

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Execução de ensaios hidráulicos para determinação da
condutividade hidráulica em poços de monitoramento
instalados no Aquífero São Paulo, Guarulhos (SP)

Carolina Germana de Sousa Soares D'Oswaldo

Orientadora: Profa. Dra. Alexandra Vieira Suhogusoff

Coorientadora: Claudia Varnier

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-17/09)

SÃO PAULO

2017

Agradecimentos

Gostaria de agradecer as grandes duas orientadoras, Claudia Varnier e Alexandra Suhogusoff que estiverem comigo ao longo de toda a jornada do Trabalho de Formatura, com todas as dificuldades. Agradeço muito pela dedicação, atenção, ensinamentos técnicos e tempo gasto com leitura de fins de semana e longas reuniões.

Agradeço ao pessoal da Geologia, que sofremos juntos, mas não desistimos!

Agradeço excepcionalmente à toda a minha família, que merecem ser extremamente valorizados, apoiando sempre, principalmente naqueles momentos em que mais precisamos, inclusive para ir aos trabalhos de campo, durante feriados e fins de semana! Sem eles este trabalho não teria ser tornado possível. E ao Rafael, que me incentivou e que não só compreendeu, mas também participou das angústias durante todo o trabalho, muito obrigada!

RESUMO

A condutividade hidráulica representa um dos parâmetros hidráulicos de grande importância para o conhecimento hidrogeológico de uma área, pois auxilia no entendimento do fluxo de água subterrânea, e consequentemente influencia no deslocamento de plumas de contaminação, sendo essencial para estudos ambientais de área contaminadas. Este Trabalho de Formatura tem como objetivo a caracterização aquífera de uma antiga área industrial no município de Guarulhos (SP). A caracterização dos sedimentos que compõe o Aquífero São Paulo, presentes na área de estudo, foi realizada a partir da determinação da condutividade hidráulica, através da execução de *slug* e *bail tests* em 07 poços de monitoramento. Anterior à execução dos ensaios foi realizado o desenvolvimento dos poços de monitoramento, com o intuito de se obter a melhor representatividade dos resultados. Os *slug* e *bail tests* foram realizados sobretudo, utilizando tarugos e medidor de nível para monitoramento do deslocamento do nível d'água. Os resultados obtidos em campo foram interpretados segundo os Métodos de Hvorslev e Bouwer e Rice. Para verificar a adequação dos métodos de interpretação utilizados e a confiabilidade dos resultados, foram feitos comparativos entre os valores de condutividade hidráulica obtidos, segundo os tipos de ensaio, os métodos aplicados e a correlação com as unidades hidrogeológicas locais determinadas para a área de estudo (aquíferos livre e confinado). Além disso, foi feita a relação entre o deslocamento teórico e àquele obtido em campo. A partir das análises realizadas, o Método de Bouwer e Rice foi considerado uma boa alternativa para o cálculo da condutividade hidráulica, devido a esse considerar os efeitos de pré-filtro e ser aplicado tanto para aquíferos livres e quanto para aquíferos confinados. Os resultados obtidos nas unidades hidrogeológicas inseridas na área de estudo segundo a solução de Bouwer e Rice indicaram valores de condutividade hidráulica com ordens de grandeza variando de 10^{-4} cm/s para porções arenosas e 10^{-7} cm/s para porções mais argilosas.

Palavras Chave: Condutividade Hidráulica; *slug* e *bail tests*; Métodos de Hvorslev e Bouwer e Rice; Aquífero São Paulo; Guarulhos.

ABSTRACT

The hydraulic conductivity represents one the most important hydraulic parameters for the hydrogeological knowledge, as it aids in the understanding of the groundwater flow, therefore influences on the movement of a contamination plume, which is essential for environmental studies of contaminated sites. The purpose of this graduation study is the aquifer characterization of an old industrial area located in Guarulhos (SP). The characterization of the São Paulo Aquifer sediments, present in the study area, was accomplished by the determination of the hydraulic conductivity through performance of slug and bail tests in 07 observation wells. These wells were developed prior to the performance of the tests, with the goal of obtaining the most representative results. Slug and bail tests were conducted mainly by a solid cylinder and a water level meter, to monitor the displacement of the water level. The results obtained during field trips were analyzed based on the Hvorslev and Bouwer and Rice methods. In order to verify which method of interpretation is more accurate and if the results are reliable, comparisons were made between the values of hydraulic conductivity obtained, according to the test types, the methods applied and correlation with the hydrogeological units, determined for the study area (unconfined and confined aquifers). Furthermore, comparisons between the teorical displacement and the displacement obtained during tests were made. From the analyses carried out, the Bouwer and Rice method was considered a good alternative for calculating hydraulic conductivity due to this consideration of the gravel pack effects and being applied for both unconfined and confined aquifers. The results obtained for the hydrogeological units presented in the study area, according to the solution of Bouwer and Rice, indicated values of hydraulic conductivity with orders of magnitude ranging from 10^{-4} cm/s in portions that sand prevail and 10^{-7} cm/s for strata with major proportion of fine materials (p e. clays).

Key words: Hydraulic Conductivity, slug and bail tests, Hvorslev and Bouwer & Rice Methods; São Paulo Aquifer; Guarulhos.

SUMÁRIO

1	Introdução.....	11
1.1	Justificativas	11
2	Objetivos.....	13
3	Área de estudo	13
3.1	Localização da Área de Estudo.....	13
3.2	Geologia Regional.....	15
3.2.1	Contextos Tectônico e Estrutural	18
3.3	Aspectos Hidrológicos e Hidrogeológicos	18
4	Revisão Bibliográfica	21
4.1	Condutividade Hidráulica (K).....	21
4.1.1	Slug e Bail Tests	21
4.2	Métodos de Análise e Interpretação de <i>Slug</i> e <i>Bail Tests</i>	23
4.2.1	Método de Hvorslev	26
4.2.2	Método de Bouwer e Rice	29
5	Materiais e Métodos	35
5.1	Visita de Reconhecimento à Área de Estudo	35
5.2	Seleção de Poços para Realização dos Ensaios Hidráulicos	35
5.3	Avaliação dos Aspectos Construtivos dos Poços de Monitoramento	38
5.4	Desenvolvimento dos Poços de Monitoramento	40
5.5	Execução de <i>slug</i> e <i>bail tests</i>	42
5.6	Interpretação dos resultados e cálculo da condutividade hidráulica	45
6	Resultados e Discussão	49
6.1	Geologia da Área de Estudo	49
6.2	Hidrogeologia Local.....	53
6.3	Condutividade Hidráulica (K).....	54
6.3.1	Comparação entre os deslocamentos teórico ($\Delta H_{\text{teórico}}$) e de campo (ΔH_{campo})	54
6.3.2	Comparação entre os Valores de Condutividade Hidráulica e os Tipos de Ensaio (Slug e Bail Tests).....	59

6.3.3	Comparação entre os Valores de Condutividade Hidráulica (K) e os Métodos de Interpretação.....	64
6.3.4	Correlação entre a Condutividade Hidráulica e Unidades Hidrogeológicas	67
6.3.5	Discussão dos Resultados.....	68
7	Conclusões	70
8	Referências Bibliográficas	72
9	Anexos.....	76

Índice de Ilustrações

Figura 1. Mapa de Localização da Área de Estudo (Fonte: Imagem de Satélite disponibilizada pela Esri World Imagery Map. Acesso em 03 de agosto de 2017).....	14
Figura 2. Mapa geológico da área de estudo (Bacia São Paulo), onde predominam os sedimentos da Formação Resende (Orl) e os Depósitos Sedimentares Aluviais (Qa) (Fonte: Adaptado de Hirata e Nunes da Silva,1999).	17
Figura 3. Mapa hidrogeológico da área de estudo (Fonte: Adaptado de Hirata e Nunes da Silva,1999).....	20
Figura 4. Ilustração da execução de <i>slug</i> e <i>bail tests</i> no poço de monitoramento (Traduzido de Maliva, 2016).	22
Figura 6. Geometria dos poços de monitoramento utilizados no método de Hvorslev, com ênfase nas diferenças de geometria do poço para materiais com alta condutividade hidráulica, à esquerda, e baixa condutividade hidráulica, à direita (Fonte: Traduzido de Fetter, 2001). 27	
Figura 9. Valores adimensionais A, B e C, plotados em função de L/R (Fonte: Adaptado de Bouwer e Rice, 1976).	31
Figura 11. Gráfico da variação de carga hidráulica normalizada <i>versus</i> tempo para poços de monitoramento afogados (Fonte: Traduzido de Bouwer, 1989).	34
Figura 12. Mapa de localização dos poços de monitoramento selecionados para a execução dos <i>slug</i> e <i>bail tests</i>	37
Figura 13. Perfis litológicos e construtivos dos poços de monitoramento selecionados para execução dos <i>slug</i> e <i>bail tests</i>	39
Figura 14. Exemplo de válvula de pé de $\frac{3}{4}$ " utilizada para o desenvolvimento dos poços da área de estudo.....	41
Figura 15. Equipamentos utilizados para o desenvolvimento dos poços.	41
Figura 16. Destaque para ajuste de equipamentos na mangueira.	41
Figura 17. Desenvolvimento dos poços de monitoramento.....	41
Figura 18. Destaque para a coloração da água removida dos poços de monitoramento.	41
Figura 19. Recipientes de descarte da água removida dos poços.	41
Figura 20. Inserção da mangueira com os equipamentos.....	42
Figura 21. Descontaminação dos equipamentos utilizados.	42
Figura 22. Poço PMP-210 em que foram realizados os ensaios hidráulicos.	43
Figura 23. Medição de nível estático e profundidade do poço de monitoramento anteriormente à execução dos ensaios.	43

Figura 24. Monitoramento do nível d'água durante o ensaio hidráulico.....	44
Figura 25. Inserção do tarugo para início do <i>slug test</i>	44
Figura 26. Descontaminação do tarugo com água destilada e deionizada.	44
Figura 27. Descarte dos materiais não reutilizáveis.	44
Figura 28. Sequência dos guias para a inserção dos dados no programa Aquifer Test.	46
Figura 29. Interface de entrada do programa <i>AquiferTest</i> , com opção para a inserção dos dados construtivos dos poços de monitoramento e do aquífero analisado.	46
Figura 30. Inserção dos dados registrados durante a realização dos <i>slug</i> e <i>bail tests</i>	47
Figura 31. Seleção da solução analítica para interpretação dos dados e cálculo da condutividade hidráulica a partir do programa <i>AquiferTest</i>	48
Figura 32. Seções Litoestratigráficas na Área de Estudo.....	51
Figura 33. Representação das seções litoestratigráficas a partir do diagrama de cerca.	52
Figura 34. Relação entre os deslocamentos teórico e de campo para os poços de monitoramento.....	56
Figura 35. Histograma dos valores de condutividade hidráulica obtidos a partir do método de Hvorslev durante as etapas de <i>slug</i> e <i>bail tests</i>	62
Figura 36. Histograma dos valores de condutividade Hidráulica obtidos a partir do método de Bouwer e Rice durante as etapas de <i>slug</i> e <i>bail tests</i>	63
Figura 37. Gráfico <i>semi-log</i> da carga normalizada <i>versus</i> tempo do poço PMI-14.....	66

Índice de Tabelas

Tabela 1. Relação dos poços de monitoramento, selecionados para a execução dos slug e bail tests na área de estudo.....	36
Tabela 2. Dados construtivos dos poços de monitorados previamente selecionados na área de estudo.	38
Tabela 3. Apresentação dos dados utilizados para o cálculo do deslocamento teórico dos poços apresentados na área de estudo.	45
Tabela 4. Tabela comparativa entre os valores de deslocamento teórico e de campo calculados para os poços de monitoramento.	54
Tabela 5. Tabela de deslocamentos teórico e de campo referentes ao segundo ensaio realizado no PM-206.....	59
Tabela 6. Tabela comparativa entre os deslocamentos teóricos e de campo nas etapas de slug e bail tests.	60
Tabela 7. Valores de condutividade hidráulica dos poços de monitoramento calculados segundo o método de Hvorslev para slug e bail tests.	61
Tabela 8. Valores de condutividade hidráulica dos poços de monitoramento calculados segundo o método de Bouwer e Rice para slug e bail tests.....	61
Tabela 9. Valores de condutividade hidráulica calculados conforme o tipo de ensaio e o método de interpretação.....	65

1 INTRODUÇÃO

A condutividade hidráulica (K) é um parâmetro de grande importância em estudos hidrogeológicos pois auxilia no entendimento do fluxo de água subterrânea e, consequentemente, do transporte de contaminantes quando presentes no aquífero.

Em investigação de áreas contaminadas, por exemplo, é indispensável possuir dados exatos e precisos de condutividade hidráulica uma vez que este parâmetro permitirá o cálculo da velocidade de fluxo de água subterrânea, bem como as taxas de transporte de contaminantes. Os valores de condutividade hidráulica e sua variação espacial também auxiliam na análise do impacto ambiental na área e nos sistemas de remediação a serem implantados (Pede, 2004). A Decisão da Diretoria CETESB nº 038/2017/C (CETESB, 2017) estabelece que nos estudos de Investigação Confirmatória e Detalhada sejam apresentadas tabelas que contenham dados relativos aos poços de monitoramento, dos quais destacam-se os dados de condutividade hidráulica. Ainda segundo este documento, o Relatório de Investigação Detalhada, particularmente, deverá conter, dentre outras informações, um texto explicativo sobre os dados hidrogeológicos obtidos para todos os materiais identificados (porosidades total e efetiva, condutividade hidráulica), destacando as unidades hidroestratigráficas de importância para o transporte e a retenção dos contaminantes.

Existem diferentes métodos para o cálculo da condutividade hidráulica, sendo os mais amplamente utilizados os ensaios de campo, dos quais destacam-se os testes de bombeamento e os *slug* e *bail tests*.

Os *slug* e *bail tests*, também conhecidos na literatura internacional como *falling head* e *rising head tests* (Butler, 1997; Black, 2010) ou mesmo *slug-in* e *slug-out tests* (Maliva, 2016), compreendem a técnica de campo mais largamente utilizada para a determinação de K do aquífero, executada em poços de monitoramento de pequeno diâmetro dada à sua simplicidade e baixos custos envolvidos. Essa técnica tem sido utilizada nas últimas décadas como ferramenta de estudo para a caracterização de aquíferos, sendo discutida em diversas publicações científicas internacionais e nacionais (Chirlin, 1989; Butler, 1996; Butler *et al.*, 1996; Butler, 1997; Fetter, 2001; Berrocal, 2002; Pede, 2004; Todd, 2005; Black, 2010; Chen *et al.*, 2012; Espósito *et al.*, 2012; Ferraz *et al.*, 2015; Maliva, 2016).

Neste Trabalho de Formatura, a condutividade hidráulica será determinada mediante a execução dos ensaios hidráulicos supracitados, em poços de monitoramento situados em uma antiga área industrial no município de Guarulhos (SP).

1.1 Justificativas

O local selecionado para a realização deste Trabalho de Formatura situa-se no município de Guarulhos que, por sua vez, faz parte da Região Metropolitana de São Paulo

(RMSP). O local insere-se na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (BAT), denominada como Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Alto Tietê (UGRHI-6).

A BAT é a região economicamente mais desenvolvida do Brasil e a água subterrânea constitui-se em um importante recurso complementar para o abastecimento de água da população. Sendo a região mais desenvolvida e densamente urbanizada do país, é vulnerável à contaminação em função das atividades antrópicas potencialmente poluidoras.

As principais fontes de poluição na Bacia do Alto Tietê compreendem os postos de combustíveis, lixões e aterros de resíduos sólidos, vazamentos das redes de esgoto e os efluentes industriais (FABHAT, 2015).

Diante deste cenário, é necessário conhecer as propriedades hidráulicas dos aquíferos que embasarão estudos sobre a disponibilidade e qualidade da água subterrânea. Neste sentido, destaca-se a importância em determinar a condutividade hidráulica.

A condutividade hidráulica representa um dos parâmetros hidráulicos mais importantes para a análise e conhecimento hidrogeológico da área, devido à sua influência direta no fluxo de água subterrânea, além de indicar a facilidade que um aquífero apresenta em transmitir água (Heath, 1983).

A área de estudo encontra-se inserida no Aquífero São Paulo (Campos *et al.*, 2002). Por se tratar de um aquífero predominantemente livre, essa unidade hidrogeológica apresenta alta vulnerabilidade à contaminação e, portanto, passível de ser contaminado por quase todos os tipos de contaminantes, inclusive microrganismos patogênicos, o que pode vir a afetar significativamente a vida de centenas de pessoas que vivem na área (FABHAT, 2015).

Nestas condições, os métodos de análises aplicados neste Trabalho de Formatura, estão adaptados para o cálculo de condutividade hidráulica para o contexto de aquífero sedimentar livre e confinado. Em situações hidrogeológicas semelhantes, os métodos analíticos apresentados e aplicados ao longo deste trabalho podem ser utilizados como referência para cálculo de condutividade hidráulica.

Os valores de condutividade hidráulica determinados na área de estudo podem, também, ser utilizados como referência pelas empresas de consultoria que queiram estudar a região e suas adjacências. Este parâmetro hidráulico, em associação com as demais informações hidrogeológicas e hidroquímicas, possibilitam a elaboração de um modelo conceitual de circulação da água subterrânea, além de auxiliarem no adequado dimensionamento das plumas de contaminação e seus deslocamentos, quando necessária a implantação de um sistema de remediação (Ferraz *et al.*, 2015).

2 OBJETIVOS

Este Trabalho de Formatura tem como objetivo a determinação da condutividade hidráulica em sedimentos que compõem o Aquífero São Paulo a partir da realização, em campo, de ensaios hidráulicos (*slug* e *bail tests*) nos poços de monitoramento situados em uma área industrial no município de Guarulhos (SP). Diante disso, será efetuada a comparação entre os resultados obtidos e a correlação com a litologia local.

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização da Área de Estudo

A área de estudo localiza-se na área urbana do município de Guarulhos (SP), em uma antiga área industrial que apresenta, em seu entorno, uma ocupação mista entre empreendimentos comerciais, casas e prédios residenciais.

O município de Guarulhos dista 17km do centro da cidade de São Paulo e suas principais vias de acesso são: Rodovia Presidente Dutra (eixo de ligação São Paulo-Rio de Janeiro); e a Rodovia Ayrton Senna, rodovia nacional que apresenta ligação direta entre a capital paulista e o Aeroporto Internacional de Guarulhos.

A Figura 1 apresenta o mapa de localização da área. Salienta-se, no entanto, que foram omitidas as coordenadas geográficas e a indicação dos nomes das vias locais por motivos de confidencialidade.

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO



Legenda

- Área de Estudo
- Área de Interesse (500 m)
- Rodovias
- Estado de São Paulo
- Limite Estadual

Localização da Área de Interesse no Estado de São Paulo



1:6.000

0 90 180 360 Metros

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
SIRGAS 2000 - Fuso 23S

Figura 1. Mapa de Localização da Área de Estudo (Fonte: Imagem de Satélite disponibilizada pela Esri World Imagery Map. Acesso em 03 de agosto de 2017).

3.2 Geologia Regional

O município de Guarulhos é constituído principalmente por depósitos sedimentares da Bacia Sedimentar de São Paulo (Riccomini e Coimbra, 1992), representada pelas seguintes unidades geológicas, da base para o topo: 1) Grupo Taubaté (Paleógeno), composto pelas Formações Resende, Tremembé e São Paulo; 2) Formação Itaquaquetuba (Neógeno); e 3) Coberturas Aluvionares e Coluvionares (Neocenozóicas) que ocupam as planícies dos principais rios da Bacia do Alto Tietê (Tietê, Pinheiros e Tamanduateí). A sedimentação da bacia desenvolveu-se em ambientes de leques aluviais, sistemas fluviais entrelaçados e meandantes e flúvio-lacustres (Riccomini e Coimbra, 1992) (Figura 2).

A Formação Resende é a unidade de maior expressão em área, tanto no município de Guarulhos quanto da própria Bacia de São Paulo (80% de seu preenchimento sedimentar). O litotipos que caracterizam essa formação são conglomerados com matacões e seixos, de forma e composição variadas, diamictitos de matriz lamosa esverdeados mais frequentes na base da sequência, gradacionando para lamitos arenosos e arenitos, de cores esverdeadas e esbranquiçadas. É frequente a presença de seixos de quartzo, quartzito e de fragmentos de rochas gnáissicas do embasamento nos níveis conglomeráticos. Esta sequência pode apresentar até 200m de sedimentos (Riccomini e Coimbra, 1992; Diniz *et al.*, 1994; Takiya, 1997).

A Formação Tremembé é composta por argilitos, folhelhos, margas e calcários dolomíticos. Ocorre de forma restrita em subsuperfície e apresenta espessura de até 60m (Takiya, 1997). A Formação São Paulo, por sua vez, é composta por arenitos, argilitos, siltitos e arenitos conglomeráticos que correspondem ao depósito de canais meandantes, diques marginais e planícies de inundação (Riccomini e Coimbra, 1992).

O Grupo Taubaté descrito acima é recoberto, de forma discordante, pela Formação Itaquaquetuba, constituída por arenitos grossos, arcoseanos, provenientes de sistema fluvial entrelaçado e com espessura variando de 30 a 130m.

Acima dos sedimentos da Formação Itaquaquetuba destacam-se as coberturas coluvionares e aluvionares quaternárias, compostas por linhas de seixos, horizontes argilo-arenosos, conglomerados e areias médias, cujas espessuras variam de 4 a 5m e estão dispostas nas planícies aluviais, associadas aos rios Tietê, Pinheiros, Tamanduateí, Aricanduva e Cabuçu e seus principais tributários (Riccomini e Coimbra, 1992; Takiya, 1997).

O restante da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) corresponde às rochas cristalinas pré-cambrianas da Província Mantiqueira (Almeida *et al.*, 1977, 1981) que circundam os sedimentos da Bacia São Paulo e são representadas pelos Complexos Embu, Costeiro e Varginha-Guaxupé e aos grupos São Roque, Serra do Itaberaba e Votuverava. Essas unidades geológicas apresentam como litologia principal, gnaisses, granitoides foliados

e maciços, xistos, filitos, quartzitos, anfíbolitos e rochas metacarbonáticas (Fernandes *et al.*, 2016).

Na área de estudo em si, observa-se a ocorrência de duas das unidades descritas acima. A primeira delas compreende os depósitos de sistemas de leques aluviais a planície fluvial entrelaçada (Orl), com predominância de lamitos arenosos a argilosos da Formação Resende e a segunda, as coberturas sedimentares areno-argilosas quaternárias (Qa), conforme ilustrado na Figura 2. As coordenadas geográficas apresentadas nesta figura apresentam caráter fictício, por questões de confidencialidade assumidas com o proprietário da área.



Mapa Geológico da Área de Estudo

Município de Guarulhos - SP

Legenda

- Rede de drenagem
- Área de Estudo
- Área de interesse (500m)
- Limites Municipais
- Represas

Unidades geológicas

Litologia

Qa Depósitos sedimentares aluviais, predominantemente areno-argilosos

Formação Resende

Orf Depósitos de sistemas de leques aluviais, com predominância de lamitos seixosos

Orl Depósitos de sistemas de leques aluviais a planície fluvial entrelaçada. Predominância de lamitos arenos a argilosos.

Formação São Paulo

Osp Depósitos de sistema fluvial meandrante, compostos por cascalho, areia e silte-argila.

Embasamento

- PCa Anfibolitos
- PCgo Rochas granitoides predominantemente orientadas ou foliadas
- PCx Micaxistos, com quartzitos e metassiltitos subordinados

Localização Geral



1:30.000

0 0,5 1 2 km

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum SIRGAS 2000

3.2.1 Contextos Tectônico e Estrutural

A Bacia Sedimentar de São Paulo é uma unidade pertencente ao segmento central do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (RCBS), de idade paleógena. A bacia descreve uma estreita faixa, alongada e deprimida de direção ENE, de aproximadamente 900km e localiza-se entre as cidades de Curitiba (PR) e Barra de São João (RJ) (Riccomini e Coimbra, 1992).

Riccomini (1989) classificou a bacia como um *hemi-graben*, basculado para NNW, preenchida por sedimentos continentais terciários em uma área de mais de 100km² com distribuição irregular. A borda norte da Bacia de São Paulo é retilínea e controlada pelas zonas de cisalhamento Taxaquara-Jaguari, enquanto que ao sul os contatos com o embasamento cristalino Pré-Cambriano pertencente ao Grupo São Roque, são irregulares. As falhas pré-cambrianas reativadas no Cenozóico foram as responsáveis pelo embaciamento da Bacia Sedimentar de São Paulo e de Taubaté, e afetaram toda a sequência estratigráfica sedimentar da bacia, refletindo também na espessura dos sedimentos.

Os sedimentos presentes na Bacia Sedimentar de São Paulo possuem litologia variada e encontram-se posicionados nas cotas médias de 520m, no eixo Móoca-Guarulhos, e 833m, no espigão da Avenida Paulista (Riccomini e Coimbra, 1992; Campos *et al.*, 2002). Por sua vez, o *Graben* do Baquirivu-Guaçu, na região de Guarulhos, apresenta espessura máxima de 255m (Diniz, 1996).

3.3 Aspectos Hidrológicos e Hidrogeológicos

Guarulhos é um dos 39 municípios que compõem a Região Metropolitana de São Paulo e apresenta 80,9% de sua área total está inserida na Bacia Hidrográfica do Alto do Tietê (317,85km²) (FABHAT, 2015). Os principais cursos d'água que drenam o município incluem os rios Tietê, Pinheiros, Tamanduateí, Claro, Piratininga, Jundiá, Biritiba-Mirim e Taiaçupeba, em uma área de drenagem de 5.868km² (Fernandes *et al.*, 2016).

Na BAT, definiram-se, de acordo com o contexto geológico local, duas unidades aquíferas: o Sistema Aquífero Cristalino (SAC), caracterizado por rochas cristalinas, metamórficas e ígneas, relativas ao embasamento pré-cambriano da Bacia de São Paulo (aquífero de porosidade secundária); e o Sistema Aquífero Sedimentar (SAS), constituído por rochas sedimentares da Bacia de São Paulo e aluviões superpostos (aquífero de porosidade primária) (Hirata e Ferreira, 2001) (Figura 3).

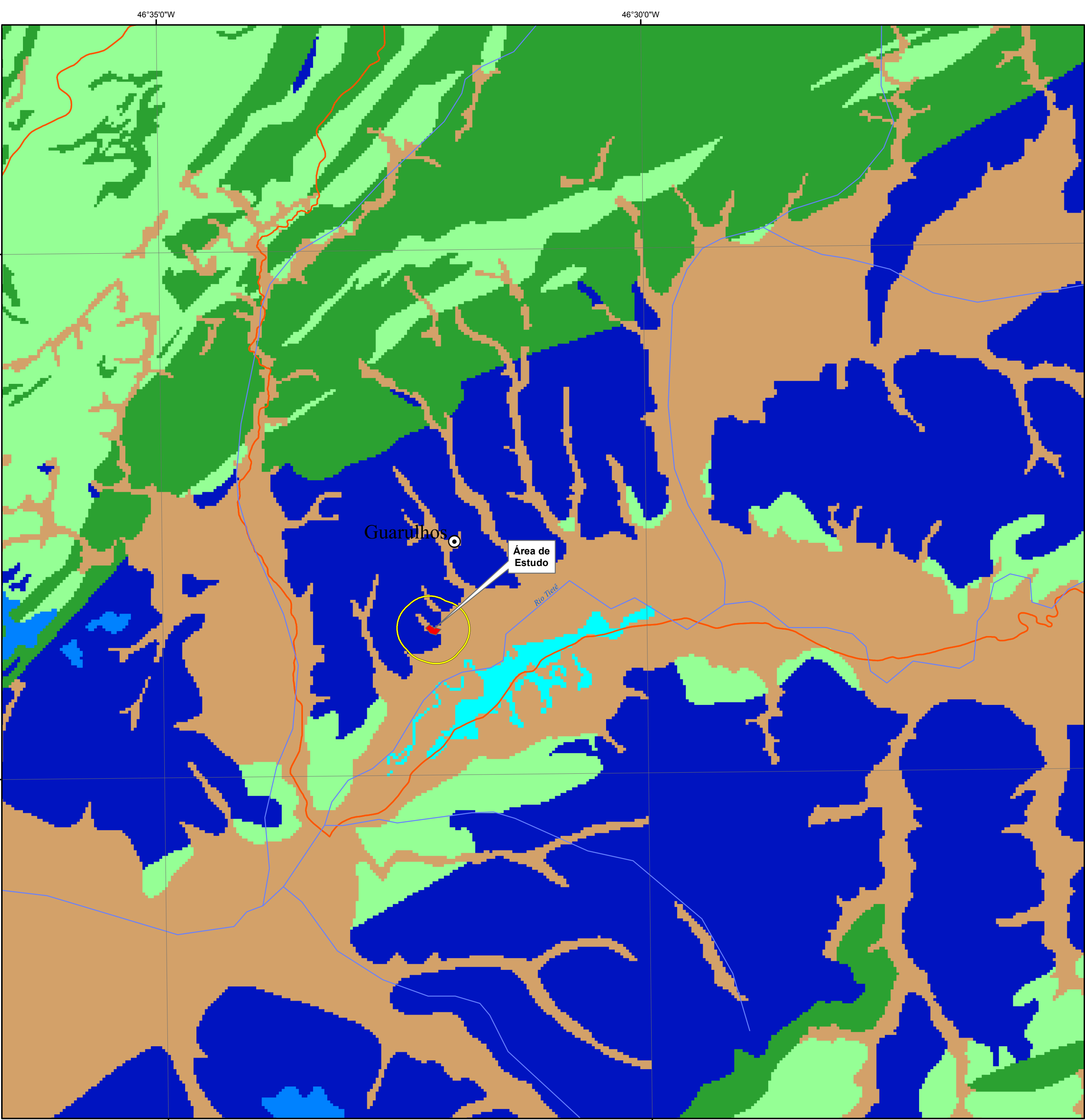
Pertencente ao SAS, o Aquífero São Paulo é a unidade hidrogeológica predominante do município de Guarulhos (Campos e Albuquerque Filho, 2005), abrangendo uma área de 1000km² e sendo constituída por sedimentos associados à Bacia São Paulo, caracterizadas pela predominância de camadas argilosas intercaladas por lentes de areia e sedimentos quaternários, dispostos ao longo das drenagens principais da BAT. Trata-se de um aquífero livre a semi-confinado, bastante heterogêneo, de porosidade primária, e espessura média de

100m, podendo atingir até 250m em algumas localidades. Segundo Hirata e Ferreira (2001), a produtividade deste aquífero geralmente está relacionada ao predomínio da Formação Resende (10 a 40m³/h) sobre a Formação São Paulo (10m³/h).

O SAC, por sua vez, é do tipo fraturado, heterogêneo, anisotrópico, variando desde livre a semi-confinado quando está sob o Aquífero São Paulo. Ocorre no domínio das rochas granitóides, cuja produtividade está relacionada à presença de fraturas e às características destas (abertura, densidade e conectividade) (Fernandes *et al.*, 2016).

Segundo Fernandes *et al.* (2016), as vazões prováveis para o Sistema Aquífero Cristalino podem variar, mais frequentemente, de 1 a 23m³/h. Os poços que exploram as unidades de rochas granitóides apresentam vazão média de 9,1m³/h e capacidade específica mediana de 0,1m³/h/m; os micaxistos apresentam vazão média de 7,1m³/h e capacidade específica de 0,3m³/h/m (Hirata e Ferreira, 2001).

A recarga de ambos os sistemas aquíferos ocorre a partir da infiltração de águas de chuva em toda sua extensão não impermeabilizada, tendo forte influência antrópica em áreas urbanizadas devido às fugas da rede pública de abastecimento de água e da coleta de esgoto. As áreas de descarga compreendem as drenagens superficiais da região, sendo os rios Tietê e Barueri os pontos de menor potencial hidráulico de ambos aquíferos (Hirata e Ferreira, 2001; Fernandes *et al.*, 2016).



Fonte: - Projeto Bacia Hidrográfica do Alto do Tietê (BAT) - Instituto de Geociências (LIG)
- IBGE e ANA (Consulta em 05/07/2017)

Figura 3. Mapa hidrogeológico da área de estudo (Fonte: Adaptado de Hirata e Nunes da Silva, 1999).

Mapa Hidrogeológico da Área de Estudo

Município de Guarulhos - SP

Legenda

 Sede municipal

 Rede de drenagem

 Área de Estudo

 Área de interesse (500m)

 Limites Municipais

Unidade Hidrogeológicas

 - Reservatórios -

SISTEMA AQUÍFERO SEDIMENTAR
(Porosidade Primária)

Aquífero Quaternário

Depósitos sedimentares aluviais, predominantemente areno-argilosas (Qa)

Aquífero São Paulo

Depósitos de sistema fluvial meandrante compostos por cascalho, areia e silte argiloso (Osp)

Aquífero Resende

Depósitos com sistemas de leques aluviais e planície fluvial entrelaçada com predominância de lamitos arenosos e argilosos (Orf) e depósitos de sistemas de leques aluviais, com predominância de lamitos seixosos.

SISTEMA AQUÍFERO CRISTALINO
(Porosidade Secundária)

Aquífero A

Associação de unidades que incluem rochas granitóides (PCg e PCgo), rochas gnáissicas(PCgn), filitos e xistos subordinados (PCf).

