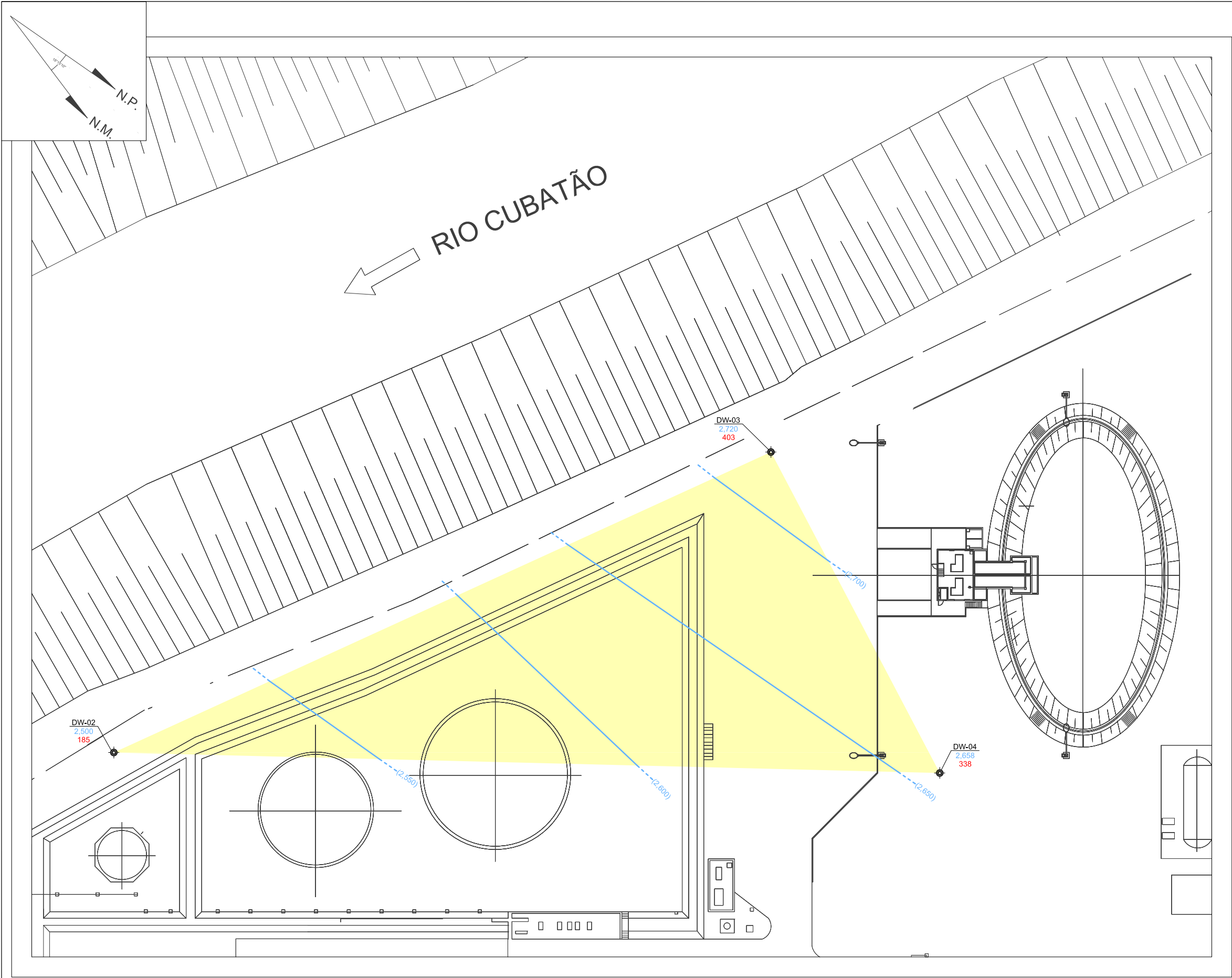
0 10 20(m)



Mapa 18 - Potenciometria da porção intermediária do aquífero livre e gradiente de condutividade elétrica da água subterrânea (13/10/2013 - 08:47:00 às 11:01:00 horas - Módulo 03 desligado)