Aquífero B

Associação de rochas predominantemente metassedimentares que incluem quartzitos (PGq), micaxistos (PGx), anfíbolitos (PCa) e rochas carbonáticas (Pcc)

Localização Geral



Sem Escala



1:50.000

0

1

2

4 km

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum SIRGAS 2000

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Condutividade Hidráulica (K)

A condutividade hidráulica (K) é um coeficiente de proporcionalidade que representa a facilidade que um fluido tem ao se mover no meio poroso sob a influência de um gradiente hidráulico. É função das características dinâmicas do fluido (p.e. água), tais como sua viscosidade, densidade e intensidade do campo gravitacional, além daquelas pertinentes ao meio poroso (p.e. porosidade, tamanho, distribuição, forma e arranjo das partículas (Feitosa *et al.*, 2008)).

Esse parâmetro hidráulico varia amplamente na natureza, até 12 ordens de magnitude (Heath, 1983), podendo ser determinado mediante diferentes métodos, efetuados em laboratório ou *in situ*. Os métodos de laboratório incluem, por exemplo, os ensaios em permeâmetros de carga constante ou variável.

Segundo Pede (2004), a principal vantagem dos métodos laboratoriais é o maior controle sobre as características dos ensaios. No entanto, devido as amostras serem obtidas pontualmente e muitas vezes dentro de um mesmo perfil, estas não refletem a heterogeneidade intrínseca do meio analisado.

Por sua vez, os métodos de campo mais frequentemente utilizados incluem os testes de bombeamento e os *slug* e *bail tests*. Eles permitem a determinação da condutividade hidráulica do meio geológico, em seu estado natural, alcançando-se assim valores mais precisos desse parâmetro hidráulico. Os *slug* e *bail tests*, escolhidos para o desenvolvimento deste Trabalho de Formatura, são descritos no tópico a seguir.

4.1.1 Slug e Bail Tests

Slug e *bail tests*, também conhecidos na literatura internacional como *falling head* e *rising head tests* (Butler, 1997; Black, 2010) ou mesmo *slug-in* e *slug-out tests* (Maliva, 2016), são técnicas de campo utilizadas para a determinação pontual da condutividade hidráulica do aquífero, em poços de pequeno diâmetro, sendo bastante empregadas em estudos de áreas contaminadas.

O princípio desses ensaios consiste na introdução (*slug test*) ou retirada (*bail test*) de um corpo com volume conhecido (tarugo) no poço, causando a elevação ou rebaixamento instantâneo do nível d'água (NA) (Figura 4). A seguir, procede-se o monitoramento do nível d'água em função do tempo até que este retorne ao nível estático, medido antes da execução dos ensaios (Fetter, 2001; Todd e Mays, 2005).

Os *slug* e *bail tests* podem ser também executados de outras formas, tais como a extração ou injeção de um volume conhecido de água no poço ou injeção de ar ou outro gás

(p.e. nitrogênio), seguido do monitoramento do NA *versus* tempo (Todd e Mays, 2005; Maliva, 2016).

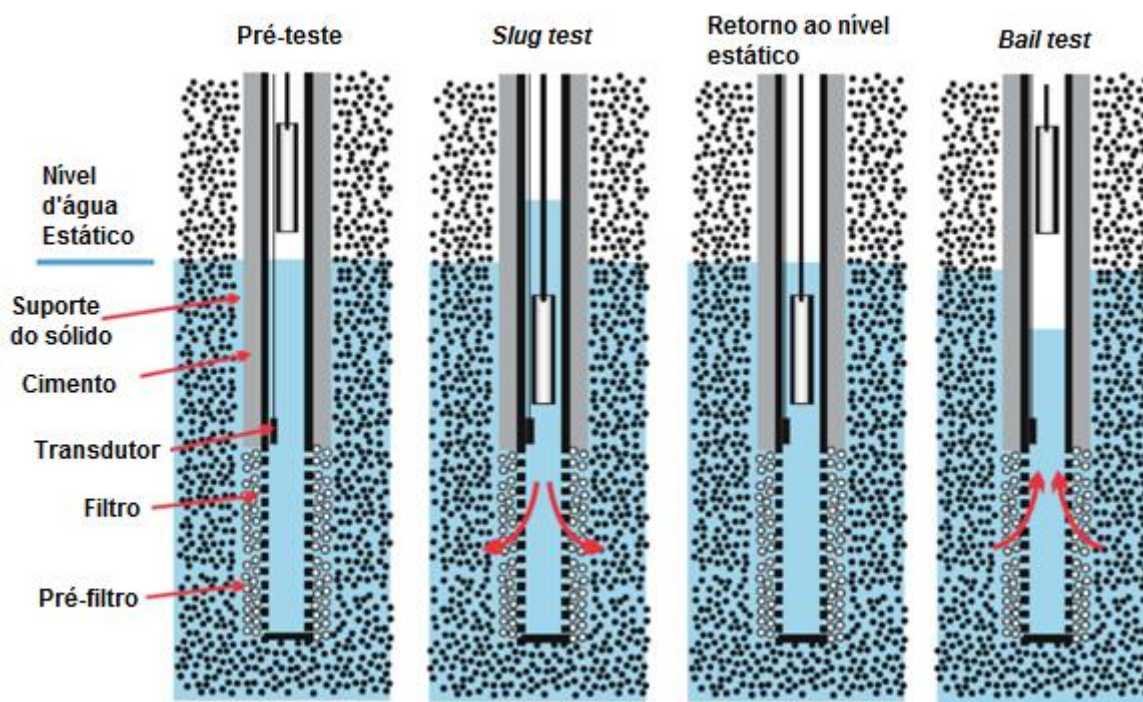


Figura 4. Ilustração da execução de *slug* e *bail* tests no poço de monitoramento (Traduzido de Maliva, 2016).

Para que seja possível a realização desses de maneira apropriada é necessário: i) conhecer a geometria do poço de monitoramento e, portanto, de seus aspectos construtivos (p.e. profundidade do poço, raios do furo e do revestimento, comprimento da seção filtrante, posicionamento da seção filtrante em relação à unidade hidrogeológica de interesse e ao nível d'água, tipo e profundidade do pré-filtro); ii) levantar as informações acerca da geologia e hidrogeologia onde o poço está instalado; iii) selecionar um tarugo com tamanho apropriado (comprimento e diâmetro) e estimar o deslocamento teórico da água a partir da inserção ou retirada deste equipamento no poço; iv) proceder com o desenvolvimento do poço, anterior à execução do ensaio; e v) medir o nível estático, previamente à realização do ensaio (Freeze e Cherry, 1979; Fetter, 2001; Todd e Mays, 2005).

Butler *et al.* (1996) recomenda a execução de mais de um ensaio por poço de monitoramento utilizando tarugos de diferentes dimensões para gerar deslocamentos iniciais distintos. A repetição dos testes permite avaliar a adequação do modelo de interpretação selecionado para o cálculo de condutividade hidráulica. Diferentes resultados em *slug* e *bail* test podem indicar a necessidade de um melhor desenvolvimento dos poços.

O desenvolvimento de um poço de monitoramento consiste na retirada de sedimentos finos depositados no fundo do poço de monitoramento ou aderidos através da seção filtrante. O desenvolvimento incompleto pode refletir em valores de condutividade hidráulica referentes

ao material deturpado próximo do poço, portanto, valores menores do que a formação em si (Freeze e Cherry, 1979; Butler, 1997).

O efeito *skin* trata-se de alterações nas condições do entorno do poço de monitoramento e pode ser causado por fluidos residuais de perfuração ou materiais finos (p. e. materiais argilosos) acumulados nas seções filtrantes dos poços de monitoramento. A ocorrência do efeito *skin* pode ser indicado por valores de condutividade hidráulica diferentes obtidas em ensaios consecutivos em um mesmo poço ou ainda entre *slug* e *bail tests* (Butler, 1996).

Butler *et al.* (1996), propõe uma série de recomendações com o intuito de melhorar a performance e análise dos *slug* e *bail tests*, dos quais destacam-se:

- Execução de três ou mais ensaios em cada poço. A variação de resultados, particularmente com o decréscimo da condutividade hidráulica pode ser indício da geração do efeito *skin* causado pela mobilização de materiais finos.
- Dois ou mais valores de deslocamento iniciais (H_0) devem ser empregados durante a realização dos ensaios nos poços de monitoramento. De maneira que os resultados dos testes devem ser independentes de H_0 .
- Os tarugos devem ser introduzidos de modo instantâneo e o deslocamento inicial deve ser estimado. A diferença normalizada entre o valor teórico do deslocamento e aquele obtido em campo deve ser $\leq 10\%$. O registro do deslocamento inicial de maneira imediata torna-se mais importante em poços situados em camadas de condutividade hidráulica moderada a alta, devido ao nível d'água retornar rapidamente ao nível estático.
- Utilização de equipamentos adequados (p. e. transdutores de pressão, *slug* pneumático) para registro de valores de nível d'água versus tempo principalmente em poços instalados em unidades hidrogeológicas com alto K.
- Para análise dos dados obtidos nos ensaios, diferenças observadas entre modelos teóricos e aqueles reais obtidos no teste podem indicar que valores incorretos foram utilizados para os parâmetros do modelo.
- Parâmetros apropriados de construção dos poços de monitoramento devem ser utilizados. Como por exemplo, o comprimento efetivo da seção filtrante e parâmetros de raio do poço a serem utilizados nas análises devem ser o comprimento e raio do pré-filtro.

4.2 Métodos de Análise e Interpretação de *Slug* e *Bail Tests*

Os valores de condutividade hidráulica podem ser calculados a partir de inúmeras soluções analíticas. As primeiras soluções foram desenvolvidas durante os anos 50 por

Hvorslev (1951) e Ferris e Knowles (1954). O método criado por Hvorslev permitiu estimar a condutividade hidráulica ao longo da seção filtrante. Cooper *et al.*, (1967) aperfeiçoaram os métodos de Ferris e Knowles e posteriormente, Bouwer e Rice (1976) desenvolveram um método para análise em aquíferos confinados e livres que considerava a geometria do aquífero e efeitos parcialmente penetrantes.

Segundo Todd e Mays (2005), é possível dividir os vários métodos de análise dos dados a partir dos *slug* e *bail tests* em 8 casos, divididos segundo as características construtivas dos poços e tipo de aquífero (livre ou confinado), conforme esquematizado na Figura 5.

- Casos 1 e 3: aquífero livre, poços parcialmente ou totalmente penetrantes, variação do nível d'água acima da seção filtrante;

Métodos mais apropriados de interpretação: Bouwer e Rice, Dagan e KGS (Kansas Geological Survey).

- Caso 2: aquífero livre, poços parcialmente ou totalmente penetrantes, nível d'água dentro da seção filtrante;

Métodos mais apropriados de interpretação: Bouwer e Rice e Dagan

- Caso 4: aquífero livre, poços parcialmente ou totalmente penetrantes, seção filtrante intercepta o nível d'água. Os métodos de análise para esse caso podem superestimar a condutividade hidráulica da formação, uma vez que a água no interior do poço pode drenar tanto para a zona não-saturada, quanto para a região do pré-filtro do poço;

- Caso 5 e 6: aquífero confinado e poços totalmente penetrantes;

Métodos mais apropriados de interpretação: Cooper-Bredehoeft-Papadopoulos e Hvorslev.

- Casos 7 e 8: aquífero confinado e poços parcialmente penetrantes;

Métodos mais apropriados de interpretação: Hvorslev, extensões confinadas do método Dagan, KGS e Bouwer e Rice.

Em função dos aquíferos (livre e confinado) e das características construtivas dos poços (afogados e parcialmente penetrantes) que ocorrem na área de estudo, serão considerados para a determinação dos valores de condutividade hidráulica, os métodos de Hvorslev (1951) e Bouwer e Rice (1976), conforme sugeridos nos casos 1, 3, 7 e 8. Os princípios destes métodos serão descritos detalhadamente no próximo tópico.

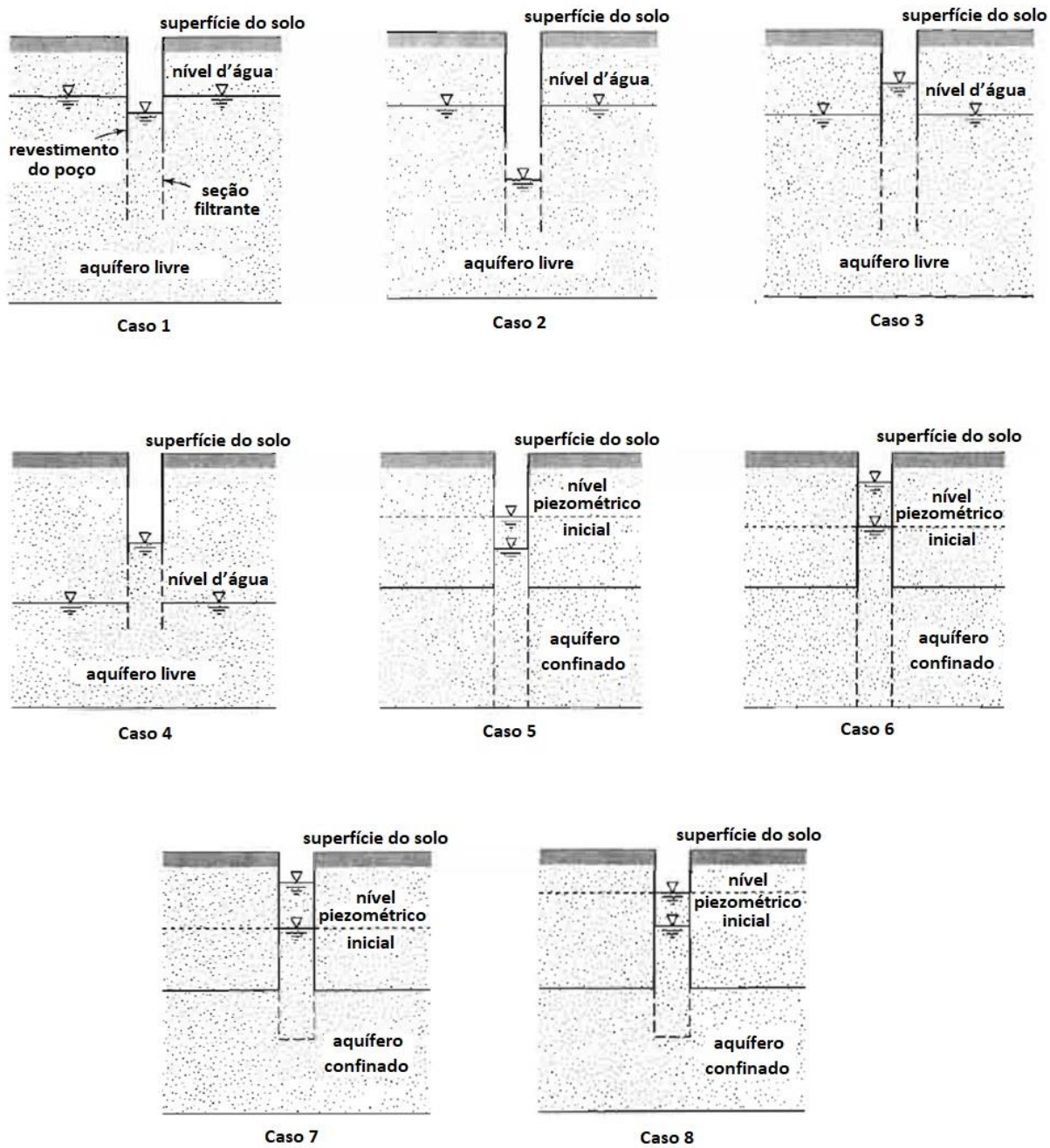


Figura 5. Desenhos esquemáticos representativos de 8 casos de acordo com a geometria do poço e do tipo de aquífero (Traduzido de Todd e Mays, 2005).

4.2.1 Método de Hvorslev

O método de Hvorslev (1951) baseia-se nas seguintes premissas: i) o solo e a água são incompressíveis, resultando em um armazenamento nulo do aquífero; ii) o fluxo de água subterrânea necessário para equalização da pressão não gera rebaixamento expressivos no nível d'água; iii) perdas causadas por fricção na parede dos poços podem ser desprezadas em pequenas taxas de fluxo que ocorrem enquanto o nível d'água entra em equilíbrio; iv) o aquífero apresenta uma espessura infinita e é isotrópico. Esse método pode ser utilizado para poços total ou parcialmente penetrantes. E o ensaio mede propriedades do solo somente nas imediações do poço e valores de condutividade hidráulica calculados são sensíveis à perturbação, segregação e consolidação do solo. O método pode ser utilizado para aquífero livres, somente em casos que o nível estático esteja muito acima do filtro.

De acordo com Fetter (2001), a geometria do poço é de grande importância, uma vez que em poços instalados em ambientes de baixa condutividade hidráulica as medidas de raio e do comprimento da seção filtrante precisam ser ajustadas devido à presença do pré-filtro, o que não ocorre em ambientes de alta condutividade hidráulica (Figura 6).

Portanto, o tempo de retorno do nível d'água à sua posição de equilíbrio depende da condutividade hidráulica do aquífero e da geometria do poço onde está inserido, sendo que este retorno ocorre de maneira exponencial.

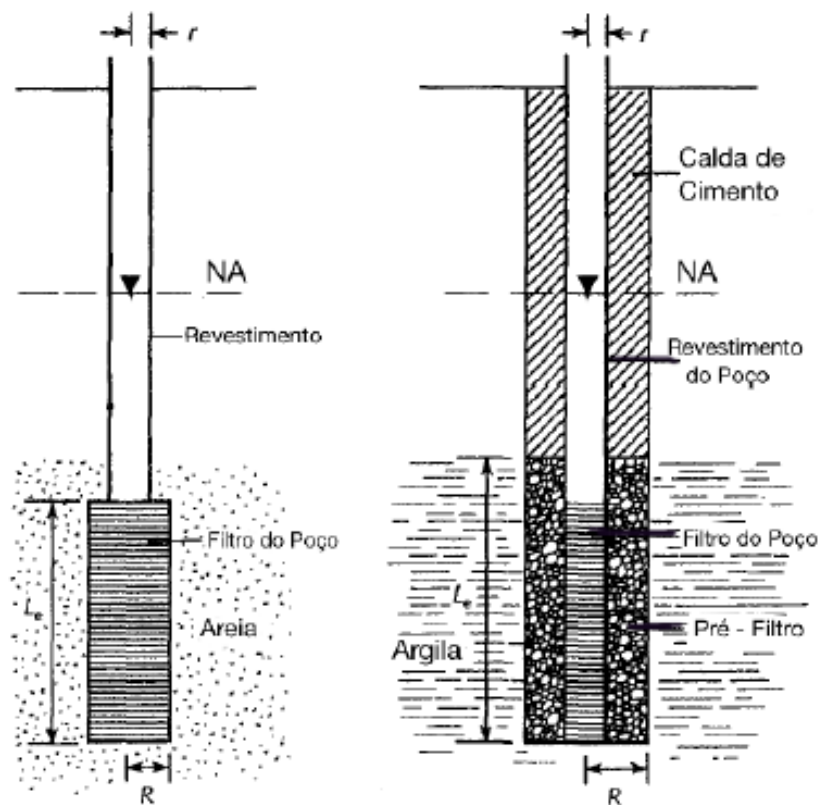


Figura 6. Geometria dos poços de monitoramento utilizados no método de Hvorslev, com ênfase nas diferenças de geometria do poço para materiais com alta condutividade hidráulica, à esquerda, e baixa condutividade hidráulica, à direita (Fonte: Traduzido de Fetter, 2001).

Esse método parte ainda dos seguintes princípios (Butler, 1997; Todd e Mays, 2005): os efeitos causados pelo armazenamento são desconsiderados, portanto qualquer mudança na carga hidráulica é dissipada através do aquífero; o tarugo não precisa ser necessariamente inserido de maneira instantânea como em outros métodos, apesar de recomendado por especialistas; e os arredores do poço devem apresentar carga hidráulica lateral constante.

Segundo Maliva (2016), o Método de Hvorslev é baseado na geração de uma curva da carga hidráulica normalizada versus tempo. Os valores de carga hidráulica normalizados (H/H_0) versus tempo (t), quando plotados em gráfico *semilog*, apresentam a forma de uma reta. O método calcula a inclinação dessa reta, que é utilizada para a obtenção da condutividade hidráulica em sua componente radial. As etapas empregadas para obtenção da condutividade hidráulica, a partir do método de Hvorslev são:

1. Plotagem, em gráfico logarítmico, dos valores de carga normalizada ($H-h/H-h_0$) versus tempo;
2. Traçado da reta a partir dos pontos do gráfico;
3. Cálculo da inclinação da reta: um método comum utilizado para calcular a inclinação da reta consiste em anotar o tempo até que a carga hidráulica normalizada atinja o valor de 0,37 ($\ln = -1$). Este tempo, segundo o método Hvorslev (1951), corresponde ao tempo de

resposta básico, T_0 . Considerando que tanto o logaritmo da carga hidráulica normalizada ($H/H_0 = 1$ e $\log 1 = 0$) como o tempo são iguais a zero no início do ensaio, a inclinação da reta é dada por $\log_{10} 0,37/T_0$ que, escrita em termos de logaritmo natural, torna-se $-1/T_0$ (Figura 7);

4. A condutividade hidráulica será calculada segundo a Equação 1:

$$K = \frac{r^2 \times \ln\left(\frac{L_e}{R}\right)}{2L_e t_{37}}$$

Equação 1

onde,

K = condutividade hidráulica [L/T; m/s ou cm/s]

R = raio do furo [L; m ou cm]

r = raio do revestimento [L; m ou cm]

t_{37} = defasagem de tempo para a subida ou descida do nível d'água, equivalente a 37% da mudança inicial ($h_t/h_0 = 0,37$) [T; s]

L_e = comprimento da seção filtrante [L; m ou cm]

De acordo com Fetter (2001), a Equação 1 pode ser utilizada para o cálculo da condutividade hidráulica (K) em poços de monitoramento que atravessam os aquíferos livres, cujo comprimento da seção filtrante (L_e) é significativamente maior que o raio da perfuração (R). A condição proposta para o uso dessa solução ($L_e/R > 8$) é encontrada em poços de monitoramento, cujos aspectos construtivos seguem as normas técnicas vigentes (NBR 15495-1/2007).

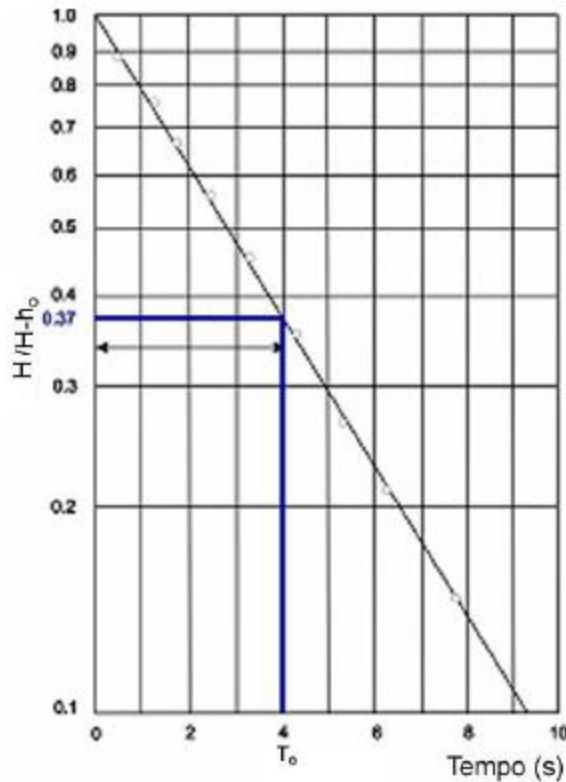


Figura 7. Gráfico semi-log da carga hidráulica normalizada *versus* tempo, com ênfase na obtenção do tempo de resposta básico (T_0) quando H/H_0 valor igual a 0,37 (Fonte: Adaptado de Fetter, 2001).

Butler (1997), analisando as influências causadas pelas características de armazenamento do aquífero durante a execução dos *slug tests*, propôs um intervalo de cargas normalizadas (H/H_0) de 0,15 a 0,25 para obtenção do segmento de reta a ser utilizado na análise de dados.

4.2.2 Método de Bouwer e Rice

O método de Bouwer e Rice (1976) consiste em uma solução analítica para a determinação de condutividade hidráulica a partir de *slug* e/ou *bail tests* efetuados em poços parciais ou totalmente penetrantes, em aquíferos livres ou confinados, afogados, onde o topo da seção filtrante localiza-se alguns metros abaixo da base da camada confinante (Figura 8).

As duas principais premissas tomadas para esse tipo de método são as seguintes: os efeitos dos mecanismos de armazenamento do aquífero podem ser desconsiderados e a espessura saturada do aquífero se mantém constante durante o ensaio (Todd e Mays, 2005).

Assumindo que o aquífero é homogêneo, isotrópico, a condutividade hidráulica é definida de acordo com a Equação 2:

$$K = \frac{r_c^2 \times \ln\left(\frac{R_e}{R}\right)}{2L_e} \frac{1}{t} \ln\left(\frac{H_0}{H_t}\right)$$

Equação 2

onde,

K = condutividade hidráulica [L/T; m/s ou cm/s]

r_c = raio do tubo de revestimento do poço [L; m ou cm]

R_e = distância radial efetiva em que a carga é dissipada [L; m ou cm]

R = raio do furo [L; m ou cm]

L_e = comprimento da seção filtrante [L; m ou cm]

t = tempo desde H_0 até H_t [T; s]

H_0 = nível d'água no tempo inicial ($t=0$) [L; m ou cm]

H_t = nível d'água no tempo t [L; m ou cm]

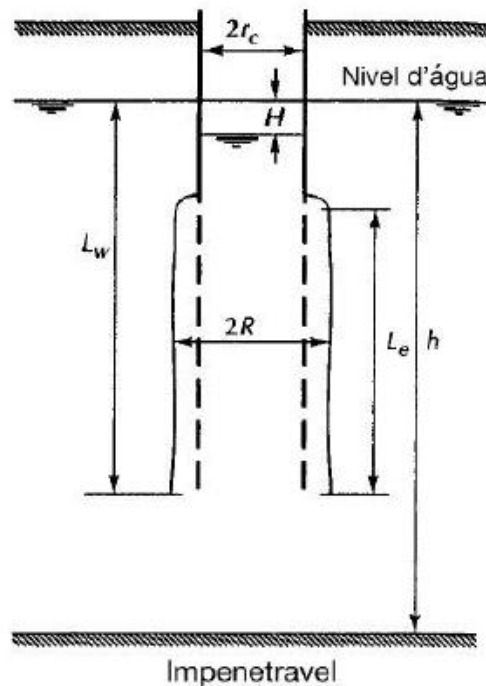


Figura 8. Execução de *slug test* em poço afogado, parcialmente penetrante, em aquífero livre (Fonte: Traduzido de Fetter, 2001).

A distância efetiva onde a carga é dissipada, R_e , é um parâmetro empírico, não podendo ser medido diretamente no poço. Entretanto, Bouwer e Rice (1976) apresentaram um método para estimar o valor adimensional da expressão $\ln (R_e/R)$.

Para poços totalmente penetrantes, onde a distância do nível d'água (NA) à base do filtro (L_w) é igual à espessura saturada do aquífero (h), utiliza-se a Equação 3.

$$\ln \frac{R_e}{R} = \left[\frac{1,1}{\ln \left(\frac{L_w}{R} \right)} + \frac{C}{\frac{L_e}{R}} \right]^{-1}$$

Equação 3

Por sua vez, para poços parcialmente penetrantes, onde L_w é igual a h , considera-se a Equação 4:

$$n \frac{R_e}{R} = \left[\frac{1,1}{\ln(L_w/R)} + \frac{A + B \ln[(h - L_w)/r_w]}{L_e/R} \right]^{-1}$$

Equação 4

Onde os valores de A, B e C são parâmetros adimensionais (empíricos). Bouwer e Rice (1976) desenvolveram curvas de modelagem análogas que relacionam A, B e C a L_e/R (Figura 9).

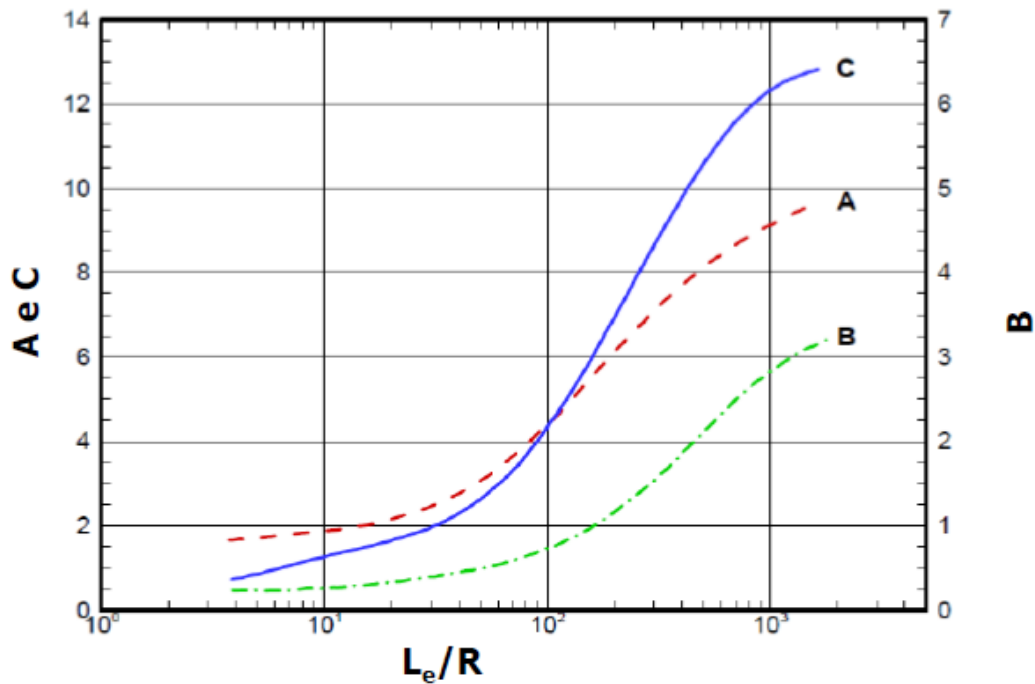


Figura 9. Valores adimensionais A, B e C, plotados em função de L_e/R (Fonte: Adaptado de Bouwer e Rice, 1976).

Para poços de monitoramento com seção filtrante parcialmente submersa (poços não afogados), Bouwer (1989) recomenda a utilização da Equação 5, para correção do raio de revestimento, com o intuito de eliminar o efeito da drenança do pré-filtro durante a execução dos ensaios:

$$r_{eq} = [r_c^2 + n(R^2 - r_c^2)]^{1/2}$$

Equação 5

onde,

r_{eq} = raio de revestimento corrigido [L]

r_c = raio de revestimento original [L]

n = porosidade do pré-filtro [adimensional]

R = raio do poço [L]

Tal como método de Hvorslev, os dados obtidos a partir da execução do ensaio hidráulico, segundo o método de Bouwer e Rice são plotados no gráfico de carga hidráulica normalizada (H/H_0) *versus* o tempo (t).

Bouwer (1989) discute a ocorrência de dois segmentos de reta no gráfico de carga hidráulica normalizada *versus* tempo em função da drenança do pré-filtro. Segundo os autores, esse efeito foi denominado de dupla reta (*double straight line effect*) e ocorre quando é realizado o *bail test* em poços de monitoramento em que a seção filtrante encontra-se parcialmente submersa. No início do teste, com a retirada do tarugo, são observados os efeitos de drenança do pré-filtro, em função das zonas de alta permeabilidade ao redor do poço, responsáveis pelo rápido ingresso da água, do aquífero para dentro do poço, gerando no gráfico uma curva de maior inclinação (segmento A-B).

À medida que toda a água presente no entorno do pré-filtro ingressa no poço, com o passar do tempo, o fluxo no interior do poço torna-se lento gerando uma segunda reta (segmento B-C), menos inclinada, que representa o fluxo de água proveniente do aquífero para o poço, sem os efeitos do pré-filtro. Assim, nestas condições, Bouwer (1989) propôs que o segmento B-C fosse considerada para o cálculo da condutividade hidráulica (Figura 10).

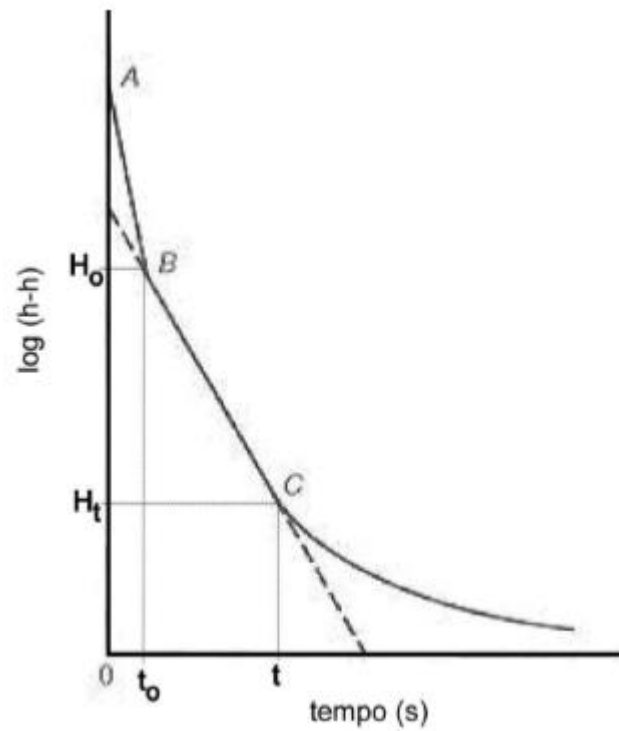


Figura 10. Variação da carga hidráulica normalizada *versus* tempo com a formação de dois segmentos de reta (*double straight line effect*), para poços de monitoramento não afogados (Fonte: Traduzido de Bouwer, 1989).

Já para os casos onde o poço de monitoramento apresenta seção filtrante totalmente submersa, tal efeito não é observado e a variação da carga hidráulica normalizada em função do tempo é controlada somente pelo aquífero (Figura 11).

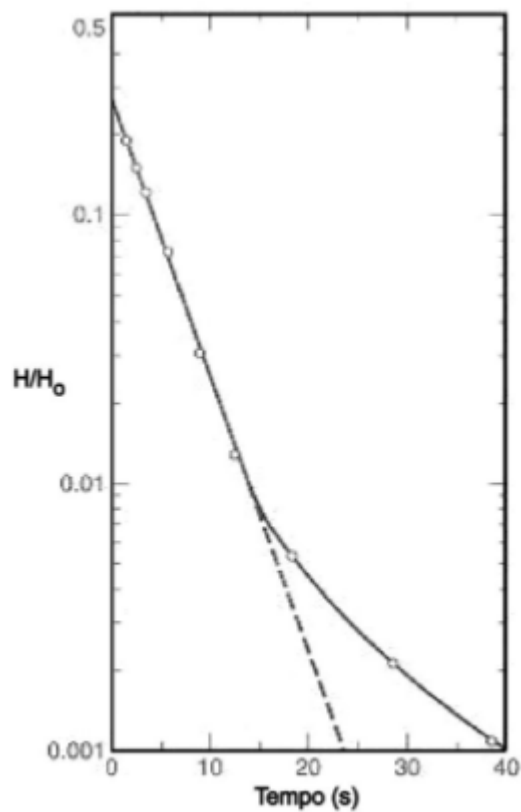


Figura 11. Gráfico da variação de carga hidráulica normalizada *versus* tempo para poços de monitoramento afogados (Fonte: Traduzido de Bouwer, 1989).

Butler (1997), analisando as influências causadas pelas características de armazenamento do aquífero durante a execução dos *slug tests*, propôs um intervalo de cargas normalizadas (H/H_0) de 0,20 a 0,30 para obtenção do segmento de reta a ser utilizado na análise de dados.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada neste Trabalho de Formatura incluiu: i) visita de reconhecimento à área de estudo; ii) seleção de poços para a execução dos ensaios hidráulicos; iii) avaliação dos aspectos construtivos e litológicos dos poços de monitoramento; iv) desenvolvimento dos poços de monitoramento; v) execução dos *slug* e *bail tests* na área de estudo e vi) cálculo dos valores de condutividade hidráulica e interpretação dos resultados. A descrição de cada atividade será apresentada nos tópicos a seguir.

5.1 Visita de Reconhecimento à Área de Estudo

No dia 12 de junho de 2017, realizou-se uma visita à área de estudo para reconhecimento, bem como a checagem das condições dos poços de monitoramento.

O local trata-se de uma antiga área industrial, como citado anteriormente, podendo ser subdividida de acordo com os seus cinco principais prédios identificados: A, B, C, D e E. Os prédios A e B situam-se a leste da área, o prédio C na porção central e o prédio E, a oeste, conforme observado na Figura 12.

Durante a vistoria foram identificados mais de 169 poços de monitoramento, instalados por diferentes empresas de consultoria ao longo dos inúmeros estudos de investigação ali executados. Dentre os poços existentes, a maioria é representada por poços multiníveis com profundidades rasa (até 10m), intermediária (até 20m) e profunda (até 30m).

5.2 Seleção de Poços para Realização dos Ensaios Hidráulicos

Após a etapa de reconhecimento da área e análise sistemática dos aspectos construtivos e perfis litológicos dos poços de monitoramento, efetuou-se a seleção dos mesmos para execução dos *slug* e *bail tests*, com base nos seguintes critérios, dispostos em seu grau de prioridade:

- ✓ Presença de dados construtivos e litológicos dos poços de monitoramento. Ressalta-se que apesar da área apresentar uma grande quantidade de poços, muitos deles não possuem dados disponíveis para o estudo e, conseqüentemente, para a execução dos ensaios hidráulicos;
- ✓ Presença de somente uma litologia atravessada pela seção filtrante do poço de monitoramento, de modo a permitir uma interpretação segura do valor de K, condizente com a geologia analisada;
- ✓ Poços potencialmente contaminados não foram selecionados, a fim de evitar a exposição da equipe responsável pelo ensaio. Do mesmo modo, foram descartados os poços de monitoramento situados em ambientes totalmente fechados;
- ✓ Poços de monitoramento que estivessem em boas condições, sendo, portanto, selecionados aqueles que foram recentemente instalados na área.

Baseando-se nos critérios supracitados, foram selecionados sete poços de monitoramento (Figura 12), sendo um deles um conjunto multinível (PM-79, PMI-79 e PMP-79), conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Relação dos poços de monitoramento, selecionados para a execução dos *slug* e *bail tests* na área de estudo.

Poço	Litologia na Seção Filtrante*	Fácil acesso?	Profundidade (m)	Dados construtivos completos	Localização
PMI-14	LC	Sim	16,1	Sim	Entrada da área
PM-79	LA	Sim	4,35	Sim	Entre os prédios A e B
PMI-79	LC	Sim	13,5	Sim	Entre os prédios A e B
PMP-79	LD	Sim	26,9	Sim	Entre os prédios A e B
PMI-80	LC	Sim	20,2	Sim	Entre os prédios A e B
PM-206	LC	Sim	2,35	Sim	Interior do Prédio B
PMP-210	LA	Sim	22,4	Sim	Interior do Prédio A

***LA** – Argila arenosa com variações na proporção de argila e areia, **LC** – Areia com granulação variando desde fina a média, podendo apresentar matriz argilosa, **LD** – Argila compacta, podendo apresentar fração de areia (fina), de coloração cinza esverdeada.

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS DE MONITORAMENTO SELECIONADOS PARA O SLUG-TEST

Legenda

- Área de Estudo
- Poços de Monitoramento

Localização da Área de Interesse no Estado de São Paulo



1:1.200



Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum SIRGAS 2000 - Fuso 23S



Figura 12. Mapa de localização dos poços de monitoramento selecionados para a execução dos slug e bail tests.

Fonte: Imagem Google Earth
(Não foram incluídas coordenadas geográficas por motivos de confidencialidade)

5.3 Avaliação dos Aspectos Construtivos dos Poços de Monitoramento

O conhecimento a respeito da geometria dos poços é de suma importância para a realização dos *slug* e *bail tests* de maneira adequada e eficiente.

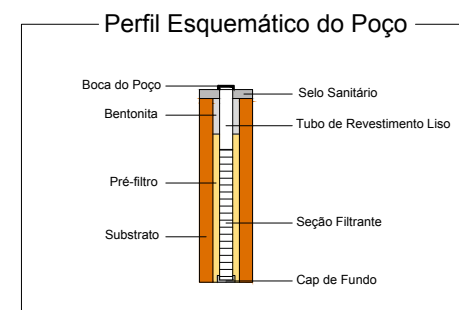
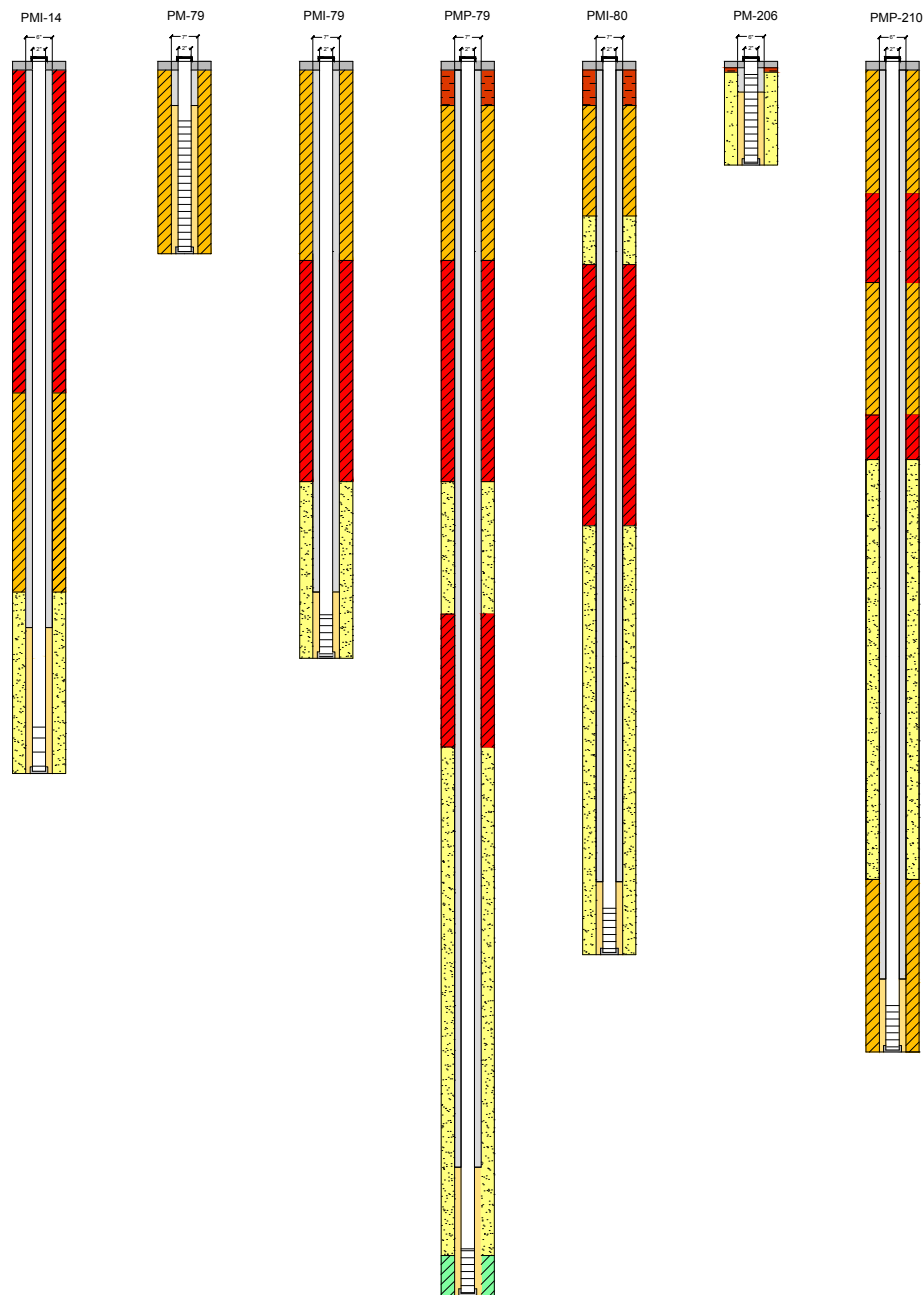
Segundo Butler (1997), as características construtivas dos poços apresentam grande influência na execução tais ensaios, assim como no cálculo da condutividade hidráulica. O raio do furo, por exemplo, exerce influência na duração do teste e no tipo de equipamento que pode ser utilizado no poço. O tamanho da abertura do filtro, por sua vez, se for inapropriado pode gerar erros na estimativa da condutividade hidráulica, mesmo com a realização do desenvolvimento dos poços. Já o comprimento da seção filtrante pode ser um problema no que se refere à eficiência do desenvolvimento dos poços de monitoramento, pois quanto maior sua superfície, maior será a chance de apresentarem intervalos na seção filtrante em que os detritos não foram extraídos, de forma adequada.

A Tabela 2 apresenta os dados referentes aos aspectos construtivos dos sete poços monitoramento, selecionados para a realização dos ensaios hidráulicos.

Tabela 2. Dados construtivos dos poços de monitorados previamente selecionados na área de estudo.

Poço	Profundidade do poço (m)	Comprimento da Seção Filtrante (m)	Intervalo da seção filtrante (m)	NE durante a perfuração (m)	Diâmetro do tubo de revestimento (polegadas)	Diâmetro da perfuração (polegadas)
PMI-14	16,10	1,0	16,10-15,10	5,90	2"	6"
PM-79	4,35	3,0	4,35-1,35	1,99	2"	7"
PMI-79	13,50	1,0	13,50-12,50	7,09	2"	7"
PMP-79	26,90	1,0	26,90-25,90	26,90	2"	7"
PMI-80	20,20	1,0	20,20-19,20	20,20	2"	7"
PM-206	2,35	2,0	2,35-0,35	0,50	2"	6"
PMP-210	22,40	1,0	22,40-21,40	2,60	2"	6"

Os perfis litológicos e construtivos dos poços de monitoramento são apresentados na Figura 13.



Legenda

-  Aterro.
-  Argila-arenosa com variações na proporção argila-areia (LA).
-  Argila plástica a localmente compactada (LB).
-  Areia com fração granulométrica variando de fina a média, podendo apresentar matriz argilosa (LC).
-  Argila compactada, podendo apresentar pequena fração de areia (fina), cinza, esverdeada (LD).

Figura 13. Perfis litológicos e construtivos dos poços de monitoramento selecionados para execução dos slug e bail tests.

5.4 Desenvolvimento dos Poços de Monitoramento

Entre os dias 08 de setembro e 12 de outubro de 2017, efetuou-se o desenvolvimento dos poços de monitoramento. Esta atividade teve como objetivo a remoção de sedimentos depositados no fundo dos poços e/ou aderidos nas paredes de suas seções filtrantes e que pudessem comprometer a execução dos ensaios e, conseqüentemente, o cálculo da condutividade hidráulica.

De acordo com Butler (1996), o desenvolvimento dos poços de monitoramento compreende uma atividade muito importante que antecede a execução dos *slug* e *bail tests* e se a mesma não é realizada, a representatividade dos resultados obtidos será comprometida. A limpeza dos poços tem como função aumentar a relação das condições na proximidade dos poços com a formação em si. A alteração das condições no entorno do poço é denominada efeito *skin* (ou *well-skin*) e pode gerar valores de condutividade hidráulica que são maiores ou menores que a própria formação.

O desenvolvimento dos poços de monitoramento na área de estudo foi realizado mediante a utilização dos seguintes materiais: válvula de retenção (ou válvula de pé) de ¾", mangueira preta de polietileno de diâmetro ¾", abraçadeira metálica, balde, luvas descartáveis e águas destilada e deionizada, assim como detergente e esponja para a descontaminação do equipamento reutilizado.

O procedimento adotado para a execução de tal atividade é descrito abaixo:

- ✓ Retirada da tampa do poço e *cap* de pressão e inserção da mangueira com a válvula de pé, anexada à sua extremidade com o auxílio de abraçadeira;
- ✓ Extração de pelo menos três vezes o volume de água do poço de monitoramento, que era descartado em um balde;
- ✓ Descarte da água removida em local apropriado;
- ✓ Descarte e armazenamento das mangueiras em sacos plásticos;
- ✓ Descontaminação e limpeza dos equipamentos que eram reutilizados (abraçadeira e a válvula).

As Figuras 14 a 21 ilustram todas as etapas do desenvolvimento dos poços de monitoramento na área de estudo.



Figura 14. Exemplo de válvula de pé de 3/4" utilizada para o desenvolvimento dos poços da área de estudo.



Figura 15. Equipamentos utilizados para o desenvolvimento dos poços.



Figura 16. Destaque para ajuste de equipamentos na mangueira.

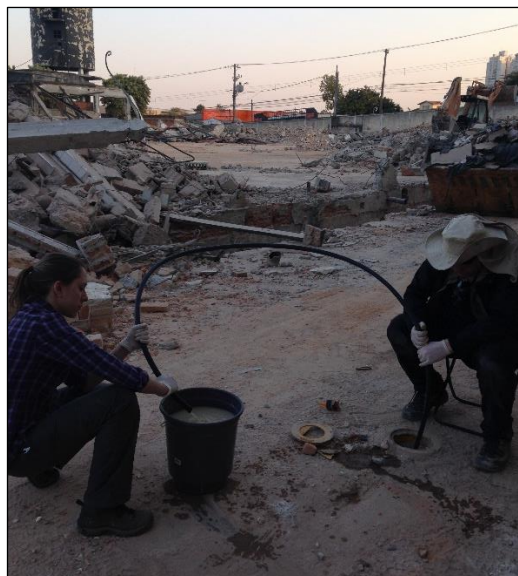


Figura 17. Desenvolvimento dos poços de monitoramento.



Figura 18. Destaque para a coloração da água removida dos poços de monitoramento.



Figura 19. Recipientes de descarte da água removida dos poços.



Figura 20. Inserção da mangueira com os equipamentos.

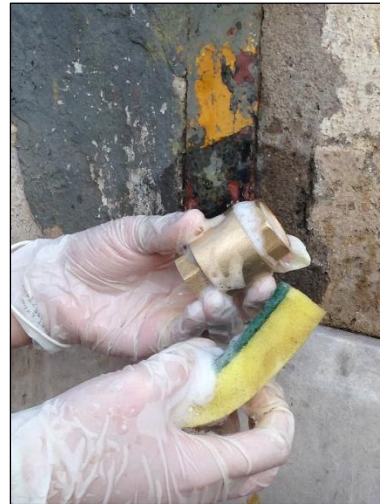


Figura 21. Descontaminação dos equipamentos utilizados.

5.5 Execução de *slug* e *bail* tests

Os *slug* e *bail* tests foram efetuados na área de estudo entre os dias 09 de setembro e 13 de outubro de 2017. Os equipamentos utilizados para a realização destes ensaios foram os seguintes: cronômetro, medidor de nível graduado, tarugo, fitilho, ficha de campo para anotação de dados, prancheta, luvas descartáveis, balde e materiais de limpeza (esponja, detergente, água destilada, papel toalha). Em relação ao tarugo, adotaram-se dois com configurações distintas. O primeiro é constituído por um cilindro de PVC, preenchido com areia, com 1,57" de diâmetro e 1,1m de comprimento. O segundo, por sua vez, é representado por cilindro de PVC rígido com 1,57" de diâmetro e 0,94m de comprimento.

Os procedimentos e cuidados tomados antes, durante e após a realização desses ensaios hidráulicos são descritos a seguir:

- ✓ Remoção da tampa do poço de monitoramento e espera para que houvesse equilíbrio entre o nível estático e a pressão atmosférica;
- ✓ Medição do nível d'água estático (NE) e a profundidade do poço, utilizando como referência das leituras a boca do poço;
- ✓ Inserção do tarugo, acionamento do cronômetro e registro dos valores de nível d'água inicial (NA_0) para $t = 0s$;
- ✓ Monitoramento do nível d'água em função do tempo (NA_t) até a recuperação de 90% do valor inicial, com auxílio do cronômetro e registro dos dados na ficha de campo;
- ✓ Finalização do *slug* test;
- ✓ Retirada do tarugo e início do *bail* test;
- ✓ Acionamento do cronômetro e registro dos valores de nível d'água inicial (NA_0) para $t = 0s$;

- ✓ Monitoramento do nível d'água em função do tempo (NA_t) até a recuperação de 90% do valor inicial, com auxílio do cronômetro e registro dos dados na ficha de campo;
- ✓ Descontaminação e limpeza dos equipamentos.

A equipe de campo foi responsável pela execução do teste, assim como pela limpeza e descontaminação dos materiais utilizados no interior de local, que foi realizada entre ensaios de poços diferentes, com o intuito de evitar sua contaminação cruzada.

O **Anexo A** apresenta as fichas de campo com os dados obtidos durante o ensaio. Destaca-se que no poço PMP-79 foi realizado somente o *slug test* devido ao tempo de duração do ensaio que foi superior a 5h30. Ademais, ressalta-se que no poço PM-206 efetuou-se mais de um ensaio devido à sua alta velocidade de recuperação do nível d'água.

As Figuras 22 a 26 ilustram os procedimentos e equipamentos utilizados durante a realização dos *slug* e *bail tests*.

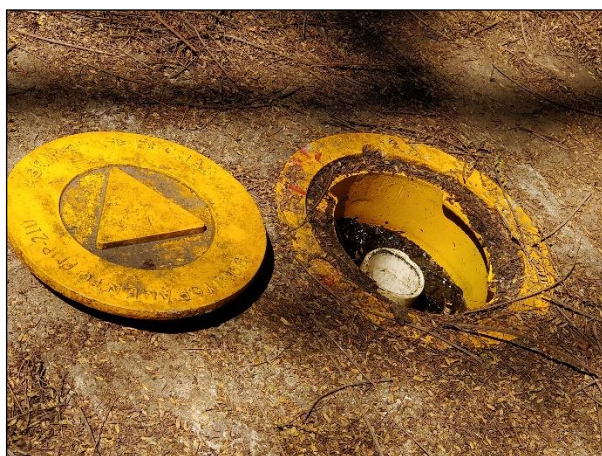


Figura 22. Poço PMP-210 em que foram realizados os ensaios hidráulicos.



Figura 23. Medição de nível estático e profundidade do poço de monitoramento anteriormente à execução dos ensaios.



Figura 24. Monitoramento do nível d'água durante o ensaio hidráulico.



Figura 25. Inserção do tarugo para início do *slug test*.



Figura 26. Descontaminação do tarugo com água destilada e deionizada.



Figura 27. Descarte dos materiais não reutilizáveis.

Para efeito comparativo, calculou-se o deslocamento teórico da coluna d'água ($\Delta H_{\text{teórico}}$) ocasionado pela inserção/tarugo no poço, segundo a Equação 6:

$$\Delta H_{\text{teórico}} = \frac{V_0}{\pi r_c^2}$$

Equação 6

onde,

r_c = raio do revestimento do poço [L; m ou cm]

πr_c^2 = área da seção transversal do revestimento [L²; m ou cm]

V_o = Volume do tarugo [L³; m³ ou cm³]

O cálculo do deslocamento teórico ($\Delta H_{\text{teórico}}$) e a avaliação de sua magnitude representa um importante procedimento a ser realizado, anterior à execução dos *slug* e *bail tests*. Segundo Neville (2011), a estimativa do deslocamento inicial é essencial, de modo que este valor possa ser comparado com o deslocamento observado em campo, de modo que se verifique: a) as condições em tais ensaios foram executados; b) a velocidade com que o aquífero responde à mudança instantânea de carga. Ainda segundo o autor, caso os valores dos deslocamentos teórico e de campo (ΔH_{campo}) sejam muito distintos, caberá investigar as principais causas, reavaliar a representatividade do valor de K e, se necessário, repetir o ensaio.

A comparação entre os valores de $\Delta H_{\text{teórico}}$ e ΔH_{campo} é bastante crítica nos seguintes cenários hidrogeológicos: i) poços instalados em aquíferos pouco permeáveis; ii) a seção filtrante dos poços está parcialmente submersa; iii) poços instalados em aquíferos com alta condutividade hidráulica (Buttler, 1998).

A Tabela 3 apresenta os valores dos deslocamentos teóricos, determinados a partir dos diâmetros dos poços de monitoramento (ϕ 2") e as dimensões dos tarugos utilizados nos ensaios hidráulicos.

Tabela 3. Apresentação dos dados utilizados para o cálculo do deslocamento teórico dos poços apresentados na área de estudo.

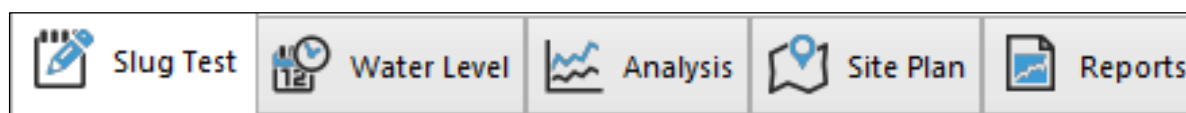
Tarugo	Raio do tarugo (m)	Comprimento do tarugo (m)	Volume do tarugo (m ³)	Raio do revestimento do poço (m)	Área da seção transversal do revestimento (m ²)	Deslocamento teórico (m)
Tarugo 1	0,020	1,10	0,0014	0,0254	0,002	0,68
Tarugo 2	0,020	0,94	0,0012	0,0254	0,002	0,58

5.6 Interpretação dos resultados e cálculo da condutividade hidráulica

As informações construtivas (geometria) dos poços de monitoramento, assim como os dados de rebaixamento *versus* tempo registrados durante a realização dos *slug* e *bail tests* foram inseridos no programa *AquiferTest v.1* (Waterloo Hydrogeologic, 2016) para a interpretação dos dados e o cálculo da condutividade hidráulica

O *AquiferTest* é um dos programas existentes no mercado, bastante utilizado para o cálculo dos parâmetros hidráulicos do aquíferos, dos quais inclui a condutividade hidráulica.

Este programa é dividido em várias guias, organizadas de forma lógica, onde são inseridos os dados necessários para a análise dos testes de aquífero (Figura 28).



→ Sequência de inserção dos dados

Figura 28. Sequência dos guias para a inserção dos dados no programa *Aquifer Test*.

As Figuras 29 e 30 mostram capturas da interface visual do programa *Aquifer Test*.

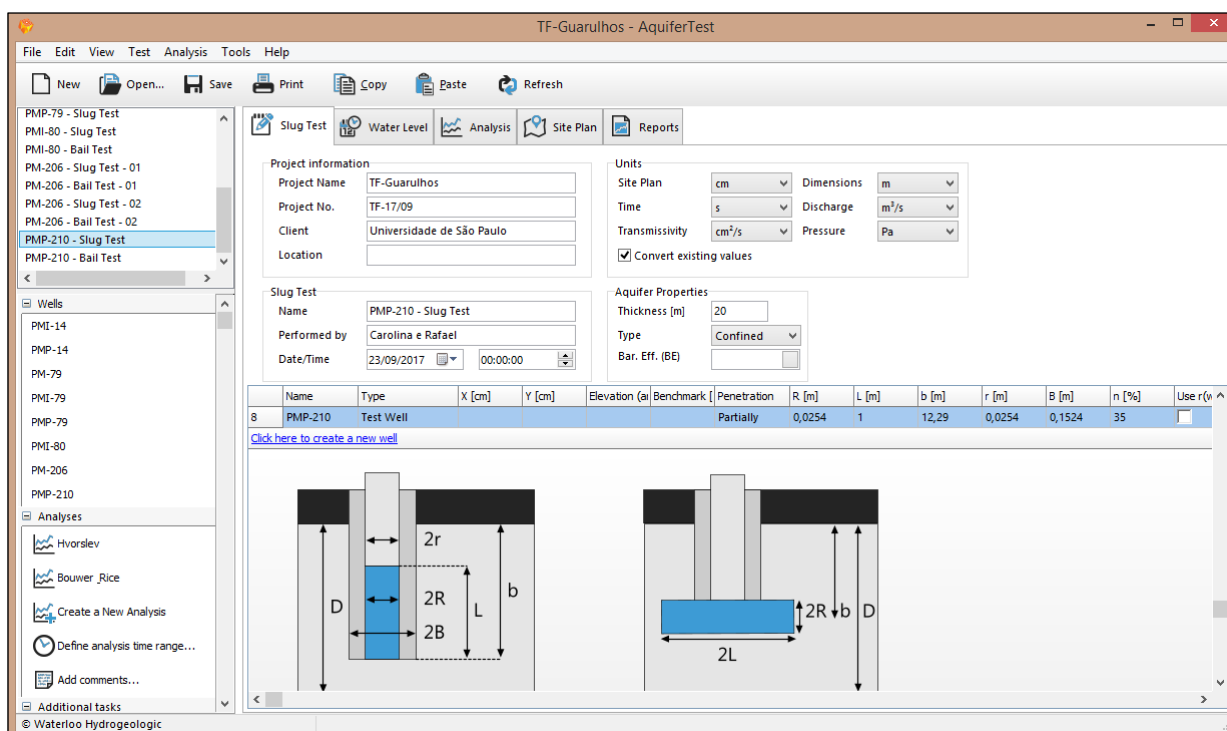


Figura 29. Interface de entrada do programa *AquiferTest*, com opção para a inserção dos dados construtivos dos poços de monitoramento e do aquífero analisado.

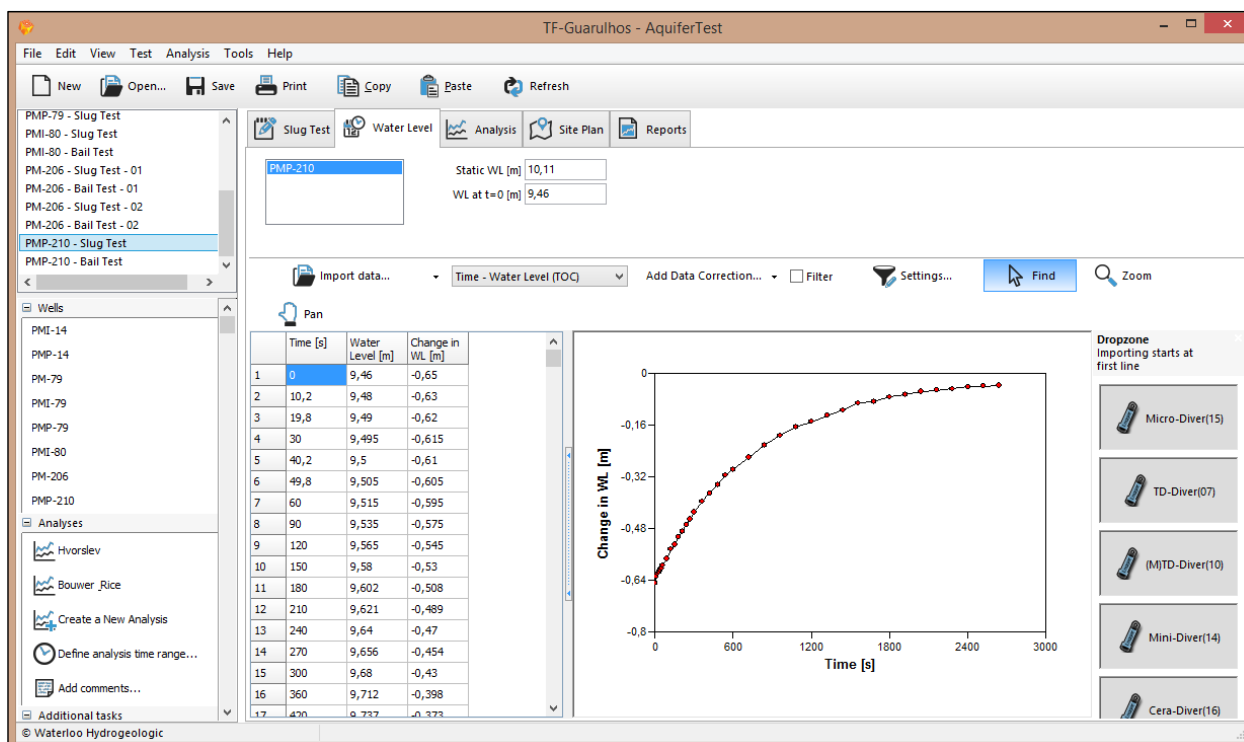


Figura 30. Inserção dos dados registrados durante a realização dos *slug* e *bail* tests.

O *AquiferTest* dispõe de um pacote de soluções analíticas, desenvolvidas para o cálculo da condutividade hidráulica (p.e. Hvorslev, Bouwer e Rice, Dagan, Cooper-Bredehoeft-Papadopoulos). Salienta-se, mais uma vez que métodos adotados no âmbito deste Trabalho de Formatura foram os de Hvorslev e de Bouwer e Rice, cujos critérios de seleção foram abordados do item 4.2.

O cálculo de K no programa, mediante a seleção dos métodos analíticos supracitados, foi feito através de ajuste manual, a critério do usuário, ou de forma automática da reta que melhor se adequa a todo o conjunto de dados (Figura 31).

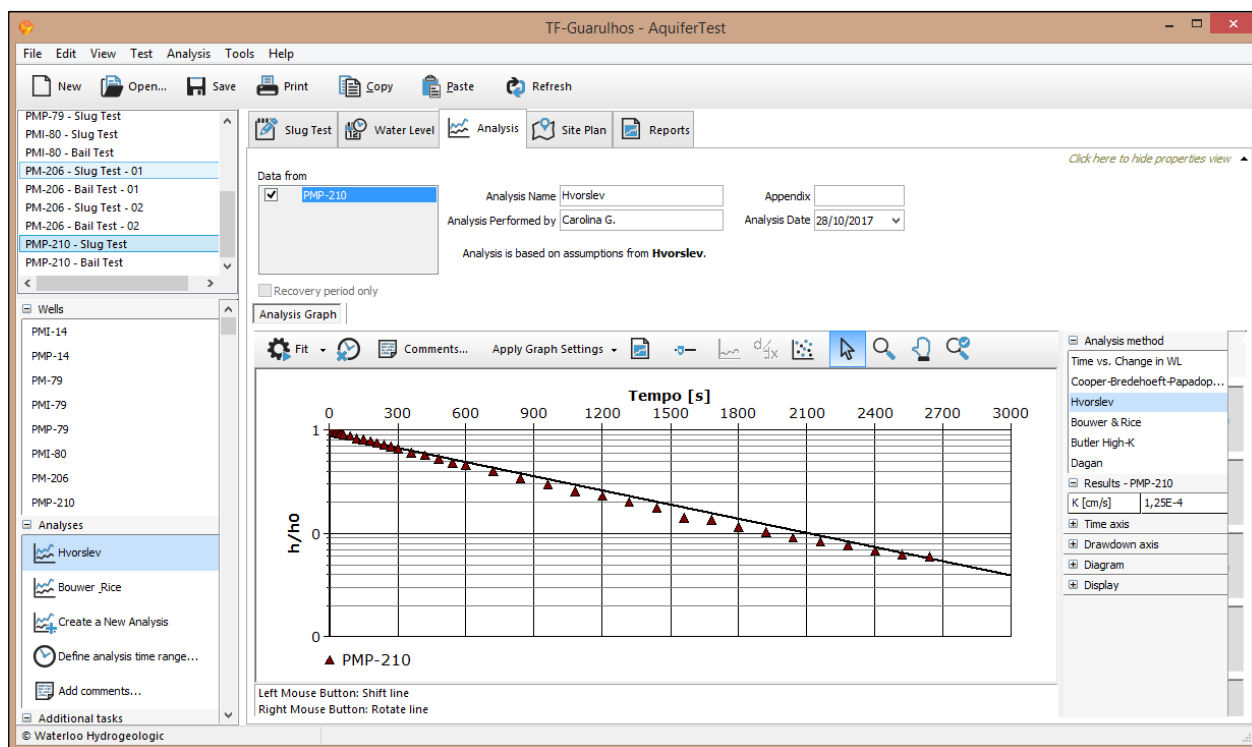


Figura 31. Seleção da solução analítica para interpretação dos dados e cálculo da condutividade hidráulica a partir do programa AquiferTest.