- OW-16B 1,270 226
Bateria de poços de observação multinível
Carga hidráulica (m)
Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
- PMN-01B
Bateria de poços de monitoramento multinível
- Tanque de combustível aéreo
- Lagoa de incêndio

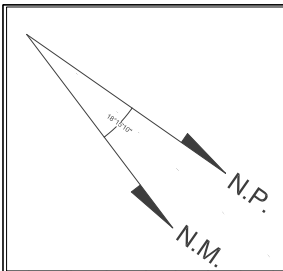
Hidrogeologia	
---	Linhas equipotenciais inferidas
---	Linhas equipotenciais definidas
---	Sentido do fluxo subterrâneo
Gradiente da condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	
	< 500
	500 - 1000
	1001 - 2000
	2001 - 4000
	> 4000
Escala	
0	10 20(m)



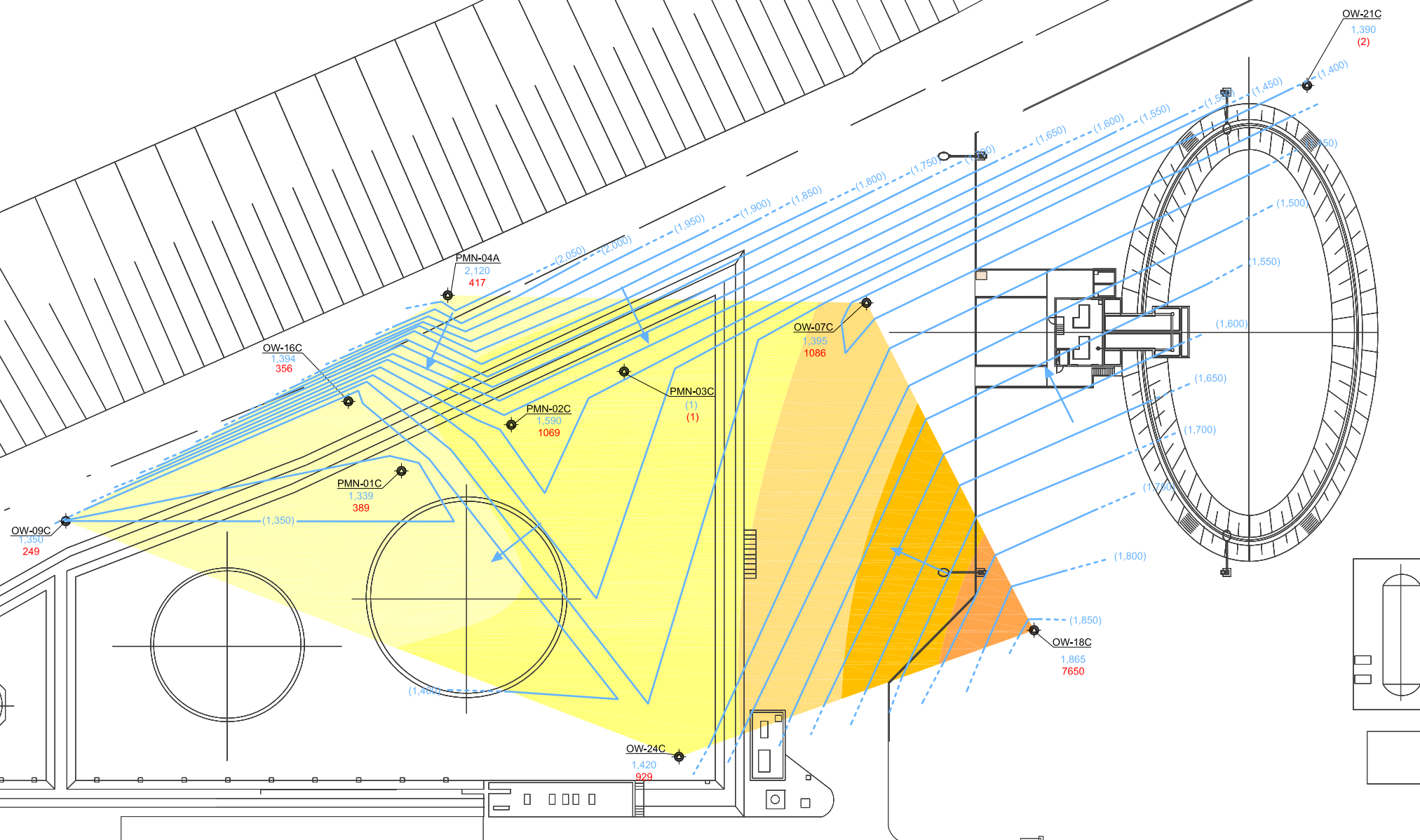
Mapa 20 - Potenciometria da porção superior do aquífero confinado e gradiente de condutividade elétrica da água subterrânea (13/10/2013 - 08:47:00 às 11:01:00 horas - Módulo 03 desligado)