Salienta-se que o cálculo da condutividade hidráulica mediante o método de Bouwer e Rice foi inserido no programa a porosidade do pré-filtro. Nestas circunstâncias, optou-se por utilizar 35%, baseado em experiências reportadas por perfuradores de poços (Claudio Souza, comunicação verbal), considerando que na norma utilizada para a instalação dos poços de monitoramento na área de estudo - *ABNT NBR 15.495-1: Poços de Monitoramento de Águas Subterrâneas em Aquífero Granulares - Parte 1: Projeto e Construção* - não há indicação de valores de porosidade do pré-filtro.

Os gráficos relativos aos cálculos de condutividade hidráulica, obtidos segundo o programa *AquiferTest* são apresentados no **Anexo B**.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Geologia da Área de Estudo

A área de estudo é composta, de forma simplificada, por solos arenosos de granulação variada, intercalados com lentes argilosas, com a predominância de uma camada de solo argilo-arenoso próximo à superfície, seguida por um solo argiloso plástico com intercalação de uma camada de areia fina a média e um solo argiloso compacto em maior profundidade, pertencentes à Formação Resende.

De acordo com os perfis litológicos dos poços de monitoramento instalados no local, foram discriminadas as seguintes unidades litológicas: i) **LA** – Argila arenosa com variações na proporção argila-areia; ii) **LB** - argila plástica, localmente compactada; iii) **LC** - Areia fina a média, podendo apresentar matriz argilosa; e iv) **LD** - Argila compacta escura (cinza esverdeada), podendo apresentar pequena fração de areia fina. Salienta-se que a unidade LA é recoberta por uma camada de aterro.

Abaixo, segue uma descrição mais detalhada das unidades supracitadas:

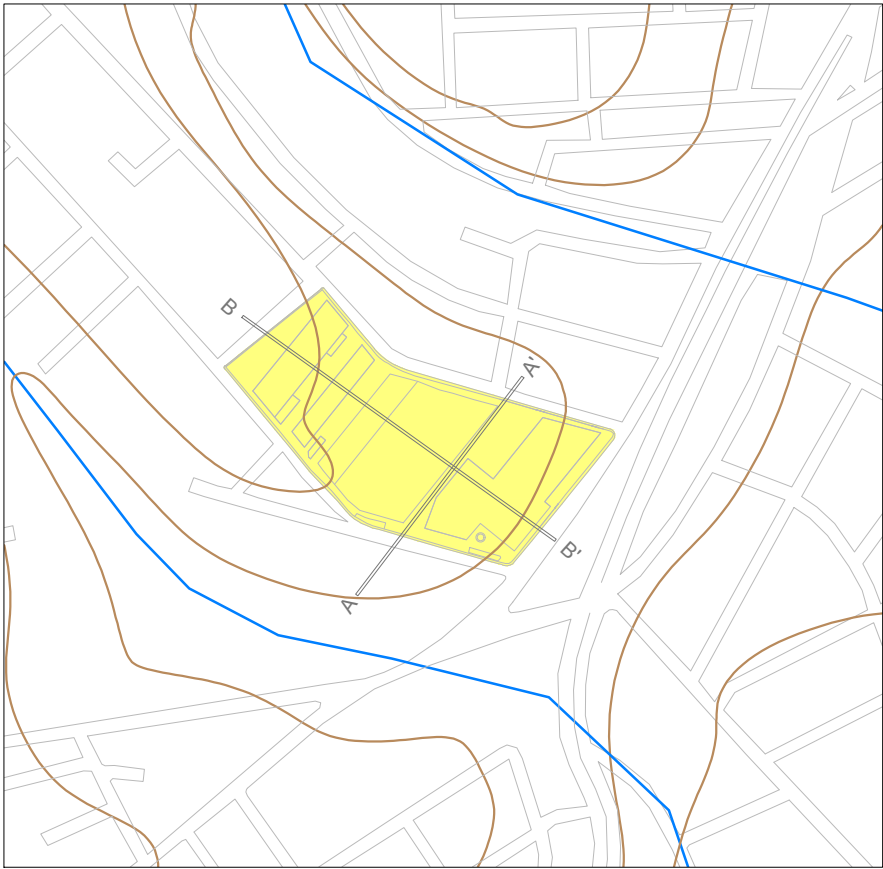
- Aterro: compreende um material argilo-arenoso, marrom avermelhada, variando entre 0,50 e 1,20m, mais expressiva nas proximidades dos prédios D e E (noroeste da área de estudo). Na porção sudeste do terreno, próxima ao prédio A, esta camada apresenta-se menos contínua;
- Sedimentos argilo-arenosos (Litologia LA): compreende uma sequência de sedimentos argilo-arenosos com variações na proporção argila-areia, coloração variegada (marrom, amarela, vermelha e cinza). Estes sedimentos apresentam-se como uma camada contínua, próximo à superfície, com espessura variando desde 2m (nordeste da área) a 9m (sudoeste da área). Em profundidade e em menor frequência, esta camada ocorre sob a forma de lentes, atingindo espessuras de até 1m;
- Sedimentos argilosos (Litologia LB): consiste em um pacote contínuo de argila plástica, localmente compactada, vermelha a cinza, com espessuras variando, aproximadamente, desde 1,5 a 8m. Assim como unidade LA, também ocorre, localmente, sob o formato de lentes, em profundidade;
- Sedimentos arenosos a areno-argilosos (Litologia LC): compreende uma sequência de sedimentos arenosos, finos a médios, podendo ocorrer ou não argila. A unidade LC é a de maior expressão na área de estudo, atingindo espessuras de até 26m. Esta camada, geralmente, ocorre entre as unidades LA e LB.
- Sedimentos argilosos compactos (Litologia LD): abrange sedimentos argilosos muito compactos, cinza esverdeados, podendo ocorrer frações de areia muito fina. O topo desta camada foi delimitado entre as cotas 715 e 717m, no entanto, não sua base não foi delimitada a partir dos poços de monitoramento existentes na área. Contudo, em

um dos estudos de investigação executado por uma das empresas no local, um dos poços de monitoramento instalados avançou aproximadamente 10m dentro dessa camada, sem conseguir ultrapassá-la, apresentando indícios de grande continuidade vertical.

A partir da análise dos perfis litológicos dos poços de monitoramento e dos dados topográficos da área de estudo, foi possível elaborar duas seções litoestratigráficas, de direções NE-SW e NW-SE, assim como um diagrama de cerca para melhor visualização da distribuição espacial das unidades litológicas, apresentadas nas Figuras 32 e 33, respectivamente.



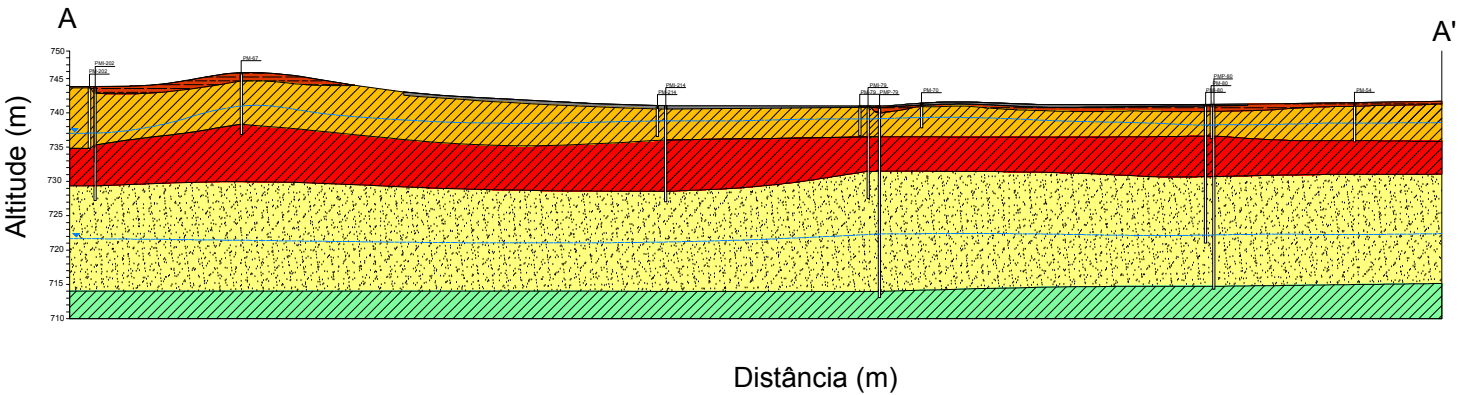
MAPA DE LOCALIZAÇÃO



LEGENDA

- Nível Estático (Inferido)
- Aterro.
- Argila-arenosa com variações na proporção argila-areia. (LA)
- Argila plástica a localmente compactada. (LB)
- Areia com fração granulométrica variando de fina a média, podendo apresentar matriz argilosa. (LC)
- Argila compactada, podendo apresentar pequena fração de areia (fina), cinza, esverdeada. (LD)

Seção A-A'



Seção B-B'

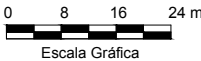
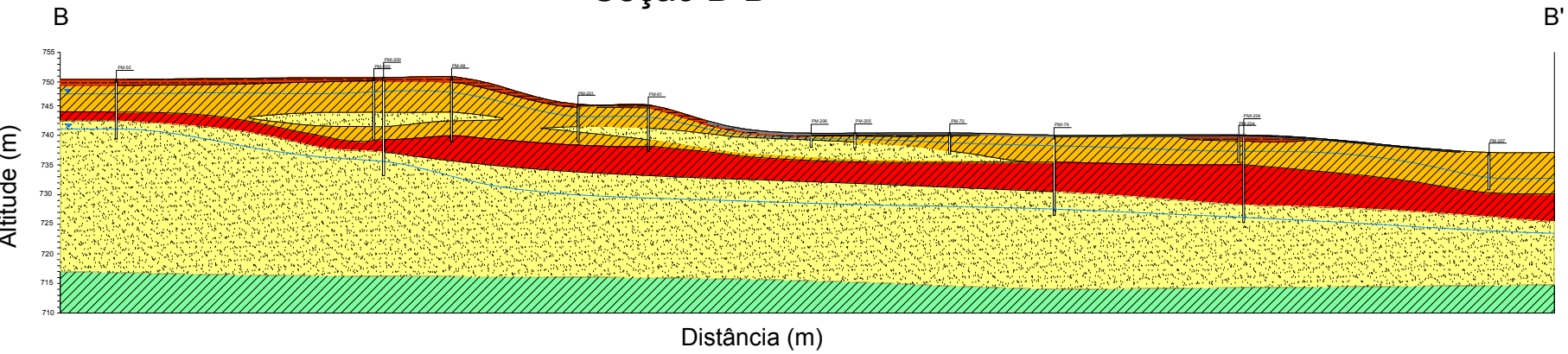
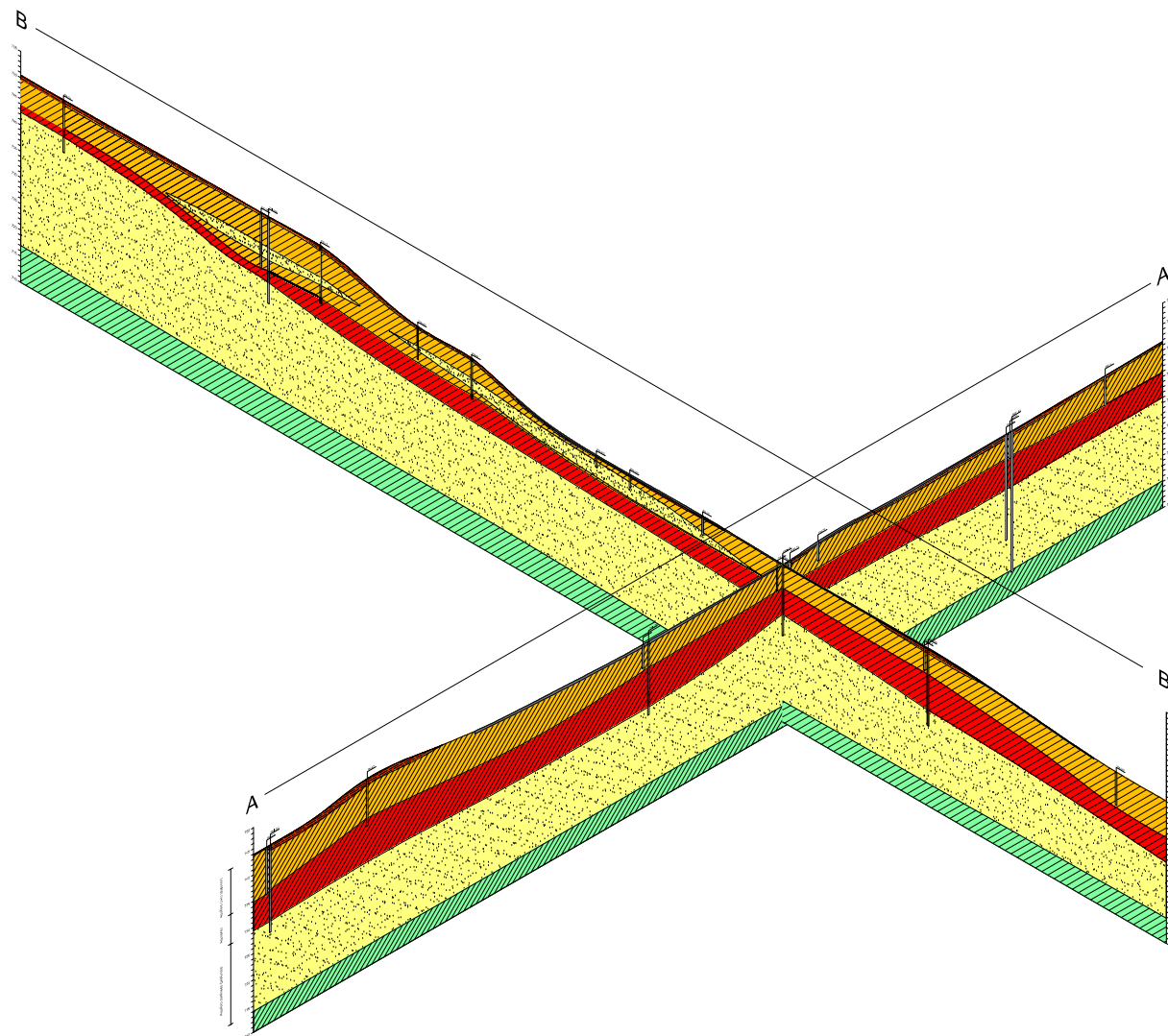


Figura 32. Seções Litoestratigráficas na Área de Estudo.



LEGENDA

-  Aterro.
-  Argila-arenosa com variações na proporção argila-areia. (LA)
-  Argila plástica a localmente compactada. (LB)
-  Areia com fração granulométrica variando de fina a média, podendo apresentar matriz argilosa. (LC)
-  Argila compactada, podendo apresentar pequena fração de areia (fina), cinza, esverdeada. (LD)

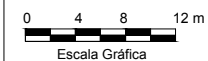


Figura 33. Representação das seções litoestratigráficas a partir do diagrama de cerca

6.2 Hidrogeologia Local

A partir da análise das seções litoestratigráficas da área de estudo, foi possível identificar a ocorrência de dois tipos de aquíferos, assim descritos:

- **Aquífero livre (superior):** aquífero de porosidade primária, livre, contínuo e heterogêneo. Esse aquífero é composto por sedimentos argiloarenosos coloração variegada, pertencentes à unidade LA. Possui espessura média de 6m, com nível d'água variando entre 2,06m, à jusante da área, a 10,11m, a oeste do local. O aquífero é limitado em sua base pela unidade litológica LB ou LC, alcançando profundidade máxima de 9m.
- **Aquitarde (intermediário):** camada semi-permeável, contínua, que delimita o aquífero confinado em sua porção superior. Essa camada compreende o pacote de argila plástica a localmente compacta da unidade litológica LB e possui espessuras variando entre 1,0 e 8,4m.
- **Aquífero confinado (profundo):** aquífero de porosidade primária, confinado e heterogêneo. É delimitado em seu topo e base pelas camadas argilosas de baixa permeabilidade (LB e LD). Apresenta nível d'água médio de 6,02m. Esse aquífero abrange os sedimentos arenosos, granulometria fina a média, da unidade litológica LC e possui espessura média de 15,9m.

6.3 Condutividade Hidráulica (K)

Neste tópico será abrangida uma gama de análises comparativas para a interpretação dos resultados, subdividida nos seguintes tópicos: i) comparação entre os deslocamentos teórico e de campo; ii) comparação entre os valores de condutividade hidráulica, obtidos a partir dos *slug* e *bail tests*; iii) comparação entre os valores de condutividade hidráulica obtidos a partir dos métodos de Hvorslev e Bouwer e Rice; e iv) correlação entre os valores de condutividade hidráulica e as unidades hidrogeológicas. Posteriormente, será efetuada uma discussão a respeito dos resultados obtidos.

6.3.1 Comparação entre os deslocamentos teórico ($\Delta H_{teórico}$) e de campo (ΔH_{campo})

O cálculo do deslocamento teórico ($\Delta H_{teórico}$) e a avaliação de sua magnitude representa um importante procedimento realizado, anterior a execução dos *slug* e *bail tests*. Segundo Neville (2011), a estimativa do deslocamento inicial é essencial, de modo que este valor possa ser comparado com o deslocamento observado em campo, para que seja possível verificar as condições em que tais ensaios foram executados e a velocidade com que o aquífero responde à mudança instantânea de carga.

Os resultados dos deslocamentos *teórico* ($\Delta H_{teórico}$) e *de campo* (ΔH_{campo}) são apresentados na Tabela 4. De acordo com os dados obtidos, constata-se que as diferenças entre $\Delta H_{teórico}$ e ΔH_{campo} variaram entre 3% e 425% (*slug tests*) e de 7% a 271% nos (*bail tests*). Segundo Butler *et al.* (1996), as diferenças entre ambos deslocamentos devem ser $\leq 10\%$.

Tabela 4. Tabela comparativa entre os valores de deslocamento teórico e de campo calculados para os poços de monitoramento.

Poço de Monitoramento	Unidade Hidrogeológica Atravessada pela Seção Filtrante	Descrição da Unidade Hidrogeológica	Tipo de Ensaio	$\Delta H_{teórico}$ (cm)	ΔH_{campo} (cm)	Diferença percentual (%)*
PM-79	LA	Sedimentos argilo-arenosos, com variações na proporção argila-areia	<i>Slug</i>	68,20	13,00	425%
			<i>Bail</i>	68,20	18,40	271%
PMP-210	LA		<i>Slug</i>	68,20	65,00	5%
			<i>Bail</i>	68,20	63,90	7%
PM-206	LC	Sedimentos arenosos, granulometria fina a média, podendo apresentar contribuições argilosas	<i>Slug</i>	68,20	15,00	355%
			<i>Bail</i>	68,20	61,00	12%
PMI-14	LC		<i>Slug</i>	68,20	63,50	7%
			<i>Bail</i>	68,20	62,50	9%
PMI-79	LC		<i>Slug</i>	68,20	54,00	26%
			<i>Bail</i>	68,20	56,00	22%
PMI-80	LC		<i>Slug</i>	68,20	65,00	5%
			<i>Bail</i>	68,20	61,00	12%
PMP-14	LD	Sedimentos argilosos compactos	<i>Slug</i>	68,20	66,00	3%
PMP-79			<i>Slug</i>	58,28	49,50	18%

*Valores em vermelho representam diferenças percentuais $\geq 10\%$.

A partir da Tabela 4 e da Figura 34, é possível observar que as maiores diferenças entre $\Delta H_{\text{teórico}}$ e ΔH_{campo} foram constatadas nos poços PM-79 (271% e 425%) e PM-206 (355%). Tais poços apresentam seções filtrantes posicionadas nas unidades litoestratigráficas LA e LC, compostas por sedimentos argilo-arenosos e areia fina à média, respectivamente.

As discrepâncias nos valores percentuais supracitados poderiam estar associadas aos seguintes fatores: a) efeitos do aprisionamento de ar na seção filtrante nos poços de monitoramento cuja seção filtrante está posicionada em unidades menos permeáveis, como LA e LD (p.e. poço PM-79, PMP-79); b) problemas associados aos mecanismos de inserção ou retirada do tarugo e registro dos dados, sobretudo no início dos ensaios, efetuados nos poços que atravessam a unidade LC (p.e. PM-206, PMI-79).

Na primeira situação, em poços que atravessam aquíferos com baixa condutividade hidráulica, o ar aprisionado na seção filtrante pode ser uma das causas dos baixos valores de ΔH_{campo} quando comparados aos valores de $\Delta H_{\text{teórico}}$.

Por sua vez, no segundo cenário, em poços perfurados em aquíferos cuja condutividade hidráulica é mais alta, diferenças significativas podem ser observadas entre $\Delta H_{\text{teórico}}$ e ΔH_{campo} , associadas principalmente ao registro de dados manuais no início dos testes.

Considerando que os poços PMI-79 e PM 206 estão instalados em porções da camada que apresentam maior condutividade hidráulica, conclui-se que grande parte do deslocamento inicial tenha se dissipado na formação antes da primeira leitura. Ademais, ressalta-se também a limitação do método adotado (inserção ou retirada do tarugo e registro manual dos valores de NA *versus* tempo), onde as premissas de que o tarugo é inserido instantaneamente na coluna d'água e de que os valores são registrados a partir deste mesmo instante, não ocorrem.

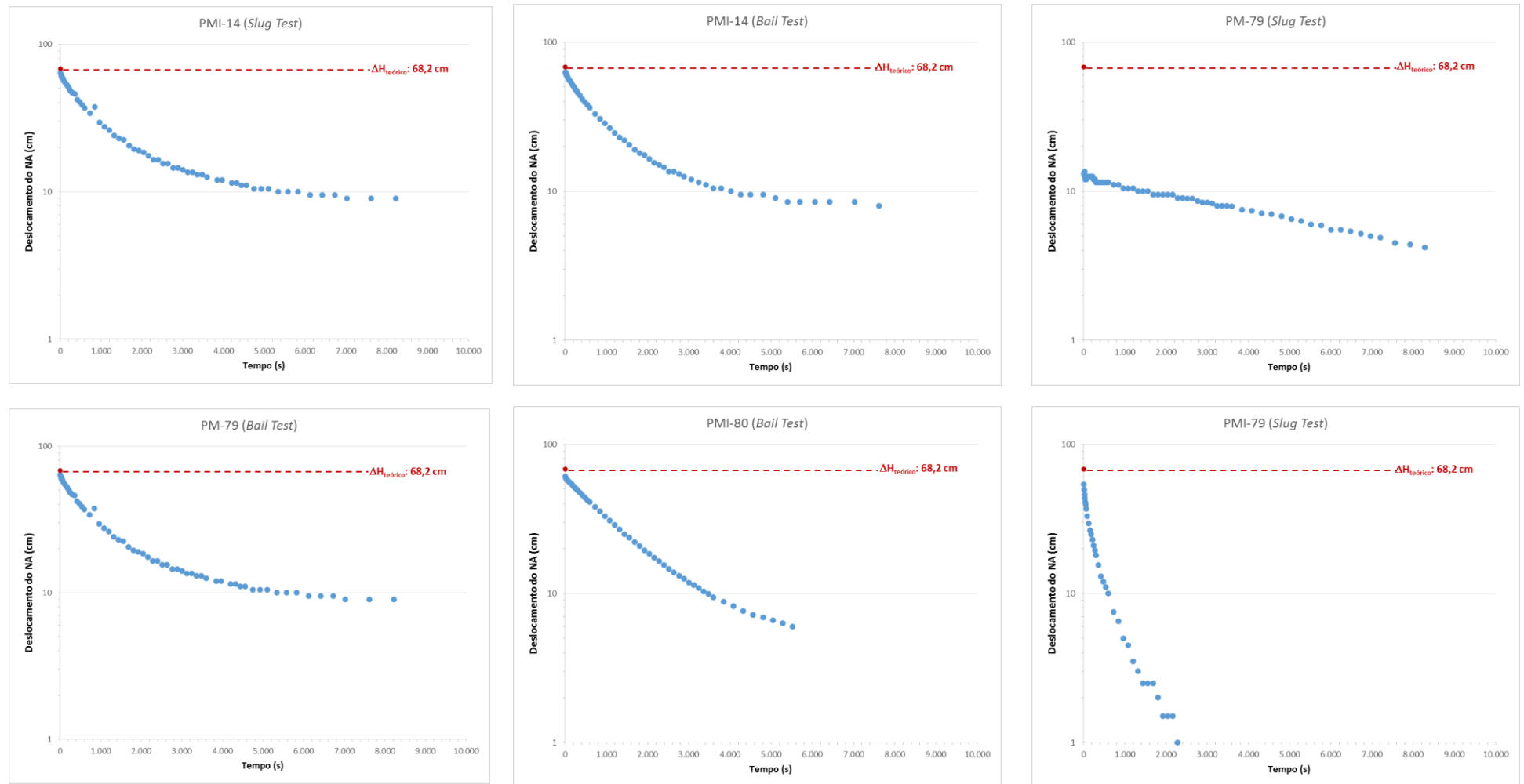


Figura 34. Relação entre os deslocamentos teórico e de campo para os poços de monitoramento.

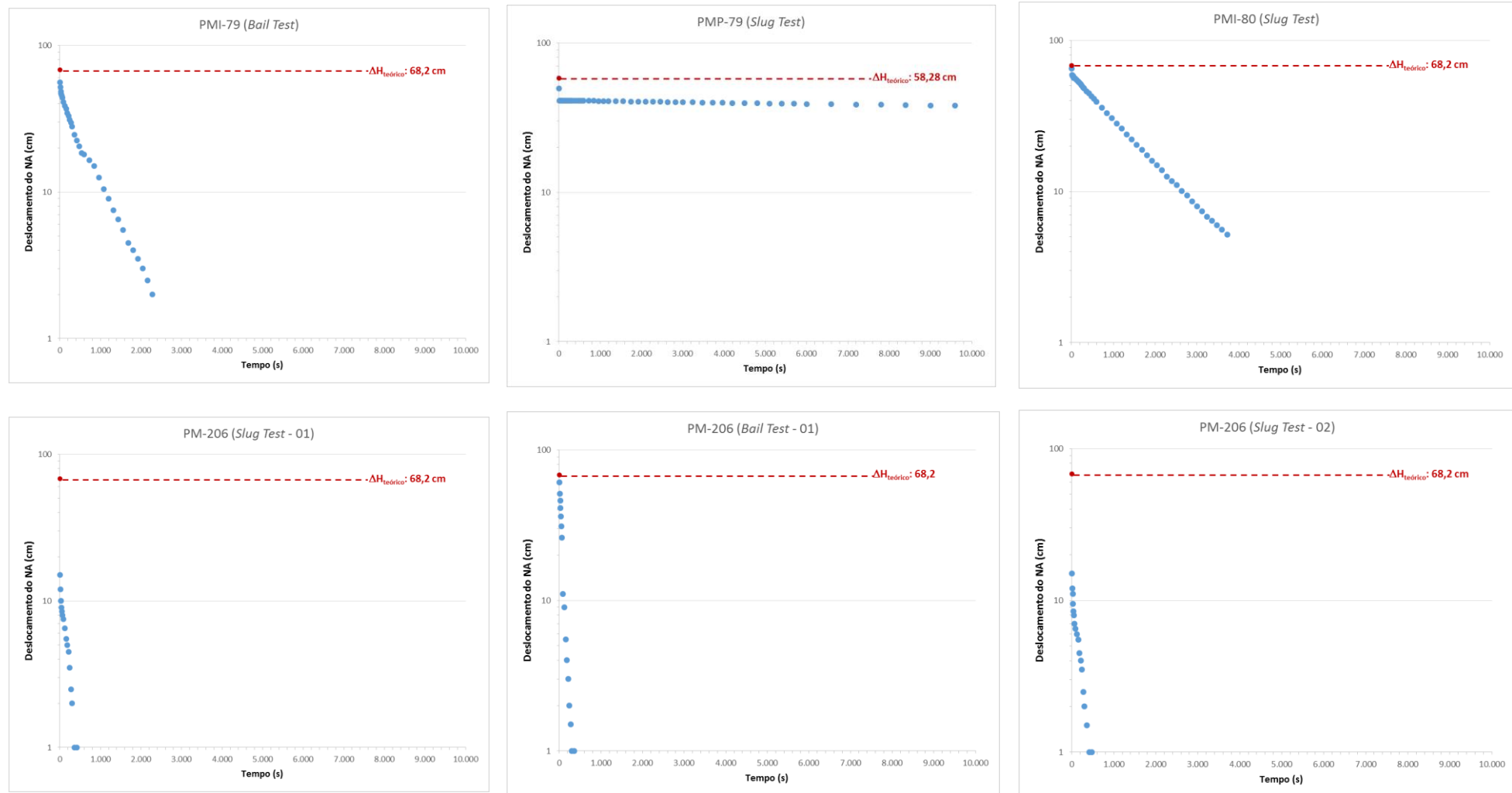


Figura 34. Relação entre os deslocamentos teórico e de campo para os poços de monitoramento.

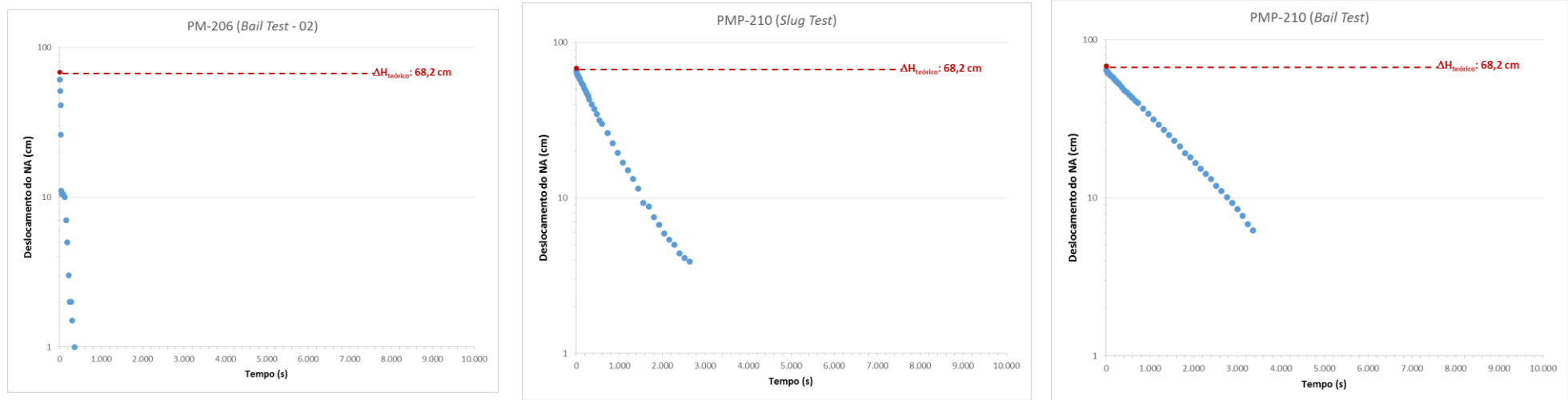


Figura 34. Relação entre os deslocamentos teórico e de campo para os poços de monitoramento.

Além disso, no poço PM-206, executou-se mais de um ensaio (*slug* e *bail tests*) para checagem dos dados, uma vez que os primeiros ensaios realizados nesses poços foram bastante rápidos. Os resultados dos deslocamentos de campo foram exatamente os mesmos (Tabela 5).

Tabela 5. Tabela de deslocamentos teórico e de campo referentes ao segundo ensaio realizado no PM-206.

Poço de Monitoramento	Unidade Litoestratigráfica Atravessada pela Seção Filtrante	Descrição da Unidade Litoestratigráfica	Tipo de Ensaio	$\Delta H_{\text{teórico}}$ (cm)	ΔH_{campo} (cm)	Diferença percentual (%)
PM-206*	LC	Sedimentos arenosos, granulometria fina a média.	<i>Slug</i>	68,20	15,00	355%
			<i>Bail</i>		61,00	12%

*Segundo ensaio realizado.

6.3.2 Comparação entre os Valores de Condutividade Hidráulica e os Tipos de Ensaio (*Slug* e *Bail Tests*)

Os valores de K obtidos nas etapas de *slug* e *bail tests*, considerando os diferentes métodos de interpretação, são apresentados nas Tabelas 7 e 8. Os resultados apresentados nas tabelas mostram que as diferenças percentuais nos valores de $\ln K$, entre os dois tipos de ensaio (*slug* e *bail tests*), variam de 1,4 a 41,7% (Método de Hvorslev) e 1,9 a 41,6% (Método de Bouwer e Rice).

As diferenças percentuais podem ser possivelmente explicadas pelos seguintes motivos: limitações impostas pela introdução ou retirada do tarugo no início do ensaio hidráulico e o estabelecimento do valor de deslocamento máximo (H_0), mais pronunciadas em poços de monitoramento cuja seção filtrante estava posicionada em camadas com maior porção de areia. Tal hipótese pode ser constatada, comparando-se os valores de $\Delta H_{\text{teórico}}$ e ΔH_{campo} dos poços, calculados para os dois tipos de ensaio (*slug* e *bail tests*), mostrados na Tabela 6.

Tabela 6. Tabela comparativa entre os deslocamentos teóricos e de campo nas etapas de slug e bail tests.

Poços de Monitoramento	Unidade Litoestratigráfica Atravessada pela Seção Filtrante **	$\Delta H_{\text{teórico}}$ (cm)	ΔH_{campo} (cm) <i>Slug Test</i>	ΔH_{campo} (cm) <i>Bail Test</i>	Diferença Percentual (%)
PM-79	LA	68,2	13,0	18,4	29,3
PMP-210	LA	68,2	65,0	63,9	1,7
PM-206	LC	68,2	15,0	61,0	75,4
PM-206*	LC	68,2	15,0	61,0	75,4
PMI-14	LC	68,2	63,5	62,5	1,6
PMI-79	LC	68,2	54,0	56,0	3,6
PMI-80	LC	68,2	65,0	61,0	6,6

*Segundo ensaio.

****LA** – Argila arenosa com variações na proporção argila-areia e **LC** – Areia com granulação de fina a média, podendo apresentar matriz argilosa.

As maiores diferenças percentuais foram registradas nos poços PM-79 e PM-206, cujas seções filtrantes estão posicionadas na unidade que possui maior condutividade hidráulica.

Tabela 7. Valores de condutividade hidráulica dos poços de monitoramento calculados segundo o método de Hvorslev para *slug* e *bail tests*.

Poços de Monitoramento	Unidade Litoestratigráfica Atravessada pela Seção Filtrante	K (cm/s): Método de Hvorslev – <i>Slug Test</i>	K (cm/s): Método de Hvorslev – <i>Bail Test</i>	Diferença Percentual (%)	- ln K: Método de Hvorslev – <i>Slug Test</i>	- ln K: Método de Hvorslev – <i>Bail Test</i>	Diferença Percentual (%)
PM-79	LA	$4,68 \times 10^{-6}$	$2,04 \times 10^{-6}$	129,4	12,3	13,1	6,3
PMP-210	LA	$8,63 \times 10^{-7}$	$5,27 \times 10^{-5}$	98,4	14,0	9,9	-41,7
PM-206	LC	$2,98 \times 10^{-4}$	$6,33 \times 10^{-4}$	52,9	8,1	7,4	-10,2
PM-206*	LC	$2,71 \times 10^{-4}$	$5,01 \times 10^{-4}$	45,9	8,2	7,6	-8,1
PMI-14	LC	$3,61 \times 10^{-5}$	$3,12 \times 10^{-5}$	15,7	10,2	10,4	1,4
PMI-79	LC	$1,26 \times 10^{-4}$	$9,80 \times 10^{-5}$	28,6	9,0	9,2	2,7
PMI-80	LC	$4,67 \times 10^{-5}$	$3,41 \times 10^{-5}$	37,0	10,0	10,3	3,1
Média geométrica	-	$3,5 \times 10^{-5}$	$6,2 \times 10^{-5}$				

Tabela 8. Valores de condutividade hidráulica dos poços de monitoramento calculados segundo o método de Bouwer e Rice para *slug* e *bail tests*.

Poços de Monitoramento	Unidade Litoestratigráfica Atravessada pela Seção Filtrante	K (cm/s): Método de Bouwer e Rice – <i>Slug Test</i>	K (cm/s): Método de Bouwer e Rice – <i>Bail Test</i>	Diferença Percentual (%)	- ln K: Método de Bouwer e Rice – <i>Slug Test</i>	- ln K: Método de Bouwer e Rice – <i>Bail Test</i>	Diferença Percentual (%)
PM-79	LA	$2,90 \times 10^{-6}$	$1,26 \times 10^{-6}$	130,2	12,8	13,6	6,1
PMP-210	LA	$7,21 \times 10^{-7}$	$4,61 \times 10^{-5}$	98,4	14,1	10,0	-41,6
PM-206	LC	$1,75 \times 10^{-4}$	$3,75 \times 10^{-4}$	53,3	8,7	7,9	-9,7
PM-206*	LC	$1,60 \times 10^{-4}$	$2,97 \times 10^{-4}$	46,1	8,7	8,1	-7,6
PMI-14	LC	$2,66 \times 10^{-5}$	$3,24 \times 10^{-5}$	17,9	10,5	10,3	-1,9
PMI-79	LC	$9,63 \times 10^{-5}$	$7,47 \times 10^{-5}$	28,9	9,2	9,5	2,7
PMI-80	LC	$3,90 \times 10^{-5}$	$2,85 \times 10^{-5}$	36,8	10,2	10,5	3,0
Média geométrica	-	$2,5 \times 10^{-5}$	$4,6 \times 10^{-5}$				

Contudo, parece que as diferenças entre os deslocamentos máximos nos poços (Figuras 35 e 36) não são apenas os únicos fatores responsáveis pelos valores relativamente distintos de K, calculados entre as etapas de *slug* e *bail tests*.

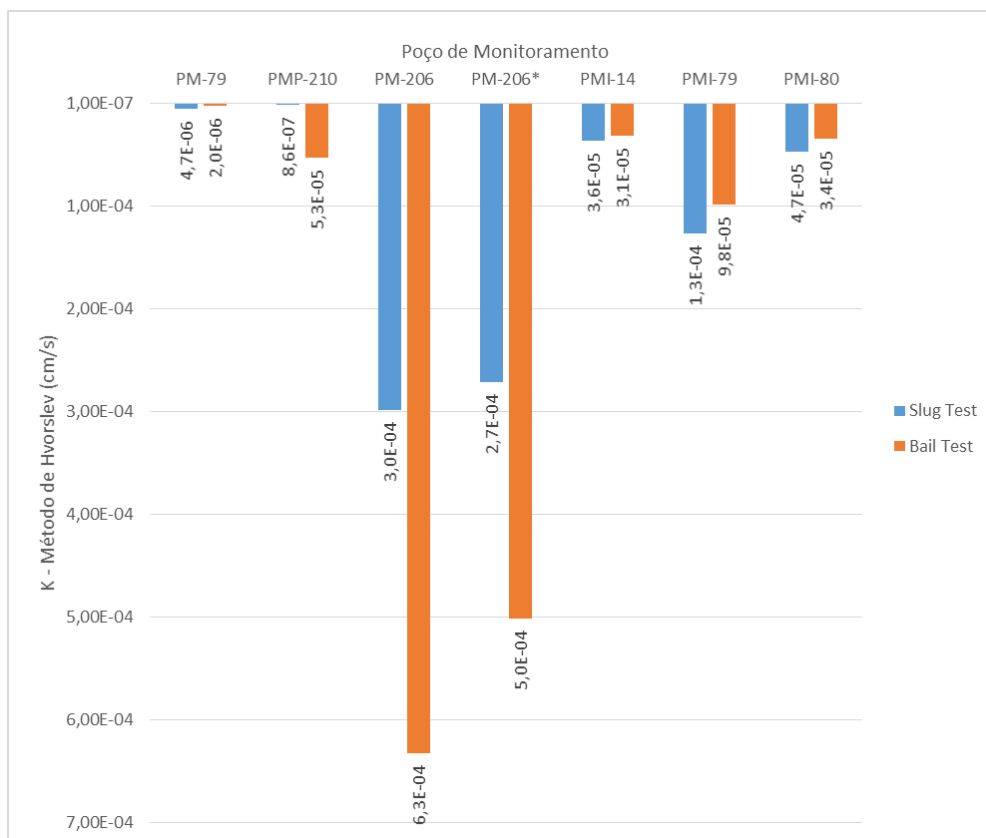


Figura 35. Histograma dos valores de condutividade hidráulica obtidos a partir do método de Hvorslev durante as etapas de *slug* e *bail tests*.

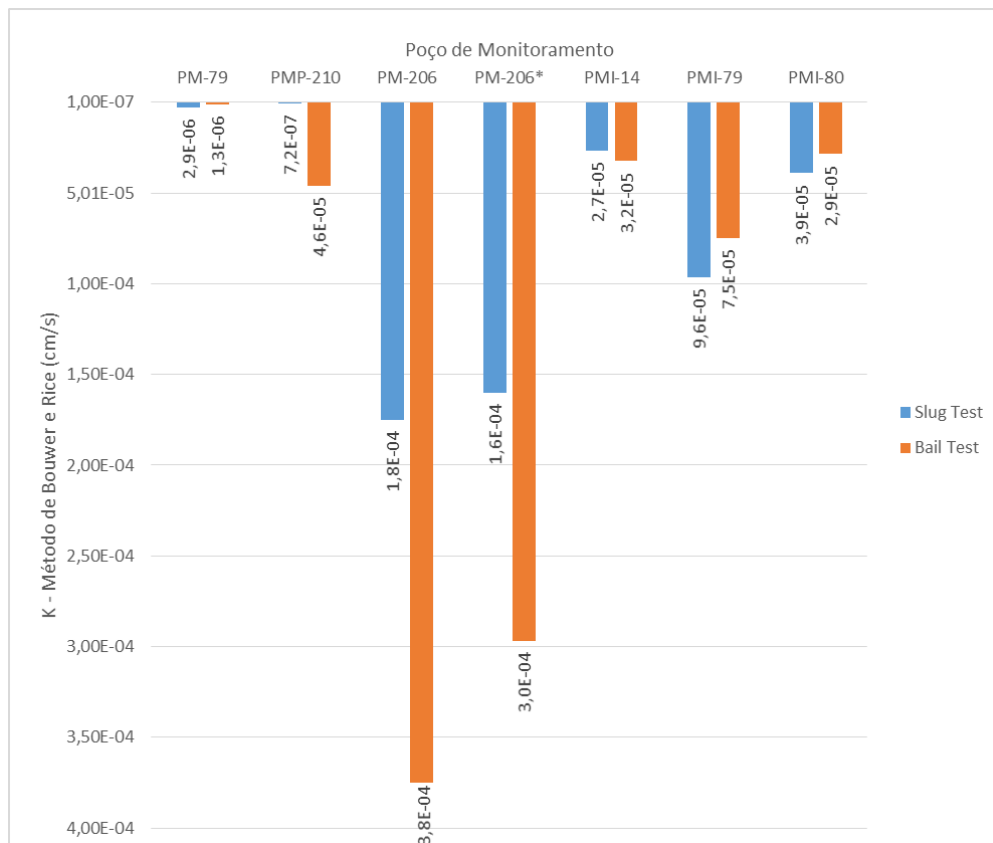


Figura 36. Histograma dos valores de condutividade Hidráulica obtidos a partir do método de Bouwer e Rice durante as etapas de *slug* e *bail tests*.

Segundo Butler *et al.* (1996), tal comportamento é uma indicação de que o pré-filtro ou alguma porção da formação, nas vizinhanças do poço, está sendo alterada durante a realização dos ensaios, de modo a formar o denominado *low-permeability well skin*. Uma possível explicação é de que parte do material fino é mobilizada pela inserção ou remoção do tarugo, gerando um decréscimo progressivo na condutividade hidráulica do aquífero durante a execução do ensaio hidráulico. De acordo com os autores, seria necessária a realização de vários ensaios para os mesmos poços, pelo menos três, distribuídos em um curto espaço de tempo, para averiguar a ocorrência de tais comportamentos e separar a dependência dos valores de H_0 em relação ao efeito *skin*.

Ademais, Butler (1997) propõe especial atenção aos aspectos construtivos dos poços e a eficácia no desenvolvimento dos mesmos. Uma vez que uma limpeza mal sucedida não é capaz de minimizar o efeito *skin*, responsável pelas diferenças entre os valores de K obtidos durante a execução dos *slug* e *bail tests*. Em condições ideais, onde os deslocamentos máximos registrados nas duas etapas são os mesmos, os valores de K registrados seriam os mesmos.

De acordo com Powers *et al.*, (2007) os resultados de K obtidos pela realização dos *bail test* são, na maioria das vezes, mais confiáveis que aqueles calculados pelo *slug test*. Isto

acontece pois na segunda etapa do ensaio (*bail test*) os sedimentos mais finos na porção exposta do aquífero são mais facilmente empurrados para dentro do poço, sendo a resistência ao fluxo muito menor. Consequentemente, os valores de K obtidos pela realização dos *bail tests* podem apresentar diferenças, muitas vezes superiores a uma ordem de magnitude quando comparados àqueles obtidos pelo *slug tests*. Isso pode ser observado no poço PMP-210, nas Figuras 35 e 36, onde há variação de até duas ordens de grandeza (10^{-5} e 10^{-7} cm/s) entre as etapas de *slug* e *bail test*.

6.3.3 Comparação entre os Valores de Condutividade Hidráulica (K) e os Métodos de Interpretação

Conforme discutido no item 4.1.1, a interpretação dos dados e respectivo cálculo da condutividade hidráulica a partir da execução dos *slug* e *bail tests* pode ser realizada mediante inúmeras soluções analíticas, desenvolvidas para tal finalidade.

De acordo com o apresentado por Todd e Mays (2005), conforme a geometria dos poços de monitoramento existentes na área de estudo, a respectiva relação entre o posicionamento dos níveis d'água em relação às seções filtrantes e o aquífero em que estes estão inseridos, os mesmos enquadram-se nos casos 1 e 3 (aquífero livre, poços parcialmente ou totalmente penetrantes), e nos casos 7 e 8 (aquífero confinado e poços parcialmente penetrantes). Ainda segundo os autores, os métodos mais apropriados para o cálculo de K nos poços de monitoramento presentes na área de estudo, que se enquadram nos casos supracitados seriam:

- a) Casos 1 e 3 – **Poços instalados no aquífero LA**: Bouwer e Rice, Dagan, KGS;
- b) Casos 7 e 8 – **Poços perfurados no aquífero LC e camada confinante LD**: Hvorslev, Dagan, KGS (poços parcialmente penetrantes), Bouwer e Rice (bastante apropriado, quanto maior é a distância entre o topo da seção filtrante e a camada confinante).

Diante dessas premissas, nesta monografia foram utilizados os métodos de Hvorslev e Bouwer e Rice para a interpretação dos valores de K de todos os poços ensaiados, por serem mais simples e pelo fato das demais soluções analíticas (p.e. Dagan e KGS) serem mais complexas e requererem um número maior de informações.

Sendo assim, as condutividades hidráulicas calculadas para cada poço, mediante os tipos de ensaio (*slug* e *bail tests*) e os métodos adotados, são apresentados no **Anexo B** e organizados, sistematicamente, na Tabela 9.

Tabela 9. Valores de condutividade hidráulica calculados conforme o tipo de ensaio e o método de interpretação.

Poço de Monitoramento	Unidade Litoestratigráfica Atravessada pela Seção Filtrante	Descrição da Unidade Litoestratigráfica	Tipo de Ensaio	K - Método de Hvorslev (cm/s)	K - Método de Bouwer e Rice (cm/s)	Diferença percentual (%)	- ln (K) - Método de Hvorslev	-ln (K) - Método de Bouwer e Rice	Diferença Percentual (%)
PM-79	LA	Sedimentos argilo-arenosos com variações na proporção argila-areia	<i>Slug</i>	$4,68 \times 10^{-6}$	$2,90 \times 10^{-6}$	-61,38	12,27	12,75	3,8
			<i>Bail</i>	$2,04 \times 10^{-6}$	$1,26 \times 10^{-6}$	-61,90	13,10	13,58	3,5
PMP-210	LA		<i>Slug</i>	$8,63 \times 10^{-7}$	$7,21 \times 10^{-7}$	-19,69	13,96	14,14	1,3
			<i>Bail</i>	$5,27 \times 10^{-5}$	$4,61 \times 10^{-5}$	-14,32	9,85	9,98	1,3
PM-206	LC	Sedimento arenosos de granulometria fina a média, podendo apresentar contribuições argilosas	<i>Slug</i>	$2,98 \times 10^{-4}$	$1,75 \times 10^{-4}$	-70,29	8,12	8,65	6,2
			<i>Bail</i>	$6,33 \times 10^{-4}$	$3,75 \times 10^{-4}$	-68,80	7,37	7,89	6,6
PM-206*	LC		<i>Slug</i>	$2,71 \times 10^{-4}$	$1,60 \times 10^{-4}$	-69,38	8,21	8,74	6,0
			<i>Bail</i>	$5,01 \times 10^{-4}$	$2,97 \times 10^{-4}$	-68,69	7,60	8,12	6,4
PMI-14	LC		<i>Slug</i>	$3,61 \times 10^{-5}$	$2,66 \times 10^{-5}$	-35,71	10,23	10,53	2,9
			<i>Bail</i>	$3,12 \times 10^{-5}$	$3,24 \times 10^{-5}$	3,70	10,38	10,34	0,4
PMI-79	LC		<i>Slug</i>	$1,26 \times 10^{-4}$	$9,63 \times 10^{-5}$	-30,84	8,98	9,25	2,9
			<i>Bail</i>	$9,80 \times 10^{-5}$	$7,47 \times 10^{-5}$	-31,19	9,23	9,50	2,9
PMI-80	LC		<i>Slug</i>	$4,67 \times 10^{-5}$	$3,90 \times 10^{-5}$	-19,74	9,97	10,15	1,8
			<i>Bail</i>	$3,41 \times 10^{-5}$	$2,85 \times 10^{-5}$	-19,65	10,29	10,47	1,7
PMP-14	LD	Sedimentos argilosos compactos	<i>Slug</i>	$8,06 \times 10^{-7}$	$8,75 \times 10^{-7}$	7,89	14,03	13,95	0,6
PMP-79			<i>Slug</i>	$4,88 \times 10^{-7}$	$3,95 \times 10^{-7}$	-23,54	14,53	14,74	1,4

De acordo com os dados da Tabela 9, é possível observar que os valores de K, calculados pelo método de Hvorslev, variaram entre $4,88 \times 10^{-7}$ e $6,33 \times 10^{-4}$ cm/s. Por sua vez, considerando o método de Bouwer e Rice, os resultados estiveram entre $3,95 \times 10^{-7}$ e $3,75 \times 10^{-4}$ cm/s.

Ainda de acordo com a Tabela 9, nota-se que os valores de K obtidos pelo método de Hvorslev são relativamente maiores do que aqueles calculados pelo método de Bouwer e Rice para todas as unidades hidrogeológicas (LA, LC e LD), com diferença percentual entre ambos variando entre 0,4 a 6,6%.

Esta diferença nos valores de K, obtidos a partir desses dois métodos, pode ser explicado pois o método de Bouwer e Rice considera em sua solução analítica, além da geometria dos poços, os efeitos do pré-filtro, ao contrário do que é preconizado pela solução de Hvorslev que considera apenas os efeitos do comprimento da seção filtrante e os diâmetros da perfuração e do revestimento.

Outro ponto a ser considerado, pode ser visto nos gráficos *semi-log*, de carga normalizada (h/h_0) *versus* tempo, referentes ao poço PMI-14 (Figura 37). O gráfico referido apresenta uma leve curvatura e isto pode ser explicado pelos efeitos de armazenamento no aquífero (Butler, 1997; Neville, 2011). Salienta-se que os métodos de Hvorslev e Bouwer e Rice desconsideram os efeitos de armazenamento, sendo estas soluções analíticas baseadas nos modelos de armazenamento nulo (*zero-storage models*). Nestas condições, é de suma importância considerar tais efeitos, sobretudo ao ajustar a reta do gráfico, não sendo considerada a primeira inclinação para o cálculo da condutividade hidráulica.

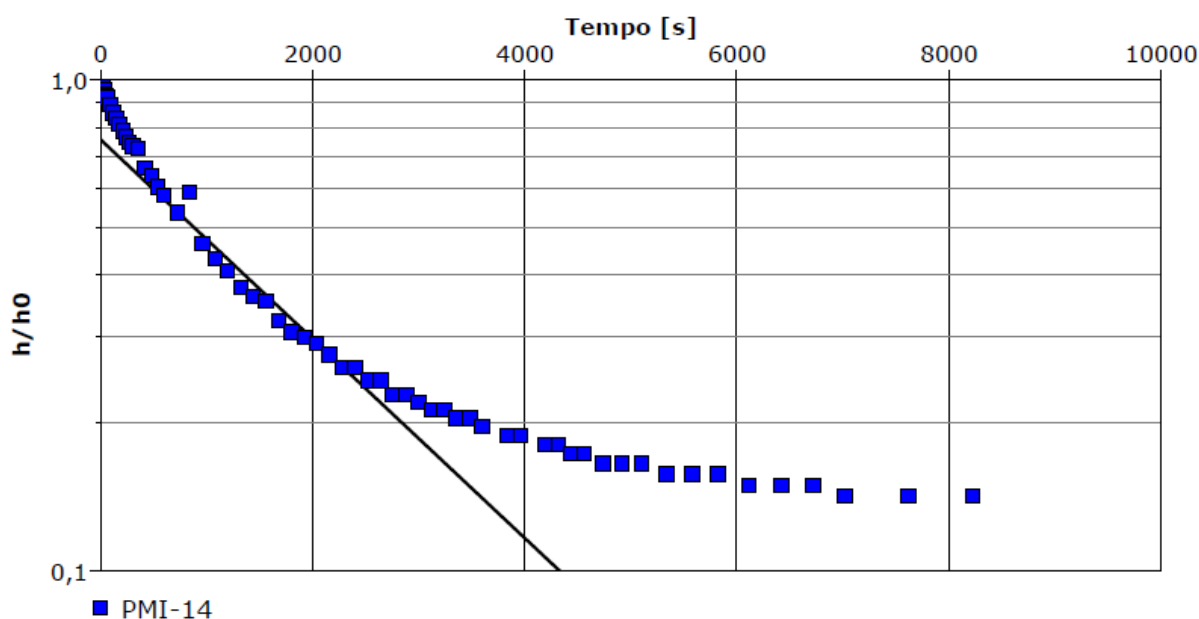


Figura 37. Gráfico *semi-log* da carga normalizada *versus* tempo do poço PMI-14.

6.3.4 *Correlação entre a Condutividade Hidráulica e Unidades Hidrogeológicas*

Os valores de condutividade hidráulica obtidas através dos poços de monitoramento da área de estudo para ambos os métodos, analisados conforme a Tabela 9, indicaram os seguintes valores de K para as respectivas unidades hidrogeológicas: LA (sedimentos argilo-arenosos) pertencente ao aquífero livre, apresentaram valores de K entre $1,26 \times 10^{-6}$ e $4,68 \times 10^{-6}$ cm/s; LC (sedimentos arenosos), pertencente ao aquífero confinado, apresentaram valores de K variando entre $7,21 \times 10^{-7}$ e $6,33 \times 10^{-4}$ cm/s; e LD (sedimentos argilosos compactos), unidade basal que delimita o aquífero confinado, apresenta valores de K entre $3,95 \times 10^{-7}$ e $8,75 \times 10^{-7}$ cm/s.

Todos os valores apresentados encontram-se condizentes com a faixa de valores de condutividade hidráulica de sedimentos inconsolidados, proposta por diversos autores (Freeze e Cherry, 1979; Heath, 1983; Feitosa e Filho, 2000). Somente a condutividade hidráulica da unidade aquífera LC, apresentou valores com diferenças em sua ordem de grandeza (10^{-7} e 10^{-4} cm/s) isso pode ser explicado pela presença de lentes mais argilosas de baixa condutividade, em profundidade, nesta unidade aquífera.

No entanto, cabe salientar que para uma melhor caracterização de K na área estudada, caberia a realização de mais ensaios em outros poços que atravessam as unidades identificadas na área, bem como a repetição dos testes em cada poço, de modo a descartar possíveis interferências inerentes ao meio poroso.

6.3.5 Discussão dos Resultados

As condutividades hidráulicas obtidas pelos métodos de Hvorslev e Bouwer e Rice (1976) apresentaram alta correlação para todas as unidades hidrogeológicas analisadas (LA, LC e LD). Sendo os que os valores de K obtidos pelo método de Hvorslev são levemente maiores do que aqueles calculados pelo método de Bouwer e Rice.

Para avaliar a confiabilidade destes resultados foram realizados comparativos sob diferentes perspectivas, como a relação entre *slug* e *bail test* e os métodos de interpretação utilizados. Foram também realizados comparativos entre o deslocamento teórico e o deslocamento real obtido em campo.

De acordo com a teoria convencional, as respostas de deslocamento de campo obtidas deveriam ser independentes da etapa realizada, considerando que os poços de monitoramento se apresentam afogados. No entanto, nos resultados dos ensaios supracitados isto nem sempre é observado, onde há dependência do tipo de ensaio e o deslocamento inicial. Segundo Butler *et al.* (1996) isso pode ser causado pela falta de desenvolvimento adequado ou pela inserção ou retirada do tarugo, que gerariam distúrbios no fundo do poço de monitoramento, ocasionando o efeito *skin*. Outro motivo seria pela dificuldade encontrada em ensaios realizados manualmente, com a perda de dados iniciais por conta do tempo necessário para inserção ou retirada do tarugo.

Além disso, em formações muito permeáveis é possível que as respostas dos ensaios sejam dependentes do mecanismo utilizados para o início do teste em aquíferos livres em que o nível d'água esteja muito próximo ou atravessando a seção filtrante dos poços de monitoramento. Pois nestes casos, pode ocorrer o efeito de drenança do pré-filtro, onde os valores de K serão superestimados principalmente em etapas de *bail test* (Butler *et al.*, 1996).

Segundo os autores, para que seja possível separar a dependência dos valores de deslocamento máximo com efeito *skin*, seria necessária realização de pelo menos três ensaios por poço de monitoramento.

Em relação aos métodos de interpretação utilizados, foi averiguado que o Método de Bouwer e Rice apresentam valores de condutividade hidráulica levemente menores que os Métodos de Hvorslev. Segundo Fabbri *et al.*, (2012) este fenômeno pode ser causado justamente pela proximidade do nível d'água com a seção filtrante do poço.

Há ainda, conforme citado anteriormente, outros métodos de interpretação que poderiam refletir em valores que consideram efeitos de armazenamento de aquífero, como os métodos de Dagan e KGS, por exemplo. Entretanto, estes métodos apesar de serem mais rigorosos na obtenção da condutividade hidráulica, requerem um número muito grande de dados em relação aos parâmetros construtivos dos poços de monitoramento, os quais muitas

vezes não são facilmente acessíveis e que necessitariam de estudos mais aprofundados não contemplados em um Trabalho de Formatura.

Dessa maneira, nos casos apresentados, uma boa alternativa para o cálculo de condutividade hidráulica seria utilizar o Método de Bouwer e Rice, onde são considerados os efeitos do pré-filtro, e são aplicados tanto para aquíferos livres, quanto para confinados.

7 CONCLUSÕES

Na área de estudo, situada no município de Guarulhos, foram identificadas três unidades hidrogeológicas. A unidade superior é definida como um aquífero livre, porosidade primária, composto por sedimentos argilo-arenosos (LA). Além deste aquífero, foi identificado um aquífero confinado, basal, também de porosidade primária, composto por sedimentos arenosos, granulometria fina a média (LC), delimitado, no topo e na base, por camadas confinantes, argilosas (LB e LD), definidas como aquitardes.

Os *slug* e *bail tests* realizados em 07 poços de monitoramento instalados na área, representativos de cada unidade hidrogeológica foram analisados segundo os métodos de Hvorslev e Bouwer e Rice. Estas soluções indicaram valores de K próximos entre si, para todas as unidades hidrogeológicas avaliadas, com valores obtidos através do Método de Hvorslev levemente maiores quando comparados ao Método Bouwer e Rice.

O cálculo do deslocamento teórico e a comparação realizada com aquele registrado em campo foi de grande importância para a verificação da eficácia dos ensaios, assim como os possíveis fatores que causaram as diferenças nos valores registrados.

Essas variações causadas por diversos fatores, como aspectos construtivos dos poços de monitoramento, desenvolvimento não adequado dos poços, efeitos de *low-pemeability well skin* podem refletir vigorosamente nos resultados de condutividade hidráulica obtidas para os ambos os métodos utilizados, sendo necessário dar a devida atenção durante a execução dos ensaios, na escolha do método interpretativo, também sendo considerado o contexto aquífero local.

A partir da análise dos resultados optou-se pela utilização do Método de Bouwer e Rice, devido a este levar em consideração não só a geometria dos poços de monitoramento, mas também o ajuste do pré-filtro que pode influenciar principalmente poços em situação não-afogada. Além disso, é um método mais simples que não requer uso de softwares complexos e o conhecimento de parâmetro aquíferos muitas vezes não disponíveis.

Os resultados obtidos nas unidades hidrogeológicas inseridas na área de estudo segundo a solução de Bouwer e Rice indicaram uma condutividade hidráulica que varia entre $2,9 \times 10^{-6}$ e $1,3 \times 10^{-6}$ cm/s para a unidade argilo-arenosa, valores entre $3,7 \times 10^{-4}$ e $2,7 \times 10^{-5}$ cm/s para a unidade arenosa com porções mais argilosas e valores de condutividade hidráulica variando entre $8,75 \times 10^{-7}$ e $3,95 \times 10^{-7}$ cm/s para as camadas confinantes.

Analisando os dados apresentados, conclui-se que os mesmos constituem um número reduzido para realizar interpretações em relação a dependência entre valores de deslocamento inicial e valores afetados por efeitos *skin*. Esse fato, deveu-se principalmente a

necessidade de realização do desenvolvimento dos poços de monitoramento e a dificuldade de acesso a área de estudo que foi tratada com completo sigilo.

Ademais, em poços de monitoramento situados estão instalados em unidades hidrogeológicas com K moderado a alto, sugere-se a utilização de equipamentos adequados (*p.e.* transdutores de pressão, *slug* pneumático) para o registro dos valores de NA *versus* tempo, aumentando a representatividade dos valores de deslocamento inicial e condutividade hidráulica calculadas.

Desta maneira, a realização de um maior número de ensaios nos mesmos poços juntamente com auxílio de transdutores de pressão em camadas de maior K, permitirá uma melhor interpretação dos resultados. Tendo em vista, que a execução adequada de *slug* e *bail tests* está sendo cada vez mais valorizada, em consequência ao aumento do grau de exigência dos órgãos ambientais nacionais.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, F.F.M., Hasui, Y., Brito Neves, B.B., Fuck, R.A. (1977). As províncias estruturais brasileiras. *Sociedade Brasileira de Geologia, Simpósio de Geologia do Nordeste*, v. 8, Atas, p. 363-391.

Almeida, F. F. M., Hasui, Y., Brito-Neves, B. B., Fuck, R. A. (1981). *Brazilian Structural Provinces: An Introduction* (v. 17). *Earth-Sci. Rev.*, p. 1-29.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2007). Norma para construção de Poços de Monitoramento em Aquíferos Granulares: NBR 15.495-1. Rio de Janeiro.

Black, J.H. (2010). The practical reasons why slug tests (including falling and rising head tests) often yield the wrong value of hydraulic conductivity. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, vol. 43, p. 345-358.

Berrocal, R. A. (2002). *Avaliação de testes de condutividade hidráulica "in situ" utilizando o método "slug test"*. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Bouwer, H., Rice, R. C. (1976). A Slug Test Method for Determining Hydraulic Conductivity of Unconfined Aquifers with Completely or Partially Penetrating Wells. *Water Resources Research*, v.12, n.3, p. 423-428.

Bouwer, H. (1989). The Bouwer and Rice Slug Test - an Update. *Ground Water*, v. 27, n. 3, p. 304-309.

Butler, J.J. Jr. (1996). Slug tests in site characterization: Some practical considerations. *Environmental Geosciences*, v. 3, n. 3, p. 154-163.

Butler, J.J. Jr., Mcweel, C.D., Liu, W. (1996). Improving the quality of parameter estimates obtained from slug tests. *Ground Water*, v. 34, n. 3, p. 480-490.

Butler Jr, J. J. (1997). *The design, performance, and analysis of slug tests*. Crc Press.

Campos, J. E., Ferreira L. M., Albuquerque Filho, J. L., Kakazu, M. C. (2002). Síntese do conhecimento hidrogeológico da Bacia Sedimentar de São Paulo. *Águas Subterrâneas*, n.1.

Campos, J. E., Albuquerque Filho, J.L. (2005). Aquífero São Paulo. In: Rocha, G. A. J., Fernandes, M. M. *Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo, Nota explicativa*, DAEE/IG/CPRM/IPT, p. 52-56.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Decisão de Diretoria Nº 038/2017/C. (2017). Dispõe sobre a aprovação do “Procedimento para a Proteção da Qualidade do Solo e das Águas Subterrâneas”, da revisão do “Procedimento para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas” e estabelece “Diretrizes para Gerenciamento de

Áreas Contaminadas no Âmbito do Licenciamento Ambiental”, em função da publicação da Lei Estadual nº 13.577/2009 e seu Regulamento, aprovado por meio do Decreto nº 59.263/2013, e dá outras providências. São Paulo.