- DW-02 Poço de monitoramento profundo
- 2,500 Carga hidráulica (m)
- 185 Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
- Tanque de combustível aéreo
- Lagoa de incêndio

Hidrogeologia	
---	Linhas equipotenciais inferidas
---	Linhas equipotenciais definidas
→	Sentido do fluxo subterrâneo
Gradiente da condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	
	< 500
	500 - 1000
	1001 - 2000
	2001 - 4000
	> 4000
Escala	
0	10 20(m)



RIO CUBATÃO



Mapa 21 - Potenciometria da porção superior do aquífero livre e gradiente de condutividade elétrica da água subterrânea (13/10/2013 - 11:20:00 às 13:48:00 horas - Módulo 03 ligado)

- OW-07C Bateria de poços de observação multinível
1,395 Carga hidráulica (m)
1086 Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
- PMN-01C Bateria de poços de monitoramento multinível
- Tanque de combustível aéreo
- Lagoa de incêndio

Hidrogeologia

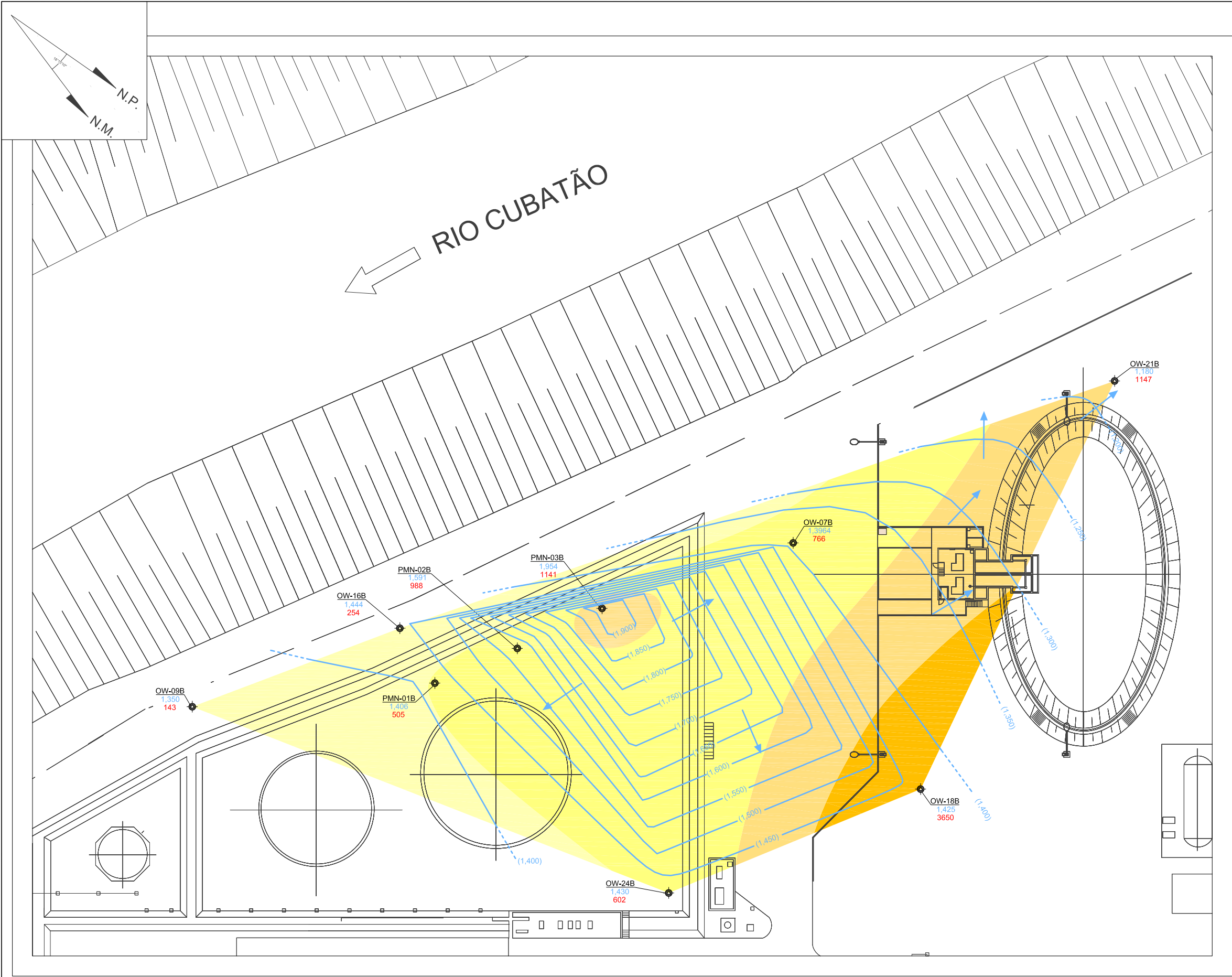
- Linhas equipotenciais inferidas
- Linhas equipotenciais definidas
- Sentido do fluxo subterrâneo
- (1) Nível d'água subterrâneo abaixo do nível da base da seção filtrante do poço