Chen, C., Sie, Y., Lin, Y. (2012). A Review of the Multilevel Slug Test for Characterizing Aquifer Heterogeneity. *Terrestrial, Atmospheric & Oceanic Sciences*, v. 23, n. 2.

Chirlin, G. R. (1989). A critique of the Hvorslev method for slug test analysis: The fully penetrating well. *Groundwater Monitoring & Remediation*, v. 9, n. 2, p. 130-138.

Cooper, H.H., Jr., J.D. Bredehoeft, Papadopoulos, I.S. (1967). Response of a finite diameter well to an instantaneous charge of water. *Water Resources Research*, vol. 3, no. 1, p. 263-269.

Diniz, H.N. (1996). *Estudo do potencial hidrogeológico da bacia hidrográfica do rio Baquirivu-Guaçu, municípios de Guarulhos e Arujá, SP*. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 296 p.

Diniz H. N., Duarte U., Kobayashi H. N. (1994). Hidrogeologia da Região do Aeroporto Internacional de São Paulo, Graben do Baquirivu-Guaçu, Município de Guarulhos, SP. *Águas Subterrâneas*, 06 p.

Espósito, M., Nascimento, N. C., Ongaratto, C. (2012). *Análise Comparativa dos Valores de Condutividade Hidráulica em Manto de Alteração através de Ensaios Laboratoriais e de Campo*. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-graduação), Centro Universitário Senac, São Paulo.

Fabbri, P., Ortombina, M., & Piccinini, L. (2012). Estimation of hydraulic conductivity using the slug test method in a shallow aquifer in the Venetian plain (NE, Italy). *Aqua mundi*, v. 3-2, p. 125-133.

FABHAT – Fundação Agência da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. (2015). Relatório de Situação dos Recursos Hídricos, Bacia Hidrográfica do Alto do Tietê – UGRHI 06. São Paulo, 174 p.

Freeze, R., Cherry, J. (1979). *Groundwater*. New Jersey, Prentice-Hall. 604 p.

Feitosa, F. A. C., Manoel Filho, J., Feitosa, E. C., Demetrio, J. G. A. (2008). *Hidrogeologia: Conceitos e aplicações*. 3a Edição Revisada e Ampliada. CPRM Serviço Geológico Nacional.

Fernandes, A.J., Christofolletti C., Pino D., Simonato, M.D., Pinhatti, A., Conicelli, B.P., Hirata, R., Bertolo, R. (2016). Avaliação regional e identificação de critérios para locação de poços nos aquíferos fraturados da RMSP. *XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, 15 p.

Ferraz, F. M., Miyashiro N. J., Riyis M. T., Cunha R. C. A. (2015). Estudo da condutividade hidráulica obtida em ensaios de campo: infiltração em sondagens e *slug test* em poços de monitoramento. *InterfacEHS*, v. 10, n. 1.

Ferris, J. G., Knowles, D. B. (1954). Slug test for estimating transmissibility. *US. Geol. Survey Ground Water*, n. 26.

Fetter, C.W. (2001). *Applied Hydrogeology*. Prentice Hall, New Jersey, 598 p.

Heath, R. C. (1983). *Basic ground-water hydrology* (Vol. 2220). US Geological Survey.

Hirata, R. C. A., Nunes da Silva, A. (1999). Mapa hidrogeológico da Bacia do Alto Tietê. In: Macedo, A. (coord). *Banco de Dados Espaciais da Bacia do Alto Tietê*. LIG-IGc-USP, São Paulo. Acesso em 30 de março de 2017, <http://geolig.igc.usp.br/alto_tietê.htm>.

Hirata, R. C. A., Ferreira L. M. R. (2001). Os aquíferos da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: disponibilidade hídrica e vulnerabilidade à poluição, São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 31, n.1, p. 43-50.

Hvorslev, H.J. (1951). Time Lag and Soil Permeability in Groundwater Observations. U.S. Army. Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Bulletin n. 36.

Maliva, R. G. (2016). *Aquifer Characterization Techniques*. Schlumberger Methods in Water Resources Evaluation Series, ed. 4, 615 p.

Neville, C. J. (2011). Interpretation of slug tests: Additional readings. S.S. Papadopoulos & Associates, Inc. 138p.

Pede, M. A. Z. (2004). *Caracterização da Condutividade Hidráulica do Embasamento Cristalino Alterado Saturado na Região Metropolitana de São Paulo*. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 106 p.

Powers, J. P. (2007). *Construction dewatering and groundwater control: New methods and applications*. John Wiley & Sons, 615 p.

Riccomini, C. (1989). *O Rift continental do sudeste do Brasil*. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 256 p.

Riccomini, C., Coimbra, A. M. (1992). Geologia da Bacia Sedimentar de São Paulo. In: Negro, Jr. A., Ferreira, A.A., Alonso, U.R. Luz, P.A.C. *Solos da Cidade de São Paulo*. São Paulo: ABMS/ABEF, p. 37-94.

Takiya, H. (1997). *Estudo da sedimentação Neogênico-Quaternário no município de São Paulo: caracterização dos depósitos e suas implicações na geologia urbana*. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 152 p.

Todd, D.K., Mays, L.W. (2005). *Groudwater Hydrology* (3^a ed). New Jersey, John Wiley e Sons, 636 p.

Waterloo Hidrogeologic. (2016). AquiferTest (v.1). Acesso em 02 de abril de 2017, <
<https://www.waterloohydrogeologic.com/aquifertest/>>

ANEXO A

FICHA PARA REALIZAÇÃO DE SLUG/BAIL TEST				
Projeto	TF- Guarulhos			
Equipe	Carolina, Milton e Natália		Data	13/10/2017
NE: Nível estático antes do teste (m) = 5,795				
NA ₀ : Nível d'água em t = 0s (m) = 5,16				
NA': Nível d'água medido em função de t (m)				
ENSAIO 1				
Poço de monitoramento:			PMI-14	
Diâmetro da perfuração (polegadas):			7"	
Diâmetro do revestimento (polegadas):			2"	
Profundidade do poço (m):			16,1	
Comprimento da seção filtrante (m):			1	
Intervalo da seção filtrante (m):			16,1-15,1	
Posição da seção filtrante em relação ao NA:			X	afogado não-afogado
Comprimento do tarugo (m):			1,1	
Diâmetro do tarugo (polegadas):			1,57	
Deslocamento teórico do nível d'água (Dh ₀ - m):			0,68	
Tipo de ensaio:		bombeamento		infiltração
	X	slug test		bail test
Tempo		Nível d'água (m)	Tempo	Nível d'água (m)
0s	5,160	38 min	5,630	
10s	5,170	40 min	5,630	
20s	5,180	42 min	5,640	
30s	5,190	44 min	5,640	
40s	5,200	46 min	5,650	
50s	5,205	48 min	5,650	
1 min	5,210	50 min	5,655	
1,5 min	5,230	52 min	5,660	
2 min	5,250	54 min	5,660	
2,5 min	5,264	56 min	5,665	
3 min	5,278	58 min	5,665	
3,5 min	5,295	60 min	5,670	
4 min	5,309	64 min	5,675	
4,5 min	5,320	66 min	5,675	
5 min	5,330	70 min	5,680	
6 min	5,335	72 min	5,680	
7 min	5,375	74 min	5,685	
8 min	5,390	76 min	5,685	
9 min	5,410	79 min	5,690	
10 min	5,425	82 min	5,690	
12 min	5,455	85 min	5,690	
14 min	5,420	89 min	5,695	
16 min	5,500	93 min	5,695	
18 min	5,520	97 min	5,695	
20 min	5,535	102 min	5,700	
22 min	5,555	107 min	5,700	
24 min	5,565	112 min	5,700	
26 min	5,570	117 min	5,705	
28 min	5,590	127 min	5,705	
30 min	5,600	137 min	5,705	
32 min	5,605	147 min		
34 min	5,610	157 min		
36 min	5,620	167 min		
Observações: Poço desenvolvido. Tempo chuvoso.				

FICHA PARA REALIZAÇÃO DE SLUG/BAIL TEST				
Projeto	TF- Guarulhos			
Equipe	Carolina, Milton e Natália	Data	13/10/2017	
NE: Nível estático antes do teste (m) = 5,705				
NA ₀ : Nível d'água em t = 0s (m) = 6,33				
NA': Nível d'água medido em função de t (m)				
ENSAIO 2				
Poço de monitoramento:	PMI-14			
Diâmetro da perfuração (polegadas):	7"			
Diâmetro do revestimento (polegadas):	2"			
Profundidade do poço (m):	16,1			
Comprimento da seção filtrante (m):	1			
Intervalo da seção filtrante (m):	16,1-15,1			
Posição da seção filtrante em relação ao NA:	X	afogado	não-afogado	
Comprimento do tarugo (m):	1,1			
Diâmetro do tarugo (polegadas):	1,57			
Deslocamento teórico do nível d'água (Dh ₀ - m):	0,68			
Tipo de ensaio:		bombeamento		infiltração
		slug test	X	bail test
Tempo	Nível d'água (m)	Tempo	Nível d'água (m)	
0s	6,330	38 min	5,855	
10s	6,330	40 min	5,850	
20s	6,320	42 min	5,840	
30s	6,310	44 min	5,840	
40s	6,300	46 min	5,835	
50s	6,295	48 min	5,830	
1 min	6,285	51 min	5,825	
1,5 min	6,270	54 min	5,820	
2 min	6,250	57 min	5,815	
2,5 min	6,235	60 min	5,810	
3 min	6,220	63 min	5,810	
3,5 min	6,205	67 min	5,805	
4 min	6,190	71 min	5,800	
4,5 min	6,180	75 min	5,800	
5 min	6,165	80 min	5,800	
6 min	6,145	85 min	5,795	
7 min	6,120	90 min	5,790	
8 min	6,100	95 min	5,790	
9 min	6,085	101 min	5,790	
10 min	6,070	107 min	5,790	
12 min	6,035	117 min	5,790	
14 min	6,010	127 min	5,785	
16 min	5,990	137 min		
18 min	5,970	147 min		
20 min	5,950	157 min		
22 min	5,935	167 min		
24 min	5,925	177 min		
26 min	5,910	187 min		
28 min	5,895	197 min		
30 min	5,885	207 min		
32 min	5,880	217 min		
34 min	5,870	227 min		
36 min	5,860	237 min		
Observações: Poço desenvolvido. Tempo chuvoso.				

FICHA PARA REALIZAÇÃO DE SLUG/BAIL TEST			
Projeto	TF- Guarulhos		
Equipe	Natália, Milton e Vitória	Data	13/10/2017
NE: Nível estático antes do teste (m) = 12,80			
NA ₀ : Nível d'água em t = 0s (m) = 12,14			
NA': Nível d'água medido em função de t (m)			
ENSAIO 1			
Poço de monitoramento:	PMP-14		
Diâmetro da perfuração (polegadas):	6"		
Diâmetro do revestimento (polegadas):	2"		
Profundidade do poço (m):	25		
Comprimento da seção filtrante (m):	1		
Intervalo da seção filtrante (m):	25-24		
Posição da seção filtrante em relação ao NA:	X	afogado	não-afogado
Comprimento do tarugo (m):	1,1		
Diâmetro do tarugo (polegadas):	1,57		
Deslocamento teórico do nível d'água (Dh ₀ - m):	0,68		
Tipo de ensaio:		bombeamento	infiltração
	X	slug test	bail test
Tempo	Nível d'água (m)	Tempo	Nível d'água (m)
0s	12,140	33 min	12,211
10s	12,160	36 min	12,212
20s	12,165	39 min	12,212
30s	12,170	42 min	12,212
40s	12,180	45 min	12,212
50s	12,180	48 min	12,212
1 min	12,180	51 min	12,212
1,5 min	12,180	54 min	12,212
2 min	12,180	57 min	12,213
2,5 min	12,180	60 min	12,214
3 min	12,180	65 min	12,214
3,5 min	12,180	70 min	12,214
4 min	12,180	75 min	12,214
4,5 min	12,185	80 min	12,214
5 min	12,185	85 min	
6 min	12,185	90 min	
7 min	12,190	95 min	
8 min	12,190	100 min	
9 min	12,190	105 min	
10 min	12,195	110 min	
12 min	12,200	115 min	
14 min	12,200	120 min	
16 min	12,205	125 min	
18 min	12,205	130 min	
20 min	12,205	135 min	
22 min	12,207	140 min	
24 min	12,209	145 min	
26 min	12,210	150 min	
28 min	12,210	155 min	
30 min	12,211	160 min	
Observações: Poço desenvolvido, mas não apresentou recuperação.			

FICHA PARA REALIZAÇÃO DE SLUG/BAIL TEST			
Projeto	TF- Guarulhos		
Equipe	Carolina e Vitória	Data	11/09/2017
NE: Nível estático antes do teste (m) = 2,065			
NA ₀ : Nível d'água em t = 0s (m) = 1,935			
NA': Nível d'água medido em função de t (m)			
ENSAIO 1			
Poço de monitoramento:	PM-79		
Diâmetro da perfuração (polegadas):	7"		
Diâmetro do revestimento (polegadas):	2"		
Profundidade do poço (m):	4,35		
Comprimento da seção filtrante (m):	3		
Intervalo da seção filtrante (m):	4,35-1,35		
Posição da seção filtrante em relação ao NA:		afogado	☒ não-afogado
Comprimento do tarugo (m):	1,1		
Diâmetro do tarugo (polegadas):	1,57		
Deslocamento teórico do nível d'água (Dh ₀ - m):	0,68		
Tipo de ensaio:		bombeamento	infiltração
	☒	slug test	bail test
Tempo	Nível d'água (m)	Tempo	Nível d'água (m)
0s	1,935	38 min	1,975
10s	1,935	40 min	1,975
20s	1,930	42 min	1,976
30s	1,940	44 min	1,976
40s	1,945	46 min	1,979
50s	1,945	48 min	1,981
1 min	1,945	50 min	1,981
1,5 min	1,940	52 min	1,982
2 min	1,940	54 min	1,985
2,5 min	1,940	56 min	1,985
3 min	1,940	58 min	1,985
3,5 min	1,940	60 min	1,986
4 min	1,945	64 min	1,990
4,5 min	1,945	68 min	1,991
5 min	1,950	72 min	1,994
6 min	1,950	76 min	1,995
7 min	1,950	80 min	1,997
8 min	1,950	84 min	2,000
9 min	1,950	88 min	2,002
10 min	1,950	92 min	2,005
12 min	1,955	96 min	2,006
14 min	1,955	100 min	2,010
16 min	1,960	104 min	2,010
18 min	1,960	108 min	2,011
20 min	1,960	112 min	2,013
22 min	1,965	116 min	2,015
24 min	1,965	120 min	2,016
26 min	1,965	126 min	2,020
28 min	1,970	132 min	2,021
30 min	1,970	138 min	2,023
32 min	1,970	144 min	2,025
34 min	1,970	150 min	2,026
36 min	1,970	156 min	
Observações: Poço desenvolvido, medidas feitas da tampa do poço (0,11m).			

FICHA PARA REALIZAÇÃO DE SLUG/BAIL TEST			
Projeto	TF- Guarulhos		
Equipe	Carolina e Vitória	Data	11/09/2017
NE: Nível estático antes do teste (m) = 2,026			
NA ₀ : Nível d'água em t = 0s (m) = 2,21			
NA': Nível d'água medido em função de t (m)			
ENSAIO 2			
Poço de monitoramento:	PM-79		
Diâmetro da perfuração (polegadas):	7"		
Diâmetro do revestimento (polegadas):	2"		
Profundidade do poço (m):	4,35		
Comprimento da seção filtrante (m):	3		
Intervalo da seção filtrante (m):	4,35-1,35		
Posição da seção filtrante em relação ao NA:		afogado	☒ não-afogado
Comprimento do tarugo (m):	1,1		
Diâmetro do tarugo (polegadas):	1,57		
Deslocamento teórico do nível d'água (Dh ₀ - m):	0,68		
Tipo de ensaio:	☐ bombeamento	☐ infiltração	
	☒ slug test	☒ bail test	
Tempo	Nível d'água (m)	Tempo	Nível d'água (m)
0s	2,210	52 min	2,132
10s	2,200	54 min	2,132
20s	2,190	56 min	2,131
30s	2,185	58 min	2,130
40s	2,180	60 min	2,130
50s	2,175	64 min	2,129
1 min	2,175	68 min	2,127
1,5 min	2,175	72 min	2,126
2 min	2,171	76 min	2,125
2,5 min	2,170	80 min	2,123
3 min	2,166	84 min	2,121
3,5 min	2,165	88 min	2,120
4 min	2,161	92 min	2,119
4,5 min	2,160	96 min	2,116
5 min	2,160	100 min	2,115
6 min	2,155	104 min	2,114
7 min	2,155	108 min	2,112
8 min	2,155	112 min	2,111
9 min	2,155	116 min	2,110
10 min	2,154	120 min	2,109
12 min	2,153	124 min	2,109
14 min	2,151	128 min	2,108
16 min	2,150	132 min	2,107
18 min	2,149	136 min	2,106
20 min	2,148	140 min	2,105
22 min	2,148	144 min	2,104
24 min	2,146	148 min	2,103
26 min	2,145	152 min	2,101
28 min	2,144	158 min	2,100
30 min	2,143	164 min	2,099
32 min	2,142	170 min	2,098
34 min	2,141	176 min	2,097
36 min	2,140	182 min	2,095
38 min	2,139	188 min	2,094
40 min	2,138	194 min	2,093
42 min	2,137	200 min	2,092
44 min	2,136	204 min	
46 min	2,135	208 min	
48 min	2,134	212 min	
50 min	2,133	216 min	
Observações: Poço desenvolvido, medidas feitas da tampa do poço (0,11m).			

FICHA PARA REALIZAÇÃO DE SLUG/BAIL TEST				
Projeto	TF- Guarulhos			
Equipe	Carolina, Milton e Natália	Data	09/09/2017	
NE: Nível estático antes do teste (m) = 7,59 obs: tampa do poço				
NA ₀ : Nível d'água em t = 0s (m) = 7,05				
NA': Nível d'água medido em função de t (m)				
ENSAIO 1				
Poço de monitoramento:		PMI-79		
Diâmetro da perfuração (polegadas):		7"		
Diâmetro do revestimento (polegadas):		2"		
Profundidade do poço (m):		13,5		
Comprimento da seção filtrante (m):		1		
Intervalo da seção filtrante (m):		13,5-12,5		
Posição da seção filtrante em relação ao NA:		X	afogado	não-afogado
Comprimento do tarugo (m):		1,1		
Diâmetro do tarugo (polegadas):		1,57		
Deslocamento teórico do nível d'água (Dh ₀ - m):		0,68		
Tipo de ensaio:		bombeamento	infiltração	
	X	slug test	bail test	
Tempo	Nível d'água (m)	Tempo	Nível d'água (m)	
0s	7,050	38 min	7,580	
10s	7,095	40 min		
20s	7,130	42 min		
30s	7,155	44 min		
40s	7,180	46 min		
50s	7,195	48 min		
1 min	7,220	50 min		
1,5 min	7,260	52 min		
2 min	7,295	54 min		
2,5 min	7,325	56 min		
3 min	7,340	58 min		
3,5 min	7,360	60 min		
4 min	7,380	64 min		
4,5 min	7,395	68 min		
5 min	7,410	72 min		
6 min	7,435	76 min		
7 min	7,460	80 min		
8 min	7,470	84 min		
9 min	7,480	88 min		
10 min	7,490	92 min		
12 min	7,515	96 min		
14 min	7,525	100 min		
16 min	7,540	104 min		
18 min	7,545	108 min		
20 min	7,555	112 min		
22 min	7,560	116 min		
24 min	7,565	120 min		
26 min	7,565	126 min		
28 min	7,565	132 min		
30 min	7,570	138 min		
32 min	7,575	144 min		
34 min	7,575	150 min		
36 min	7,575	156 min		
Observações: Desenvolvido. Medidas feitas da tampa do poço (26 cm da boca do tubo à tampa do poço).				

FICHA PARA REALIZAÇÃO DE SLUG/BAIL TEST			
Projeto	TF- Guarulhos		
Equipe	Carolina, Milton e Natália	Data	09/09/2017
NE: Nível estático antes do teste (m) = 7,58			
NA ₀ : Nível d'água em t = 0s (m) = 8,14			
NA': Nível d'água medido em função de t (m)			
ENSAIO 2			
Poço de monitoramento:	PMI-79		
Diâmetro da perfuração (polegadas):	7"		
Diâmetro do revestimento (polegadas):	2"		
Profundidade do poço (m):	13,5		
Comprimento da seção filtrante (m):	1		
Intervalo da seção filtrante (m):	13,5-12,5		
Posição da seção filtrante em relação ao NA:	X	afogado	não-afogado
Comprimento do tarugo (m):	1,1		
Diâmetro do tarugo (polegadas):	1,57		
Deslocamento teórico do nível d'água (Dh ₀ - m):	0,68		
Tipo de ensaio:		bombeamento	infiltração
		slug test	X bail test
Tempo	Nível d'água (m)	Tempo	Nível d'água (m)
0s	8,140	38 min	7,600
10s	8,100	40 min	
20s	8,065	42 min	
30s	8,050	44 min	
40s	8,040	46 min	
50s	8,030	48 min	
1 min	8,020	50 min	
1,5 min	7,990	52 min	
2 min	7,965	54 min	
2,5 min	7,950	56 min	
3 min	7,925	58 min	
3,5 min	7,910	60 min	
4 min	7,890	64 min	
4,5 min	7,876	68 min	
5 min	7,860	72 min	
6 min	7,825	76 min	
7 min	7,805	80 min	
8 min	7,785	84 min	
9 min	7,765	88 min	
10 min	7,760	92 min	
12 min	7,745	96 min	
14 min	7,730	100 min	
16 min	7,705	104 min	
18 min	7,685	108 min	
20 min	7,670	112 min	
22 min	7,655	116 min	
24 min	7,645	120 min	
26 min	7,635	126 min	
28 min	7,625	132 min	
30 min	7,620	138 min	
32 min	7,615	144 min	
34 min	7,610	150 min	
36 min	7,605	156 min	
Observações: Desenvolvido. Medidas feitas da tampa do poço (26 cm da boca do tubo à tampa do poço).			

FICHA PARA REALIZAÇÃO DE SLUG/BAIL TEST				
Projeto	TF- Guarulhos			
Equipe	Carolina e Rafael	Data	13/10/2017	
NE: Nível estático antes do teste (m) = 16,235 obs: tampa do poço				
NA ₀ : Nível d'água em t = 0s (m) = 15,740				
NA': Nível d'água medido em função de t (m)				
ENSAIO 1				
Poço de monitoramento:	PMP-79			
Diâmetro da perfuração (polegadas):	7"			
Diâmetro do revestimento (polegadas):	2"			
Profundidade do poço (m):	26,9			
Comprimento da seção filtrante (m):	1			
Intervalo da seção filtrante (m):	26,9-25,9			
Posição da seção filtrante em relação ao NA:	X	afogado	não-afogado	
Comprimento do tarugo (m):	0,94			
Diâmetro do tarugo (polegadas):	1,57			
Deslocamento teórico do nível d'água (Dh ₀ - m):	0,58			
Tipo de ensaio:		bombeamento	infiltração	
	X	slug test	bail test	
Tempo	Nível d'água (m)	Tempo	Nível d'água (m)	
0s	15,740	47 min	15,834	
10s	15,824	50 min	15,835	
20s	15,824	54 min	15,835	
30s	15,824	58 min	15,836	
40s	15,824	62 min	15,837	
50s	15,824	66 min	15,838	
1 min	15,824	70 min	15,839	
1,5 min	15,824	75 min	15,840	
2 min	15,824	80 min	15,841	
2,5 min	15,824	85 min	15,842	
3 min	15,824	90 min	15,843	
3,5 min	15,824	95 min	15,844	
4 min	15,824	100 min	15,845	
4,5 min	15,825	110 min	15,847	
5 min	15,825	120 min	15,849	
6 min	15,826	130 min	15,850	
7 min	15,826	140 min	15,852	
8 min	15,826	150 min	15,853	
9 min	15,826	160 min	15,855	
10 min	15,826	170 min	15,856	
12 min	15,826	180 min	15,856	
14 min	15,826	200 min	15,858	
16 min	15,827	220 min	15,860	
18 min	15,827	240 min	15,863	
20 min	15,827	270 min	15,867	
23 min	15,828	300 min	15,870	
26 min	15,829	330 min	15,873	
29 min	15,830	360 min	15,878	
32 min	15,831	390 min	15,880	
35 min	15,831	420 min		
38 min	15,832	450 min		
41 min	15,832	480 min		
44 min	15,833	510 min		
Observações: Foi realizado o desenvolvimento do poço. Medidas feitas da tampa do poço. Tempo chuvoso. Foi utilizado um tarugo de comprimento diferente dos outros poços.				

FICHA PARA REALIZAÇÃO DE SLUG/BAIL TEST			
Projeto	TF- Guarulhos		
Equipe	Carolina e Vitória	Data	12/09/2017
NE: Nível estático antes do teste (m) = 9,79 obs: tampa do poço			
NA ₀ : Nível d'água em t = 0s (m) = 9,14			
NA': Nível d'água medido em função de t (m)			
ENSAIO 1			
Poço de monitoramento:	PMI-80		
Diâmetro da perfuração (polegadas):	7"		
Diâmetro do revestimento (polegadas):	2"		
Profundidade do poço (m):	20,2		
Comprimento da seção filtrante (m):	1		
Intervalo da seção filtrante (m):	20,2-19,2		
Posição da seção filtrante em relação ao NA:	X	afogado	não-afogado
Comprimento do tarugo (m):	1,1		
Diâmetro do tarugo (polegadas):	1,57		
Deslocamento teórico do nível d'água (Dh ₀ - m):	0,68		
Tipo de ensaio:		bombeamento	infiltração
	X	slug test	bail test
Tempo	Nível d'água (m)	Tempo	Nível d'água (m)
0s	9,140	38 min	9,665
10s	9,200	40 min	9,673
20s	9,210	42 min	9,680
30s	-	44 min	9,689
40s	-	46 min	9,696
50s	9,225	48 min	9,704
1 min	9,225	50 min	9,710
1,5 min	9,230	52 min	9,716
2 min	9,245	54 min	9,722
2,5 min	9,254	56 min	9,726
3 min	9,265	58 min	9,730
3,5 min	9,275	60 min	9,734
4 min	9,285	62 min	9,738
4,5 min	9,300	64 min	
5 min	9,310	66 min	
6 min	9,329	70 min	
7 min	9,345	72 min	
8 min	9,364	74 min	
9 min	9,381	76 min	
10 min	9,398	78 min	
12 min	9,431	80 min	
14 min	9,459	82 min	
16 min	9,485	84 min	
18 min	9,508	86 min	
20 min	9,530	88 min	
22 min	9,552	90 min	
24 min	9,569	92 min	
26 min	9,586	94 min	
28 min	9,602	96 min	
30 min	9,616	98 min	
32 min	9,630	100 min	
34 min	9,641	102 min	
36 min	9,652	104 min	
Observações: Desenvolvido. Medidas feitas da tampa do poço (13 cm da boca do tubo à tampa do poço).			

FICHA PARA REALIZAÇÃO DE SLUG/BAIL TEST			
Projeto	TF- Guarulhos		
Equipe	Carolina e Vitória	Data	12/09/2017
NE: Nível estático antes do teste (m) = 9,74			
NA ₀ : Nível d'água em t = 0s (m) = 10,35			
NA': Nível d'água medido em função de t (m)			
ENSAIO 2			
Poço de monitoramento:	PMI-80		
Diâmetro da perfuração (polegadas):	7"		
Diâmetro do revestimento (polegadas):	2"		
Profundidade do poço (m):	20,2		
Comprimento da seção filtrante (m):	1		
Intervalo da seção filtrante (m):	20,2-19,2		
Posição da seção filtrante em relação ao NA:	X	afogado	não-afogado
Comprimento do tarugo (m):	1,1		
Diâmetro do tarugo (polegadas):	1,57		
Deslocamento teórico do nível d'água (Dh ₀ - m):	0,68		
Tipo de ensaio:		bombeamento	infiltração
		slug test	X bail test
Tempo	Nível d'água (m)	Tempo	Nível d'água (m)
0s	10,350	38 min	9,905
10s	10,335	40 min	9,895
20s	10,330	42 min	9,886
30s	10,325	44 min	9,878
40s	10,322	46 min	9,871
50s	10,318	48 min	9,865
1 min	10,314	50 min	9,858
1,5 min	10,302	52 min	9,854
2 min	10,291	54 min	9,849
2,5 min	10,281	56 min	9,843
3 min	10,270	58 min	9,839
3,5 min	10,260	60 min	9,834
4 min	10,251	64 min	9,828
4,5 min	10,241	68 min	9,822
5 min	10,231	72 min	9,816
6 min	10,214	76 min	9,812
7 min	10,196	80 min	9,809
8 min	10,180	84 min	9,806
9 min	10,164	88 min	9,803
10 min	10,149	92 min	9,800
12 min	10,122	96 min	
14 min	10,095	100 min	
16 min	10,071	104 min	
18 min	10,049	108 min	
20 min	10,028	112 min	
22 min	10,009	116 min	
24 min	9,990	120 min	
26 min	9,976	126 min	
28 min	9,961	132 min	
30 min	9,948	138 min	
32 min	9,935	144 min	
34 min	9,924	150 min	
36 min	9,914	156 min	
Observações: Desenvolvido. Medidas feitas da tampa do poço (13 cm da boca do tubo à tampa do poço).			

FICHA PARA REALIZAÇÃO DE SLUG/BAIL TEST			
Projeto	TF- Guarulhos		
Equipe	Natália, Milton e Elisabeth	Data	13/10/2017
NE: Nível estático antes do teste (m) = 0,89			
NA ₀ : Nível d'água em t = 0s (m) = 0,74			
NA': Nível d'água medido em função de t (m)			
ENSAIO 1			
Poço de monitoramento:	PM-206		
Diâmetro da perfuração (polegadas):	6"		
Diâmetro do revestimento (polegadas):	2"		
Profundidade do poço (m):	2,35		
Comprimento da seção filtrante (m):	2		
Intervalo da seção filtrante (m):	2,35-0,35		
Posição da seção filtrante em relação ao NA:		afogado	☒ não-afogado
Comprimento do tarugo (m):	1,1		
Diâmetro do tarugo (polegadas):	1,57		
Deslocamento teórico do nível d'água (Dh ₀ - m):	0,68		
Tipo de ensaio:		bombeamento	infiltração
	☒	slug test	bail test
Tempo	Nível d'água (m)	Tempo	Nível d'água (m)
0s	0,740	32 min	
10s	0,770	34 min	
20s	0,790	36 min	
30s	0,790	38 min	
40s	0,800	40 min	
50s	0,805	42 min	
1 min	0,810	44 min	
1,5 min	0,815	46 min	
2 min	0,825	48 min	
2,5 min	0,835	50 min	
3 min	0,840	52 min	
3,5 min	0,845	54 min	
4 min	0,855	56 min	
4,5 min	0,865	58 min	
5 min	0,870	60 min	
6 min	0,880	62 min	
7 min	0,880	64 min	
8 min	0,885	66 min	
9 min	0,885	70 min	
10 min	0,885	72 min	
12 min	0,885	74 min	
14 min	0,890	76 min	
16 min		78 min	
18 min		80 min	
20 min		82 min	
22 min		84 min	
24 min		86 min	
26 min		88 min	
28 min		90 min	
30 min		92 min	
Observações: Poço desenvolvido, medidas feitas da boca do poço.			

FICHA PARA REALIZAÇÃO DE SLUG/BAIL TEST			
Projeto	TF- Guarulhos		
Equipe	Natália, Milton e Elisabeth	Data	13/10/2017
NE: Nível estático antes do teste (m) = 0,89			
NA ₀ : Nível d'água em t = 0s (m) = 1,50			
NA': Nível d'água medido em função de t (m)			
ENSAIO 2			
Poço de monitoramento:	PM-206		
Diâmetro da perfuração (polegadas):	6"		
Diâmetro do revestimento (polegadas):	2"		
Profundidade do poço (m):	2,35		
Comprimento da seção filtrante (m):	2		
Intervalo da seção filtrante (m):	2,35-0,35		
Posição da seção filtrante em relação ao NA:		afogado	☒ não-afogado
Comprimento do tarugo (m):	1,1		
Diâmetro do tarugo (polegadas):	1,57		
Deslocamento teórico do nível d'água (Dh ₀ - m):	0,68		
Tipo de ensaio:		bombeamento	infiltração
		slug test	☒ bail test
Tempo	Nível d'água (m)	Tempo	Nível d'água (m)
0s	1,500	32 min	
10s	1,400	34 min	
20s	1,350	36 min	
30s	1,300	38 min	
40s	1,250	40 min	
50s	1,200	42 min	
1 min	1,150	44 min	
1,5 min	1,000	46 min	
2 min	0,980	48 min	
2,5 min	0,945	50 min	
3 min	0,930	52 min	
3,5 min	0,920	54 min	
4 min	0,910	56 min	
4,5 min	0,905	58 min	
5 min	0,900	60 min	
6 min	0,900	62 min	
7 min	0,890	64 min	
8 min		66 min	
9 min		70 min	
10 min		72 min	
12 min		74 min	
14 min		76 min	
16 min		78 min	
18 min		80 min	
20 min		82 min	
22 min		84 min	
24 min		86 min	
26 min		88 min	
28 min		90 min	
30 min		92 min	
Observações: Poço desenvolvido, medidas feitas da boca do poço.			