Gradiente da condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

- < 500
- 500 - 1000
- 1001 - 2000
- 2001 - 4000
- > 4000
- (1) Nível d'água subterrâneo abaixo do nível da base da seção filtrante do poço
- (2) Obstrução à 0,50 metros

Escala

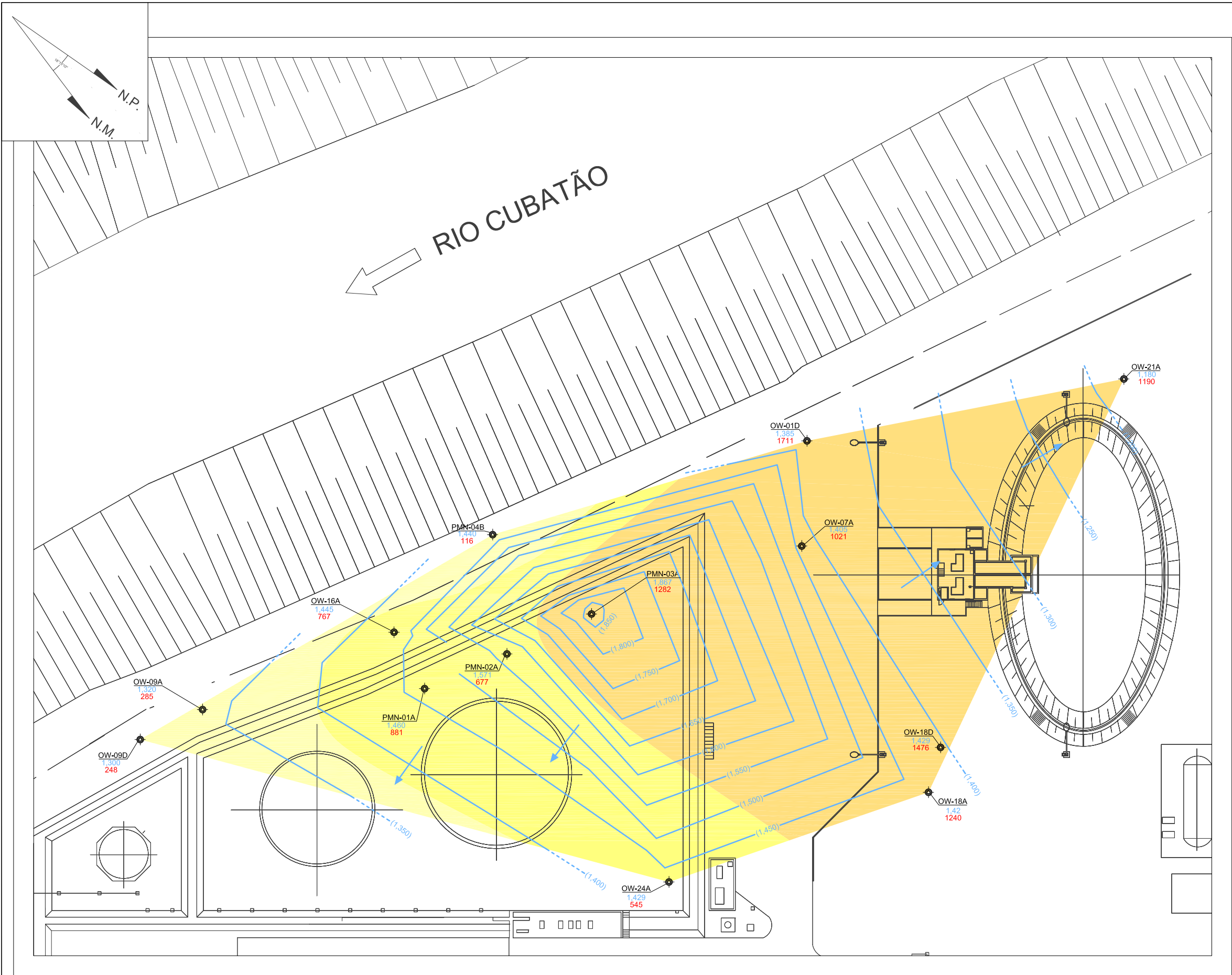
0 10 20(m)



Mapa 22 - Potenciometria da porção intermediária do aquífero livre e gradiente de condutividade elétrica da água subterrânea (13/10/2013 - 11:20:00 às 13:48:00 horas - Módulo 03 ligado)

- OW-16B 1,444 254 Bateria de poços de observação multinível
Carga hidráulica (m)
Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
- PMN-01B Bateria de poços de monitoramento multinível
- Tanque de combustível aéreo
- Lagoa de incêndio

Hidrogeologia	
---	Linhas equipotenciais inferidas
---	Linhas equipotenciais definidas
---	Sentido do fluxo subterrâneo
Gradiente da condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	
	< 500
	500 - 1000
	1001 - 2000
	2001 - 4000
	> 4000
Escala	
0	10 20(m)



Mapa 23 - Potenciometria da porção inferior do aquífero livre e gradiente de condutividade elétrica da água subterrânea (13/10/2013 - 11:20:00 às 13:48:00 horas - Módulo 03 ligado)

- OW-16A Bateria de poços de observação multinível
1,445 Carga hidráulica (m)
767 Condutividade elétrica ($\mu\text{S/cm}$)
- PMN-04B Bateria de poços de monitoramento multinível
- Tanque de combustível aéreo
- Lagoa de incêndio