FICHA PARA REALIZAÇÃO DE SLUG/BAIL TEST			
Projeto	TF- Guarulhos		
Equipe	Carolina, Natália e Milton	Data	13/10/2017
NE: Nível estático antes do teste (m) = 0,89			
NA ₀ : Nível d'água em t = 0s (m) = 0,74			
NA': Nível d'água medido em função de t (m)			
ENSAIO 3			
Poço de monitoramento:	PM-206		
Diâmetro da perfuração (polegadas):	6"		
Diâmetro do revestimento (polegadas):	2"		
Profundidade do poço (m):	2,35		
Comprimento da seção filtrante (m):	2		
Intervalo da seção filtrante (m):	2,35-0,35		
Posição da seção filtrante em relação ao NA:		afogado	☒ não-afogado
Comprimento do tarugo (m):	1,1		
Diâmetro do tarugo (polegadas):	1,57		
Deslocamento teórico do nível d'água (Dh ₀ - m):	0,68		
Tipo de ensaio:		bombeamento	infiltração
	☒	slug test	bail test
Tempo	Nível d'água (m)	Tempo	Nível d'água (m)
0s	0,740	32 min	
10s	0,770	34 min	
20s	0,780	36 min	
30s	0,795	38 min	
40s	0,805	40 min	
50s	0,810	42 min	
1 min	0,820	44 min	
1,5 min	0,825	46 min	
2 min	0,830	48 min	
2,5 min	0,835	50 min	
3 min	0,845	52 min	
3,5 min	0,850	54 min	
4 min	0,855	56 min	
4,5 min	0,865	58 min	
5 min	0,870	60 min	
6 min	0,875	62 min	
7 min	0,880	64 min	
8 min	0,880	66 min	
9 min	0,885	70 min	
10 min	0,885	72 min	
12 min	0,890	74 min	
14 min		76 min	
16 min		78 min	
18 min		80 min	
20 min		82 min	
22 min		84 min	
24 min		86 min	
26 min		88 min	
28 min		90 min	
30 min		92 min	
Observações: Poço desenvolvido, medidas feitas da boca do poço.			

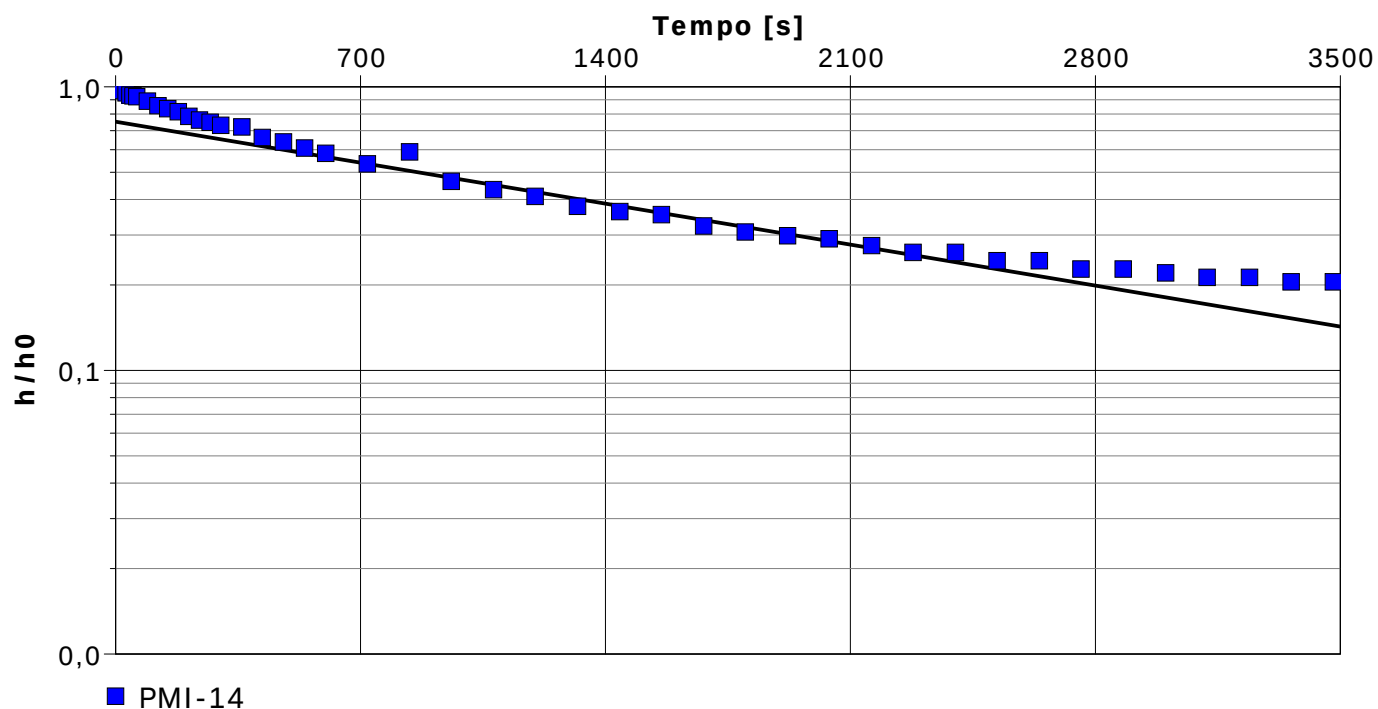
FICHA PARA REALIZAÇÃO DE SLUG/BAIL TEST			
Projeto	TF- Guarulhos		
Equipe	Carolina, Natália e Milton	Data	13/10/2017
NE: Nível estático antes do teste (m) = 0,89			
NA ₀ : Nível d'água em t = 0s (m) = 1,50			
NA': Nível d'água medido em função de t (m)			
ENSAIO 4			
Poço de monitoramento:	PM-206		
Diâmetro da perfuração (polegadas):	6"		
Diâmetro do revestimento (polegadas):	2"		
Profundidade do poço (m):	2,35		
Comprimento da seção filtrante (m):	2		
Intervalo da seção filtrante (m):	2,35-0,35		
Posição da seção filtrante em relação ao NA:		afogado	X não-afogado
Comprimento do tarugo (m):	1,1		
Diâmetro do tarugo (polegadas):	1,57		
Deslocamento teórico do nível d'água (Dh ₀ - m):	0,68		
Tipo de ensaio:	bombeamento		infiltração
	slug test	X	bail test
Tempo	Nível d'água (m)	Tempo	Nível d'água (m)
0s	1,500	32 min	
10s	1,400	34 min	
20s	1,300	36 min	
30s	1,150	38 min	
40s	1,000	40 min	
50s	0,995	42 min	
1 min	0,995	44 min	
1,5 min	0,995	46 min	
2 min	0,990	48 min	
2,5 min	0,960	50 min	
3 min	0,940	52 min	
3,5 min	0,920	54 min	
4 min	0,910	56 min	
4,5 min	0,910	58 min	
5 min	0,905	60 min	
6 min	0,900	62 min	
7 min	0,890	64 min	
8 min	0,890	66 min	
9 min		70 min	
10 min		72 min	
12 min		74 min	
14 min		76 min	
16 min		78 min	
18 min		80 min	
20 min		82 min	
22 min		84 min	
24 min		86 min	
26 min		88 min	
28 min		90 min	
30 min		92 min	
Observações: Poço desenvolvido, medidas feitas da boca do poço.			

FICHA PARA REALIZAÇÃO DE SLUG/BAIL TEST			
Projeto	TF- Guarulhos		
Equipe	Carolina e Rafael	Data	23/09/2017
NE: Nível estático antes do teste (m) = 10,11			
NA ₀ : Nível d'água em t = 0s (m) = 9,46			
NA': Nível d'água medido em função de t (m)			
ENSAIO 1			
Poço de monitoramento:	PMP-210		
Diâmetro da perfuração (polegadas):	6"		
Diâmetro do revestimento (polegadas):	2"		
Profundidade do poço (m):	22,4		
Comprimento da seção filtrante (m):	1		
Intervalo da seção filtrante (m):	22,4-21,4		
Posição da seção filtrante em relação ao NA:	X	afogado	não-afogado
Comprimento do tarugo (m):	1,1		
Diâmetro do tarugo (polegadas):	1,57		
Deslocamento teórico do nível d'água (Dh ₀ - m):	0,68		
Tipo de ensaio:		bombeamento	infiltração
	X	slug test	bail test
Tempo	Nível d'água (m)	Tempo	Nível d'água (m)
0s	9,460	32 min	10,0430
10s	9,480	34 min	10,0510
20s	9,490	36 min	10,0560
30s	9,495	38 min	10,0600
40s	9,500	40 min	10,0660
50s	9,505	42 min	10,0690
1 min	9,515	44 min	10,0710
1,5 min	9,535	46 min	
2 min	9,565	48 min	
2,5 min	9,580	50 min	
3 min	9,602	52 min	
3,5 min	9,621	54 min	
4 min	9,640	56 min	
4,5 min	9,656	58 min	
5 min	9,680	60 min	
6 min	9,712	62 min	
7 min	9,737	64 min	
8 min	9,765	66 min	
9 min	9,795	70 min	
10 min	9,811	72 min	
12 min	9,849	74 min	
14 min	9,886	76 min	
16 min	9,916	78 min	
18 min	9,942	80 min	
20 min	9,960	82 min	
22 min	9,978	84 min	
24 min	9,995	86 min	
26 min	10,017	88 min	
28 min	10,022	90 min	
30 min	10,035	92 min	
Observações: Poço desenvolvido, medidas feitas da boca do poço.			

FICHA PARA REALIZAÇÃO DE SLUG/BAIL TEST			
Projeto	TF- Guarulhos		
Equipe	Carolina e Rafael	Data	23/09/2017
NE: Nível estático antes do teste (m) = 10,071			
NA ₀ : Nível d'água em t = 0s (m) = 10,71			
NA': Nível d'água medido em função de t (m)			
ENSAIO 2			
Poço de monitoramento:	PMP-210		
Diâmetro da perfuração (polegadas):	6"		
Diâmetro do revestimento (polegadas):	2"		
Profundidade do poço (m):	22,4		
Comprimento da seção filtrante (m):	1		
Intervalo da seção filtrante (m):	22,4-21,4		
Posição da seção filtrante em relação ao NA:	X	afogado	não-afogado
Comprimento do tarugo (m):	1		
Diâmetro do tarugo (polegadas):	1,57		
Deslocamento teórico do nível d'água (Dh ₀ - m):	0,68		
Tipo de ensaio:	bombeamento		infiltração
	slug test	X	bail test
Tempo	Nível d'água (m)	Tempo	Nível d'água (m)
0s	10,710	30 min	10,2630
10s	10,705	32 min	10,2510
20s	10,700	34 min	10,2370
30s	10,695	36 min	10,2240
40s	10,690	38 min	10,2130
50s	10,685	40 min	10,2020
1 min	10,680	42 min	10,1900
1,5 min	10,669	44 min	10,1810
2 min	10,657	46 min	10,1720
2,5 min	10,646	48 min	10,1640
3 min	10,635	50 min	10,1560
3,5 min	10,622	52 min	10,1480
4 min	10,613	54 min	10,1390
4,5 min	10,601	56 min	10,1330
5 min	10,592	58 min	
6 min	10,572	60 min	
7 min	10,550	62 min	
8 min	10,535	64 min	
9 min	10,516	66 min	
10 min	10,500	70 min	
11 min	10,483	72 min	
12 min	10,469	74 min	
14 min	10,438	76 min	
16 min	10,410	78 min	
18 min	10,384	80 min	
20 min	10,362	82 min	
22 min	10,339	84 min	
24 min	10,320	86 min	
26 min	10,301	88 min	
28 min	10,282	90 min	
Observações: Poço desenvolvido, medidas feitas da boca do poço.			

ANEXO B

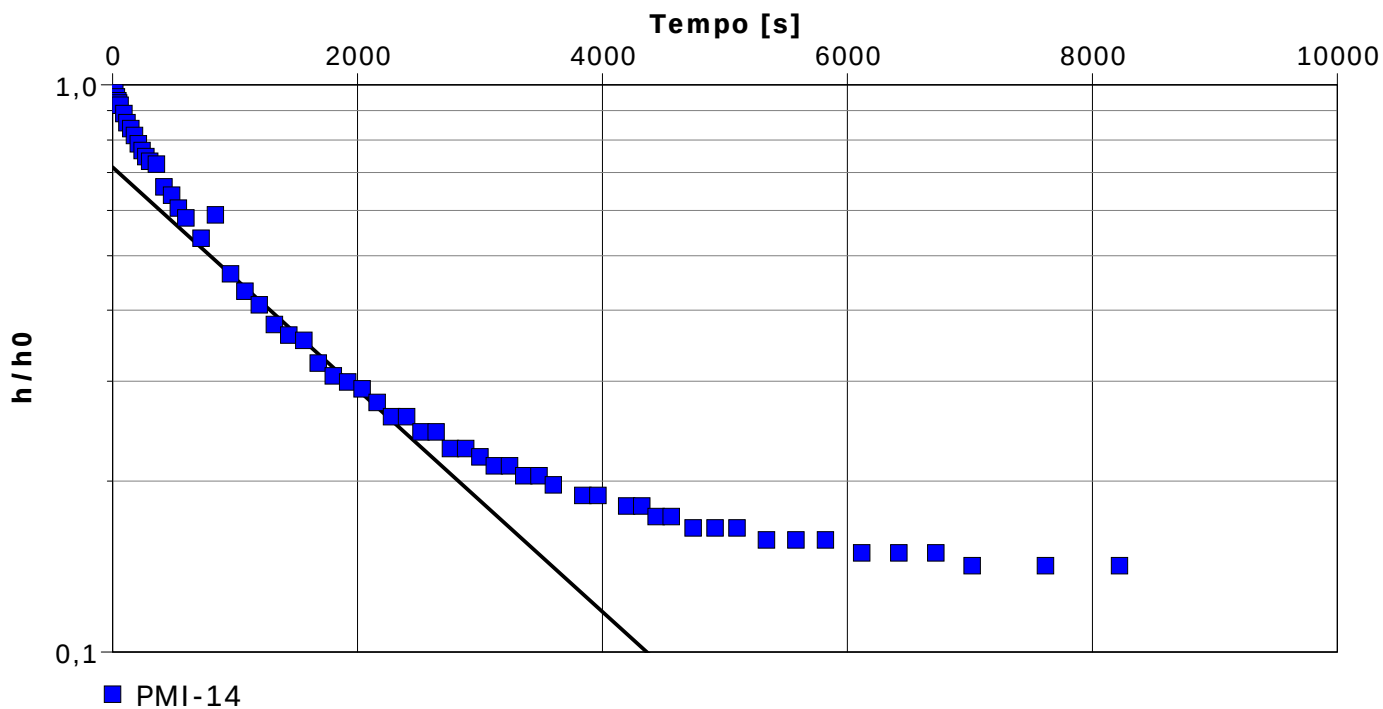
Location:	Slug Test: PMI-14 - Slug Test	Test Well: PMI-14
Test Conducted by: Carolina, Milton e Natália		Test Date: 13/10/2017
Analysis Performed by: Carolina G.	Hvorslev	Analysis Date: 28/10/2017
Aquifer Thickness: 1600,00 cm		



Calculation using Hvorslev

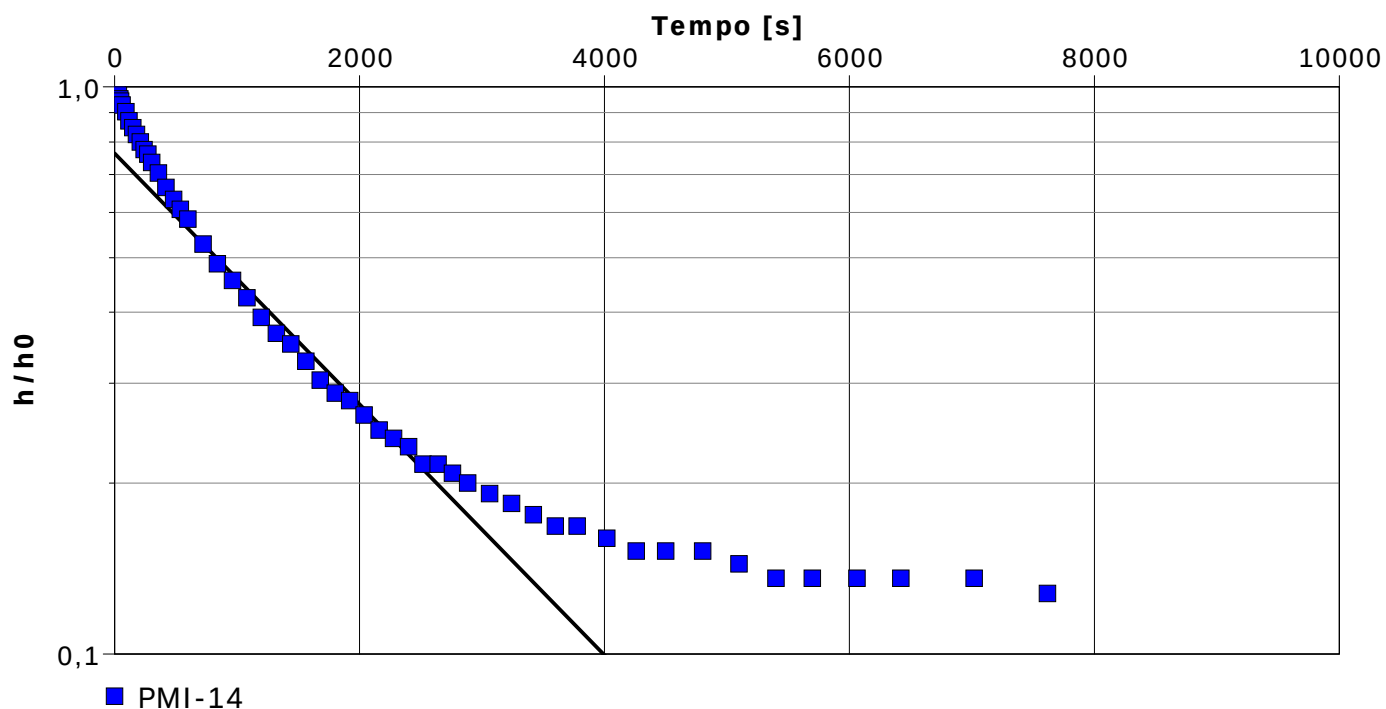
Observation Well	Hydraulic Conductivity [cm/s]	
PMI-14	$3,68 \times 10^{-5}$	

Location:	Slug Test: PMI-14 - Slug Test	Test Well: PMI-14
Test Conducted by: Carolina, Milton e Natália		Test Date: 13/10/2017
Analysis Performed by: Carolina G.	Bouwer & Rice	Analysis Date: 28/10/2017
Aquifer Thickness: 1600,00 cm		



Calculation using Bouwer & Rice		
Observation Well	Hydraulic Conductivity [cm/s]	
PMI-14	$2,90 \times 10^{-5}$	

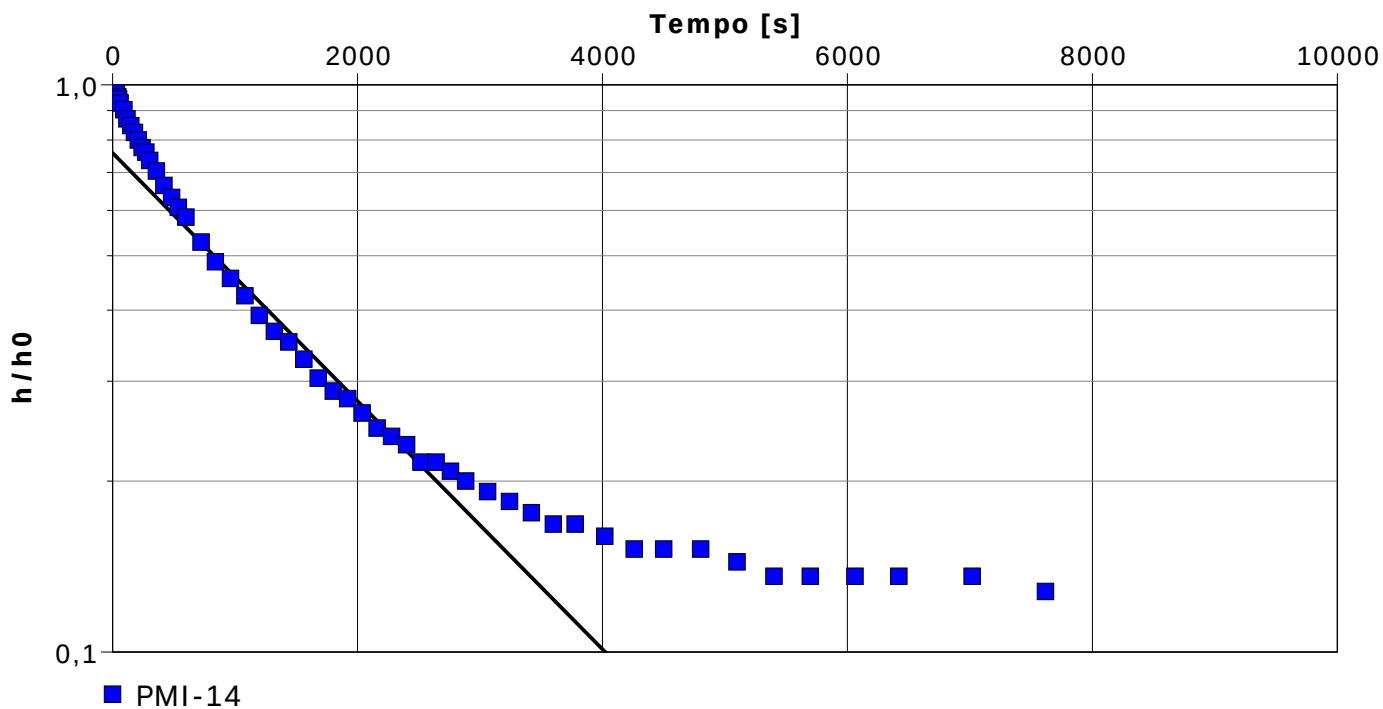
Location:	Slug Test: PMI-14 - Bail Test	Test Well: PMI-14
Test Conducted by: Carolina, Milton e Natália		Test Date: 13/10/2017
Analysis Performed by: Carolina G.	Hvorslev	Analysis Date: 28/10/2017
Aquifer Thickness: 1600,00 cm		



Calculation using Hvorslev

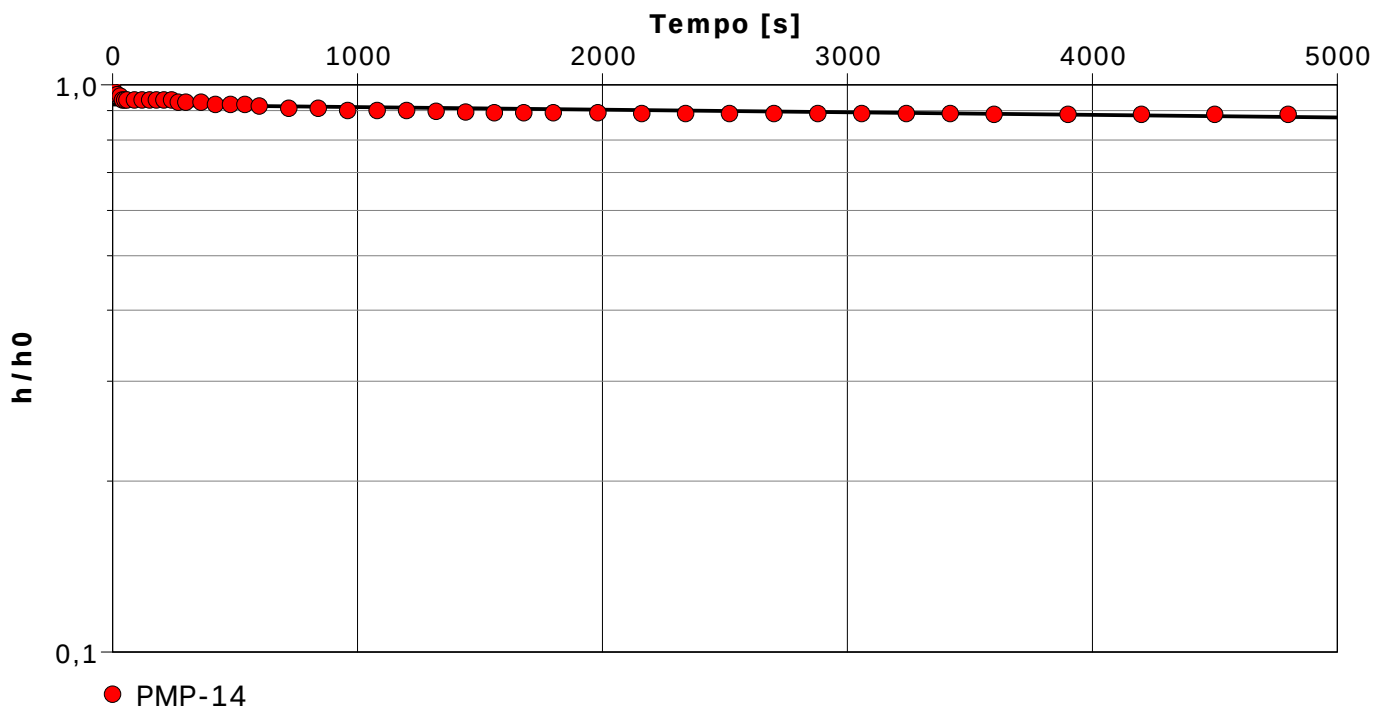
Observation Well	Hydraulic Conductivity [cm/s]
PMI-14	$3,94 \times 10^{-5}$

Location:	Slug Test: PMI-14 - Bail Test	Test Well: PMI-14
Test Conducted by: Carolina, Milton e Natália		Test Date: 13/10/2017
Analysis Performed by: Carolina G.	Bouwer & Rice	Analysis Date: 28/10/2017
Aquifer Thickness: 1600,00 cm		



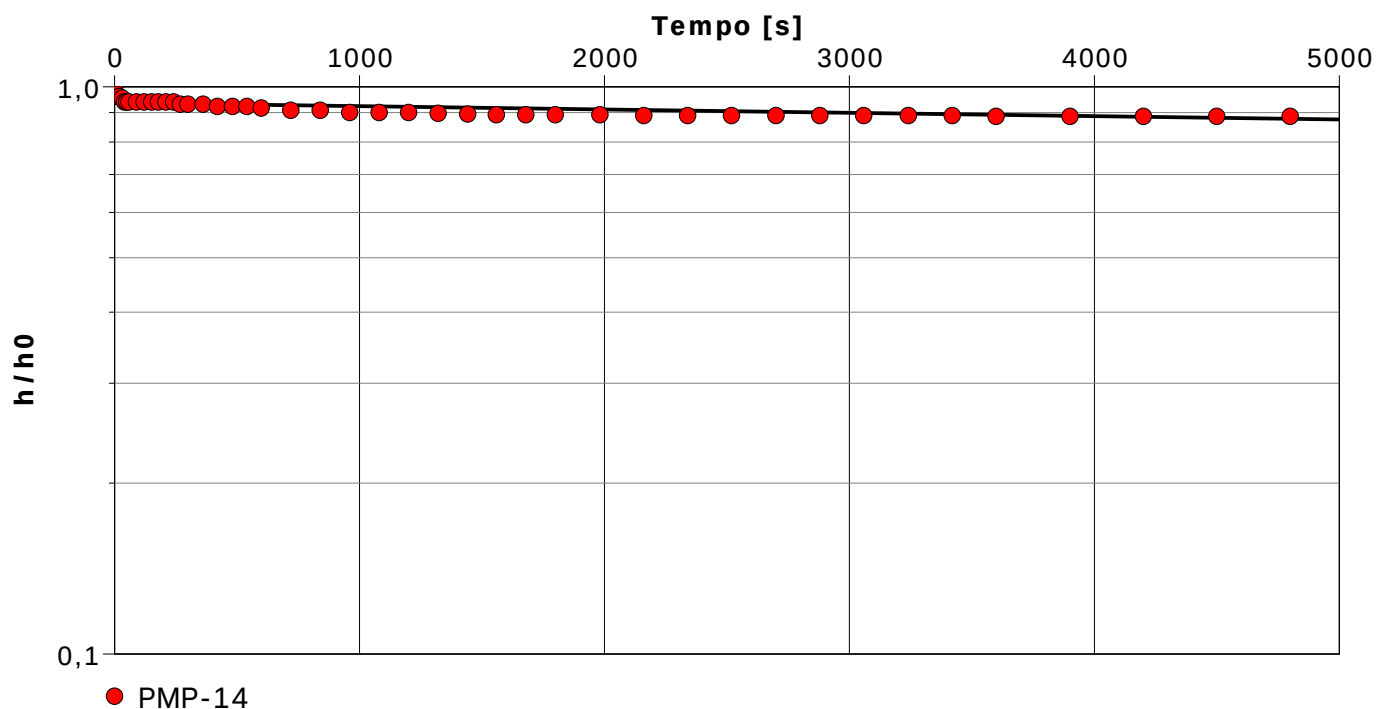
Calculation using Bouwer & Rice		
Observation Well	Hydraulic Conductivity [cm/s]	
PMI-14	$3,24 \times 10^{-5}$	

Location:	Slug Test: PMP-14 - Slug Test	Test Well: PMP-14
Test Conducted by: Natália, Milton e Vitória		Test Date: 13/10/2017
Analysis Performed by: Carolina G.	Hvorslev	Analysis Date: 28/10/2017
Aquifer Thickness: 2000,00 cm		



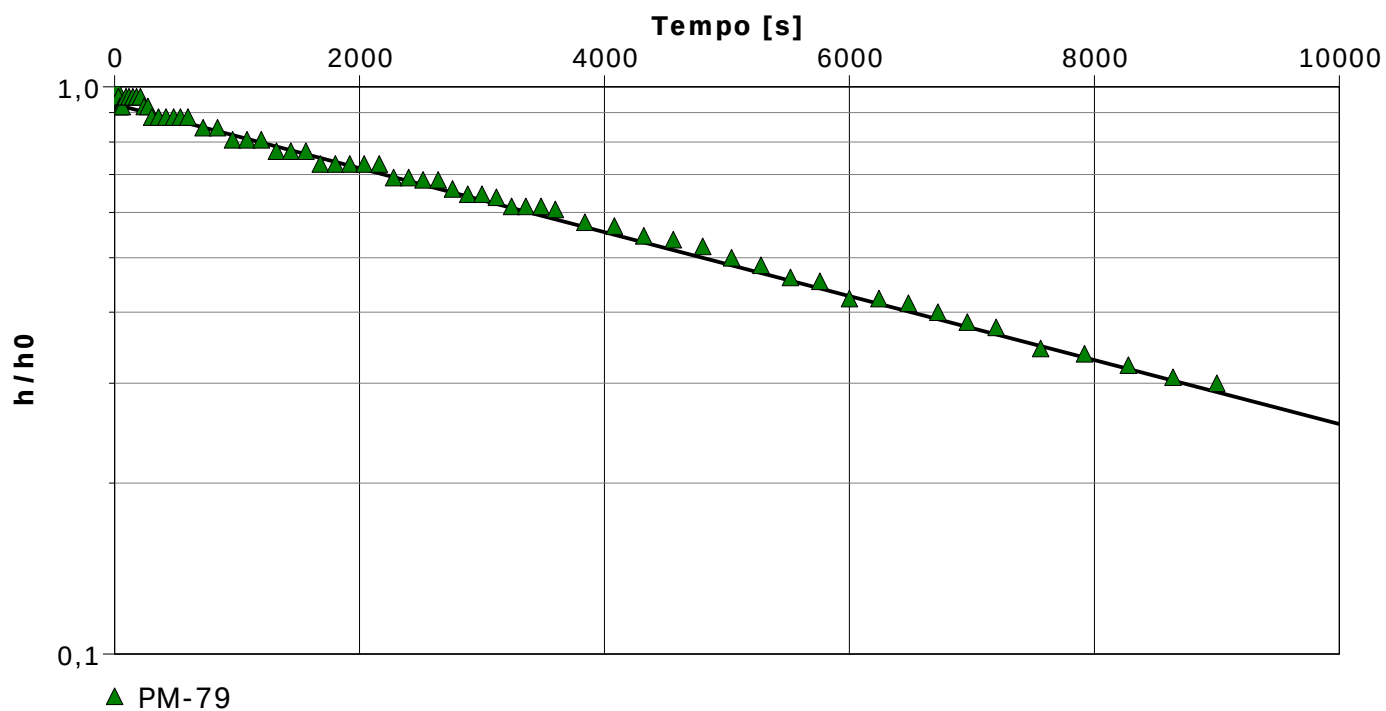
Calculation using Hvorslev		
Observation Well	Hydraulic Conductivity [cm/s]	
PMP-14	$8,06 \times 10^{-7}$	

Location:	Slug Test: PMP-14 - Slug Test	Test Well: PMP-14
Test Conducted by: Natália, Milton e Vitória		Test Date: 13/10/2017
Analysis Performed by: Carolina G.	Bouwer e Rice	Analysis Date: 01/11/2017
Aquifer Thickness: 2000,00 cm		