Hidrogeologia

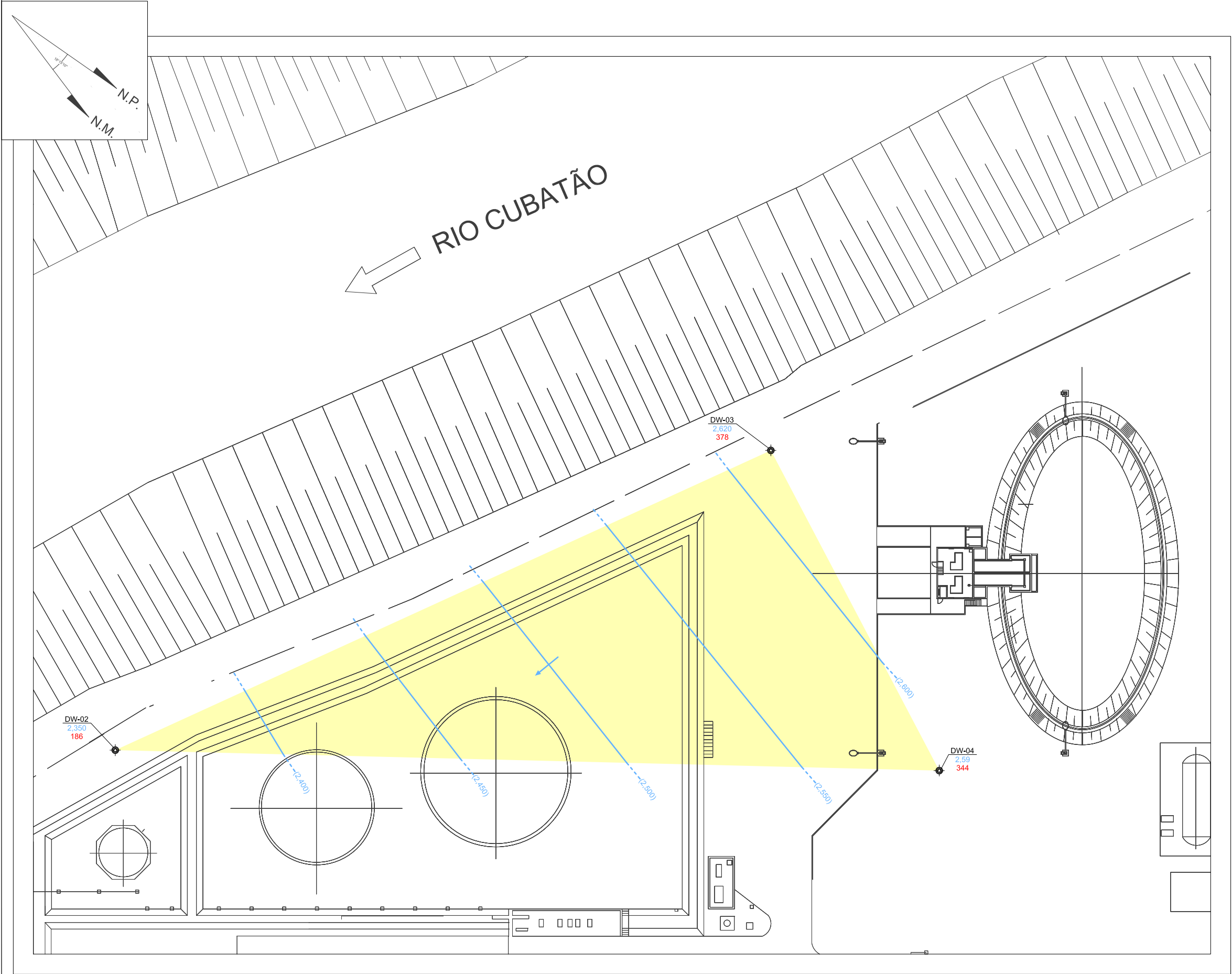
- Linhas equipotenciais inferidas
- Linhas equipotenciais definidas
- Sentido do fluxo subterrâneo

Gradiente da condutividade elétrica ($\mu\text{S/cm}$)

< 500
500 - 1000
1001 - 2000
2001 - 4000
> 4000

Escala

0 10 20(m)



Mapa 24 - Potenciometria da porção superior do aquífero confinado e gradiente de condutividade elétrica da água subterrânea (13/10/2013 - 11:20:00 às 13:48:00 horas - Módulo 03 ligado)

- DW-02 Poço de monitoramento profundo
- 2,350 Carga hidráulica (m)
- 186 Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
- Tanque de combustível aéreo
- Lagoa de incêndio

Hidrogeologia

- Linhas equipotenciais inferidas
- Linhas equipotenciais definidas
- Sentido do fluxo subterrâneo

Gradiente da condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

< 500
500 - 1000
1001 - 2000
2001 - 4000
> 4000

Escala

0	10	20(m)
---	----	-------