Calculation using Bouwer & Rice		
Observation Well	Hydraulic Conductivity [cm/s]	
PMP-14	$8,75 \times 10^{-7}$	

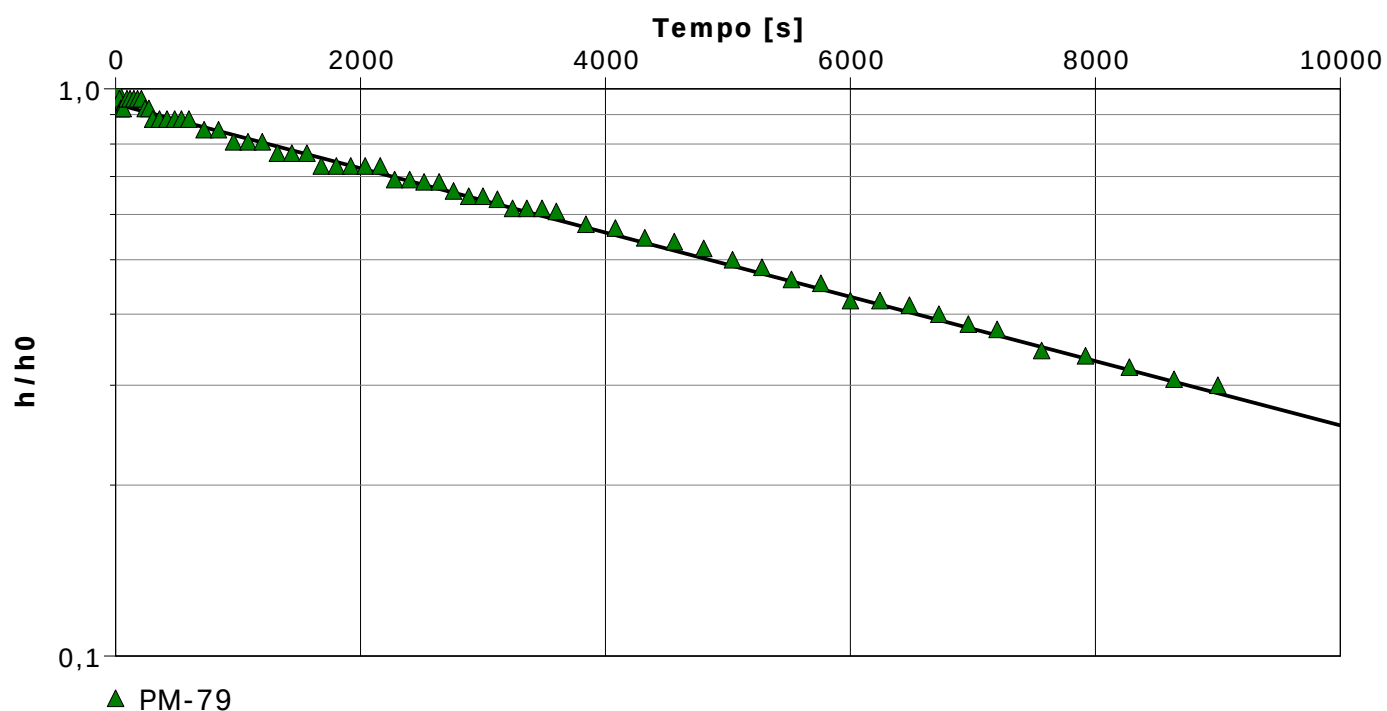
Location:	Slug Test: PM-79 - Slug Test	Test Well: PM-79
Test Conducted by: Carolina e Vitória		Test Date: 11/09/2017
Analysis Performed by: Carolina G.	Hvorslev	Analysis Date: 28/10/2017
Aquifer Thickness: 600,00 cm		



Calculation using Hvorslev

Observation Well	Hydraulic Conductivity [cm/s]	
PM-79	$4,68 \times 10^{-6}$	

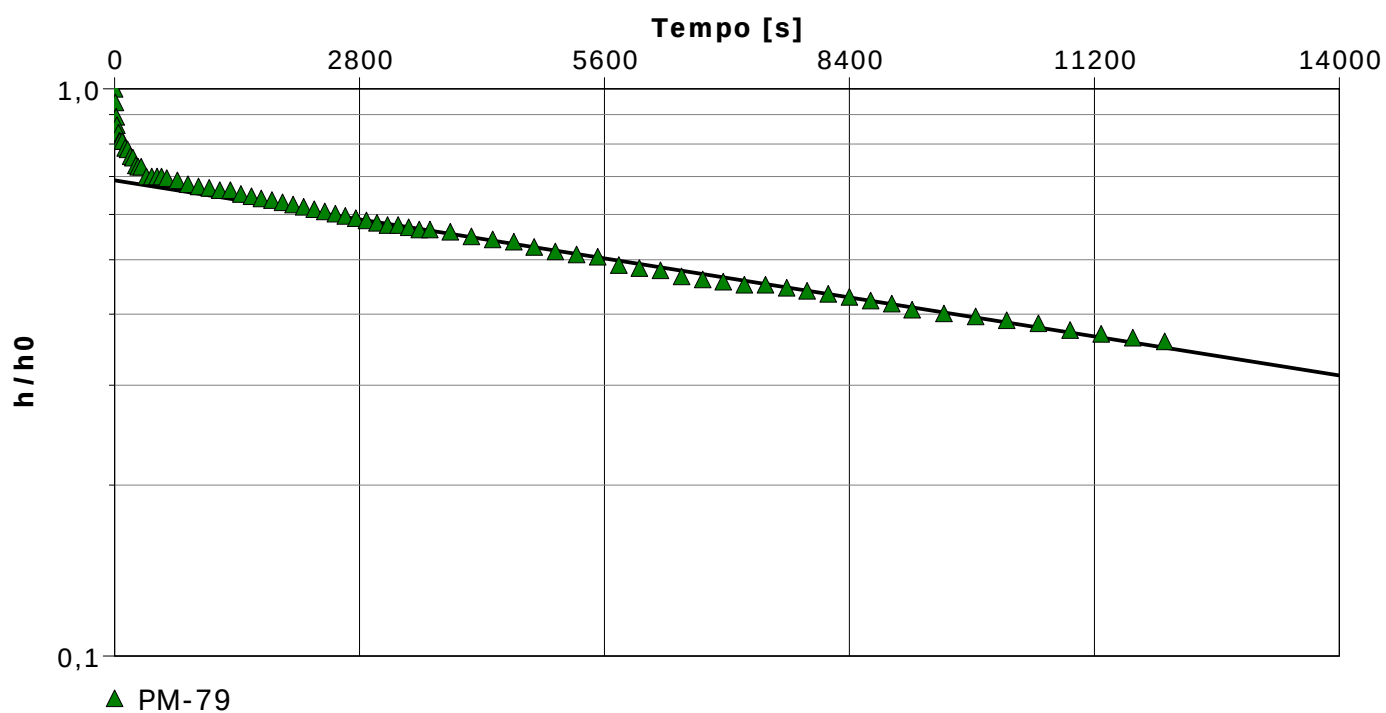
Location:	Slug Test: PM-79 - Slug Test	Test Well: PM-79
Test Conducted by: Carolina e Vitória		Test Date: 11/09/2017
Analysis Performed by: Carolina G.	Bouwer & Rice	Analysis Date: 28/10/2017
Aquifer Thickness: 600,00 cm		



Calculation using Bouwer & Rice

Observation Well	Hydraulic Conductivity [cm/s]	
PM-79	$2,90 \times 10^{-6}$	

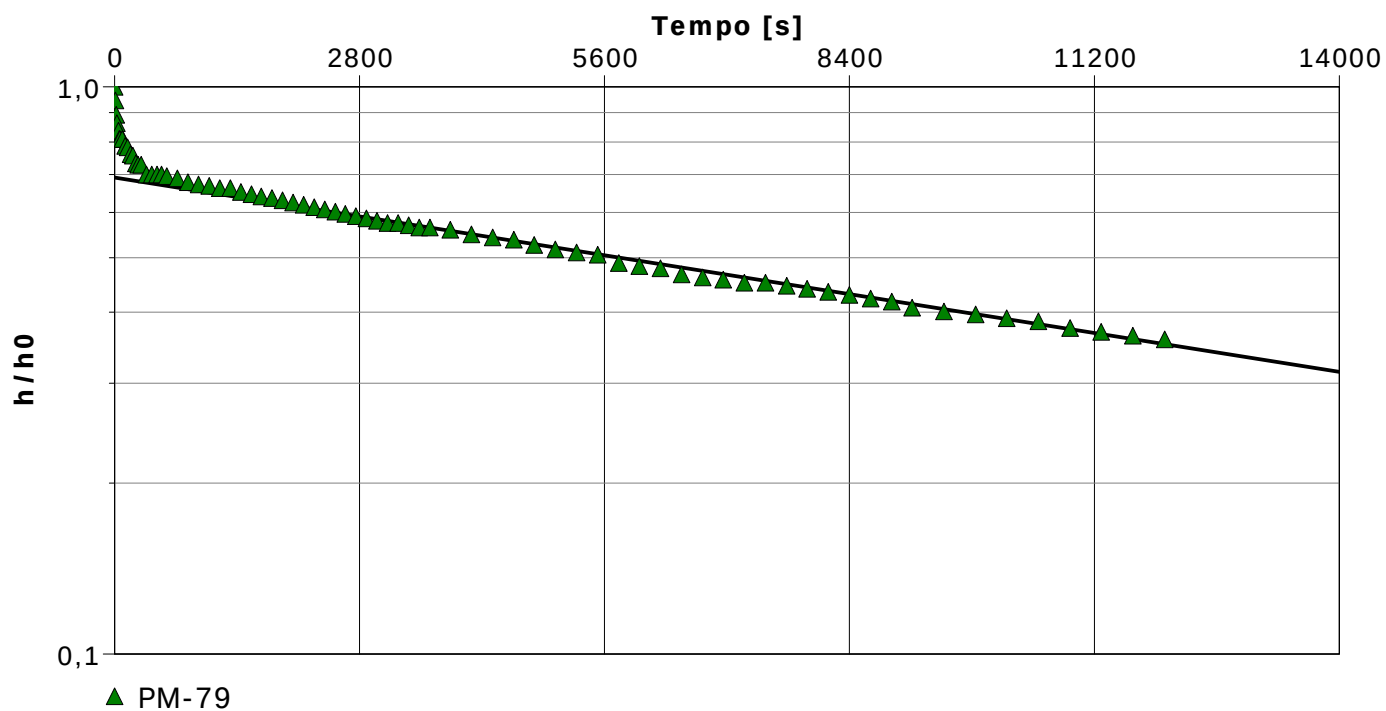
Location:	Slug Test: PM-79 - Bail Test	Test Well: PM-79
Test Conducted by: Carolina e Vitória		Test Date: 11/09/2017
Analysis Performed by: Carolina G.	Hvorslev	Analysis Date: 28/10/2017
Aquifer Thickness: 600,00 cm		



Calculation using Hvorslev

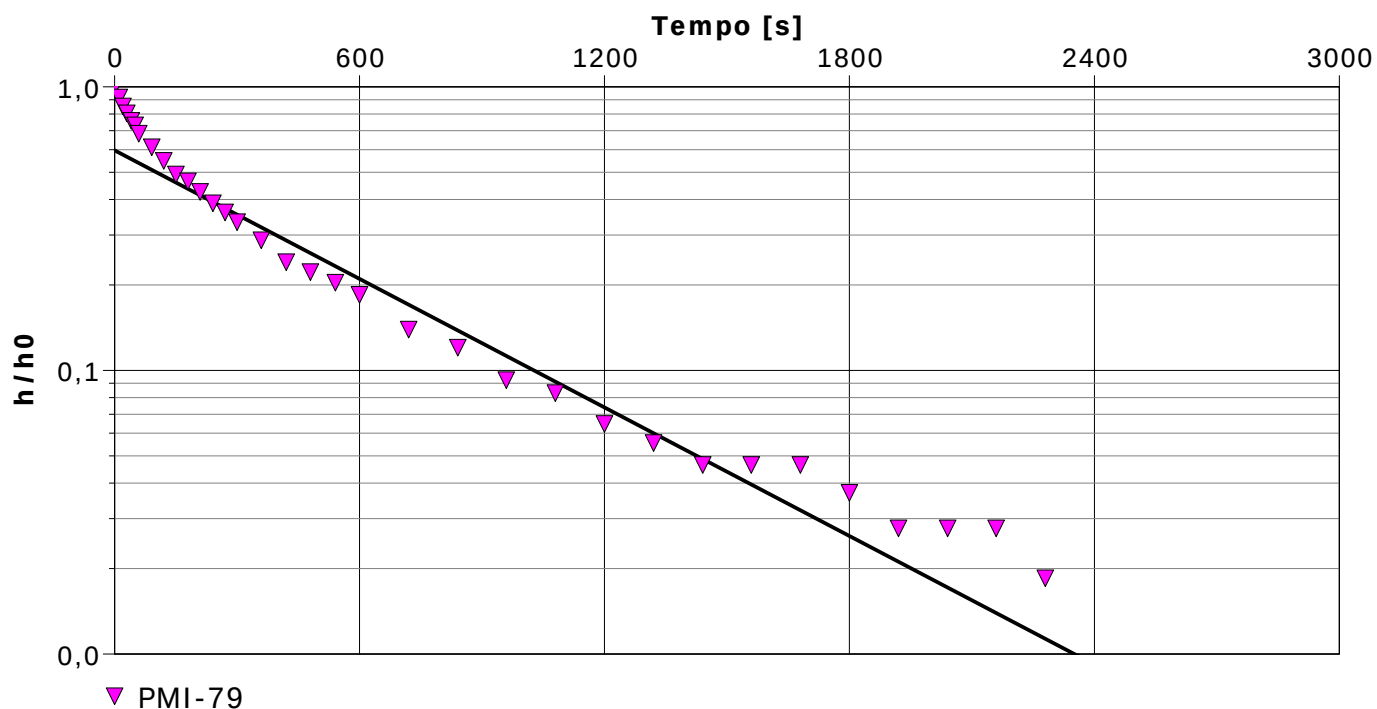
Observation Well	Hydraulic Conductivity [cm/s]	
PM-79	$2,04 \times 10^{-6}$	

Location:	Slug Test: PM-79 - Bail Test	Test Well: PM-79
Test Conducted by: Carolina e Vitória		Test Date: 11/09/2017
Analysis Performed by: Carolina G.	Bouwer & Rice	Analysis Date: 28/10/2017
Aquifer Thickness: 600,00 cm		



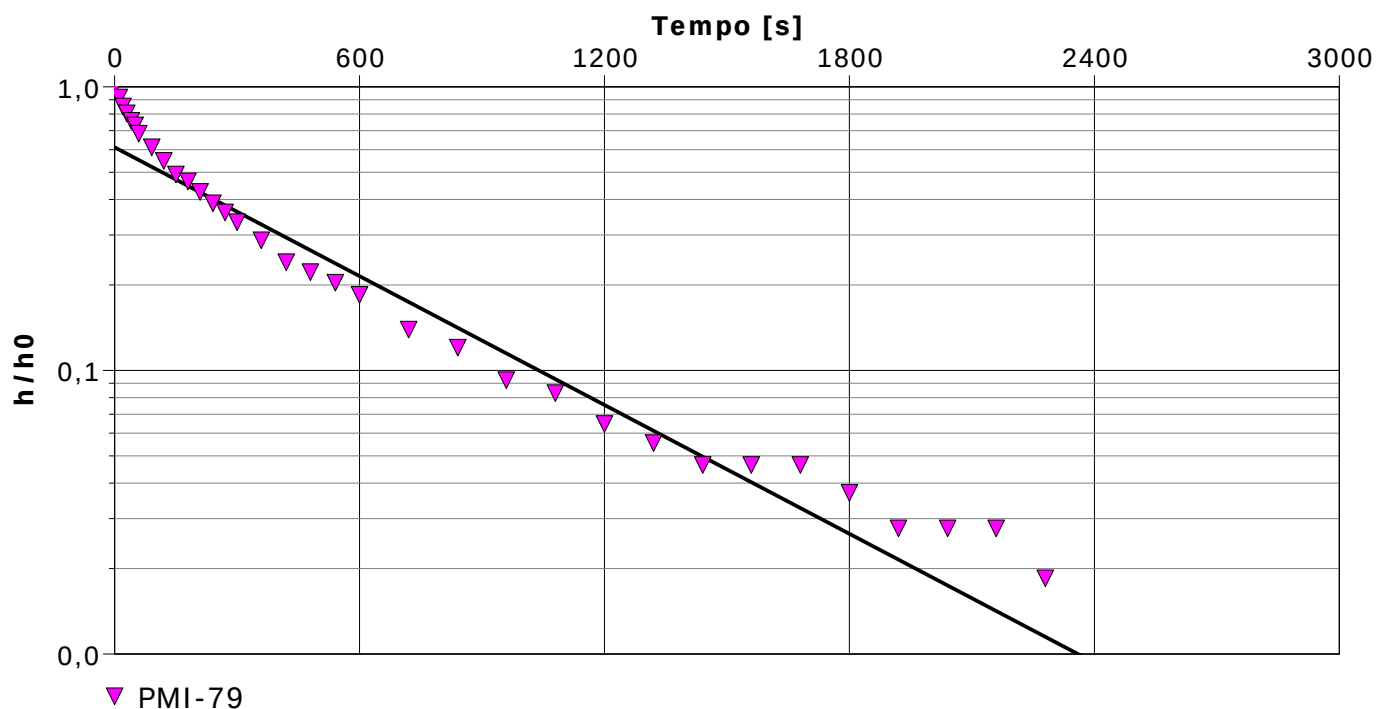
Calculation using Bouwer & Rice		
Observation Well	Hydraulic Conductivity [cm/s]	
PM-79	$1,26 \times 10^{-6}$	

Location:	Slug Test: PMI-79 - Slug Test	Test Well: PMI-79
Test Conducted by: Carolina, Milton e Natália		Test Date: 09/09/2017
Analysis Performed by: Carolina G.	Hvorslev	Analysis Date: 28/10/2017
Aquifer Thickness: 1600,00 cm		



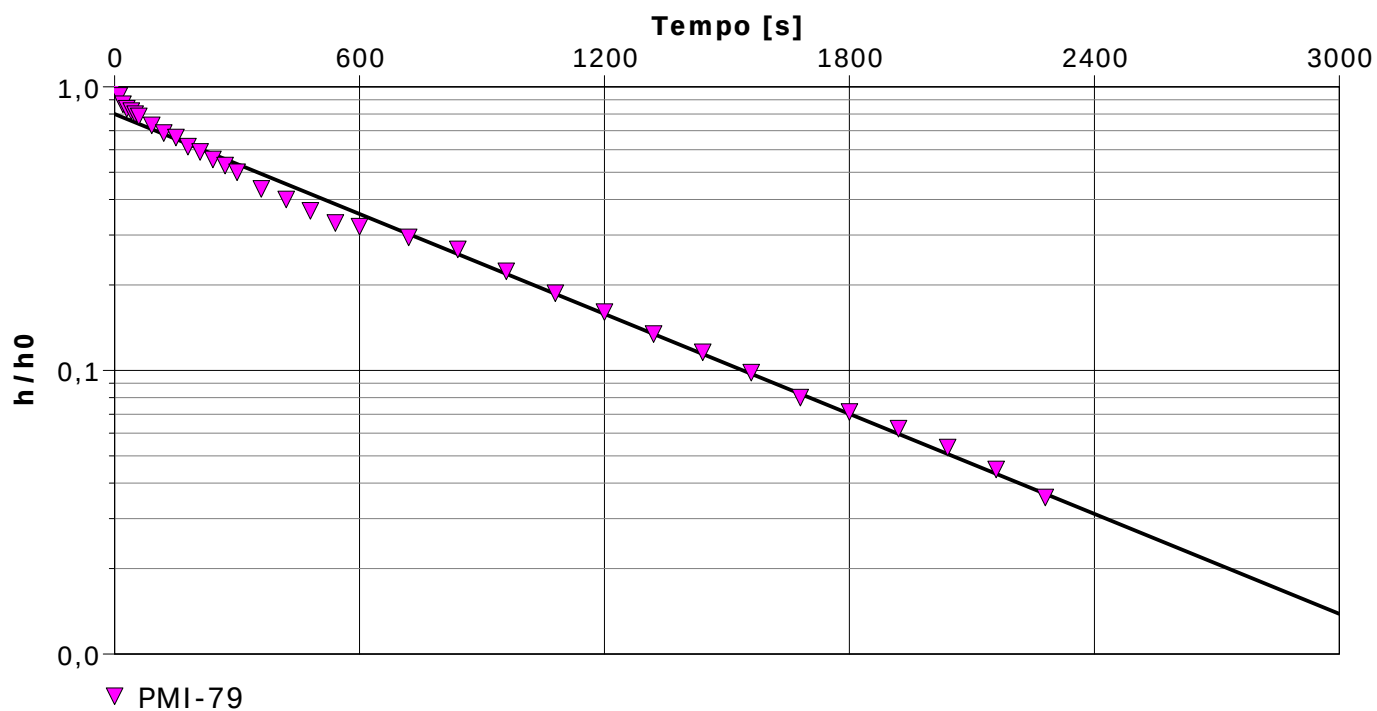
Calculation using Hvorslev		
Observation Well	Hydraulic Conductivity [cm/s]	
PMI-79	$1,26 \times 10^{-4}$	

Location:	Slug Test: PMI-79 - Slug Test	Test Well: PMI-79
Test Conducted by: Carolina, Milton e Natália		Test Date: 09/09/2017
Analysis Performed by: Carolina G.	Bouwer & Rice	Analysis Date: 28/10/2017
Aquifer Thickness: 1600,00 cm		



Calculation using Bouwer & Rice		
Observation Well	Hydraulic Conductivity [cm/s]	
PMI-79	$9,63 \times 10^{-5}$	

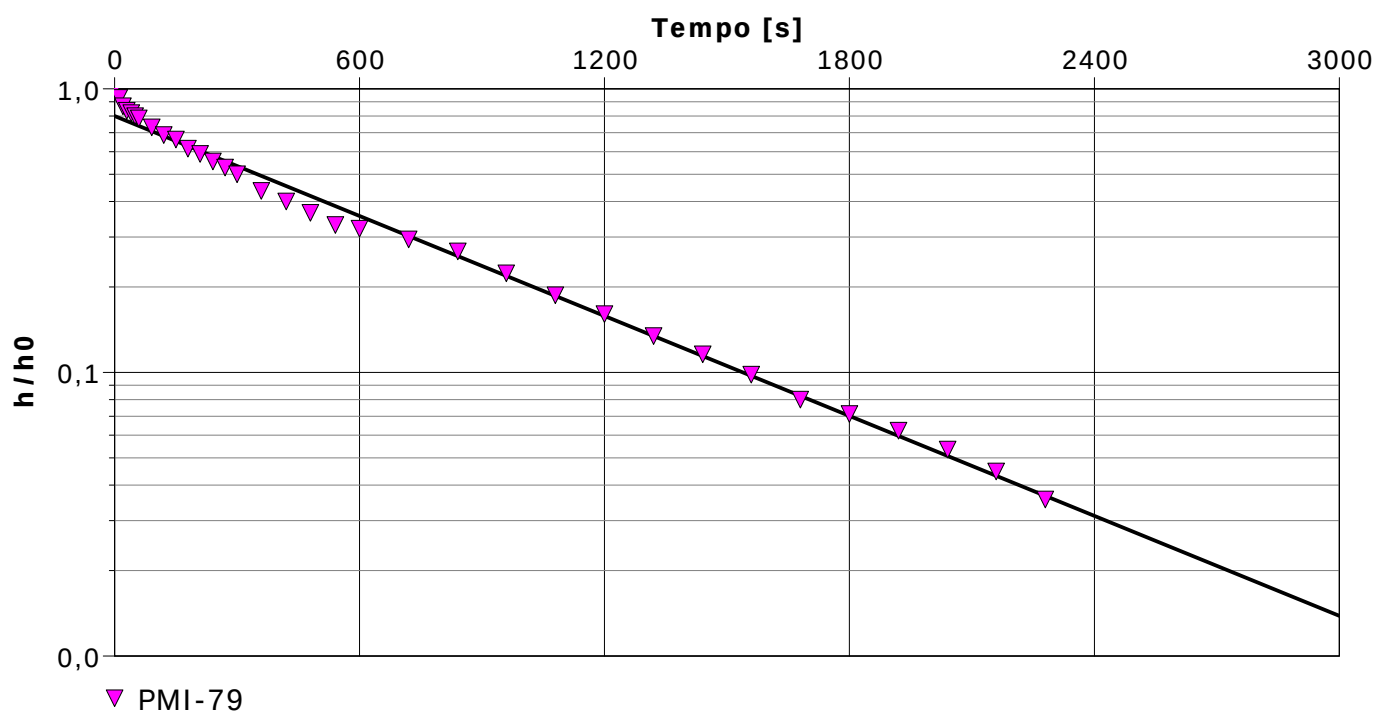
Location:	Slug Test: PMI-79 - Bail Test	Test Well: PMI-79
Test Conducted by: Carolina, Natália e Milton		Test Date: 09/09/2017
Analysis Performed by: Carolina G.	Hvorslev	Analysis Date: 28/10/2017
Aquifer Thickness: 1600,00 cm		



Calculation using Hvorslev

Observation Well	Hydraulic Conductivity [cm/s]
PMI-79	$9,80 \times 10^{-5}$

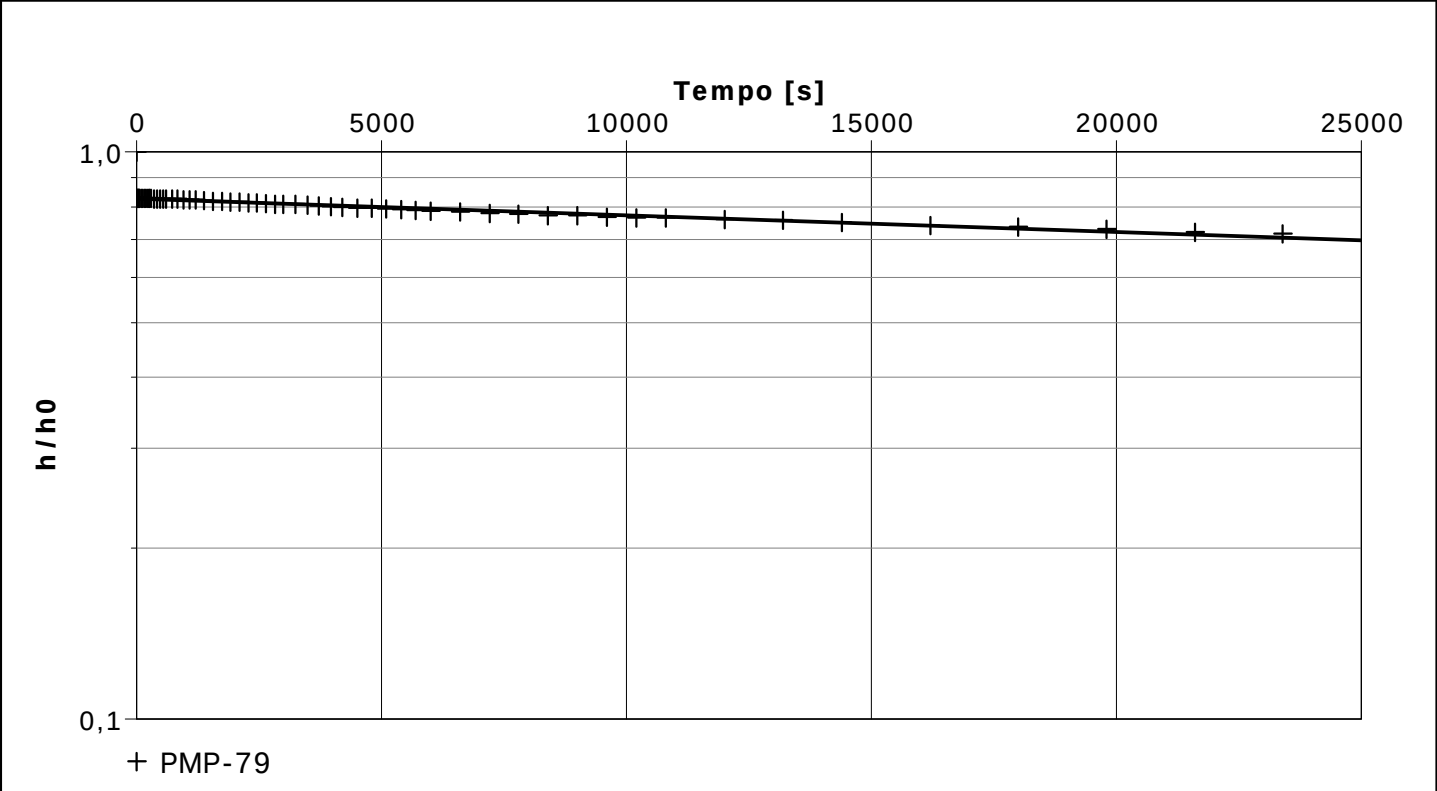
Location:	Slug Test: PMI-79 - Bail Test	Test Well: PMI-79
Test Conducted by: Carolina, Natália e Milton		Test Date: 09/09/2017
Analysis Performed by: Carolina G.	Bouwer & Rice	Analysis Date: 28/10/2017
Aquifer Thickness: 1600,00 cm		



Calculation using Bouwer & Rice

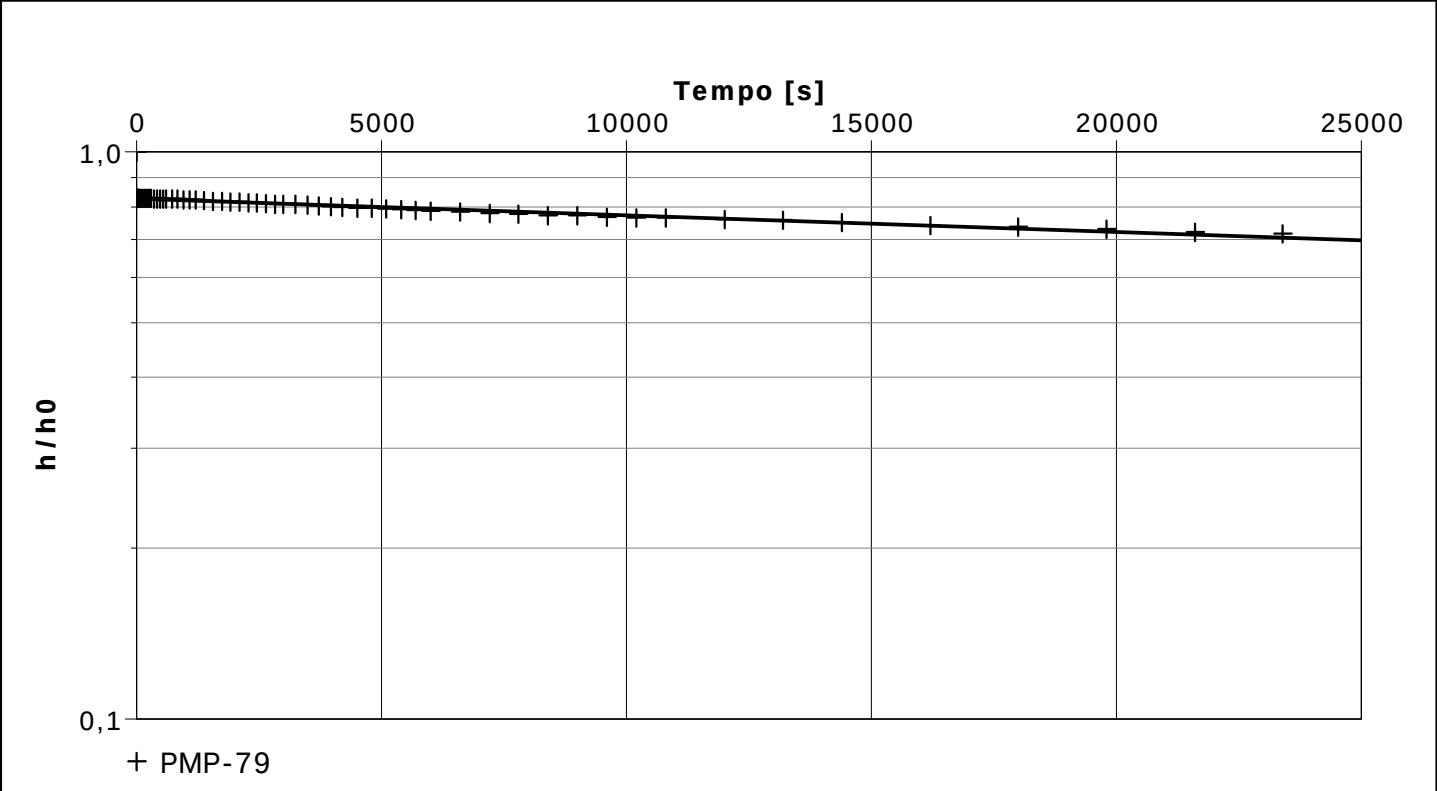
Observation Well	Hydraulic Conductivity [cm/s]
PMI-79	$7,47 \times 10^{-5}$

Location:	Slug Test: PMP-79 - Slug Test	Test Well: PMP-79
Test Conducted by: Carolina e Rafael		Test Date: 13/10/2017
Analysis Performed by: Carolina G.	Hvorslev	Analysis Date: 28/10/2017
Aquifer Thickness: 2000,00 cm		



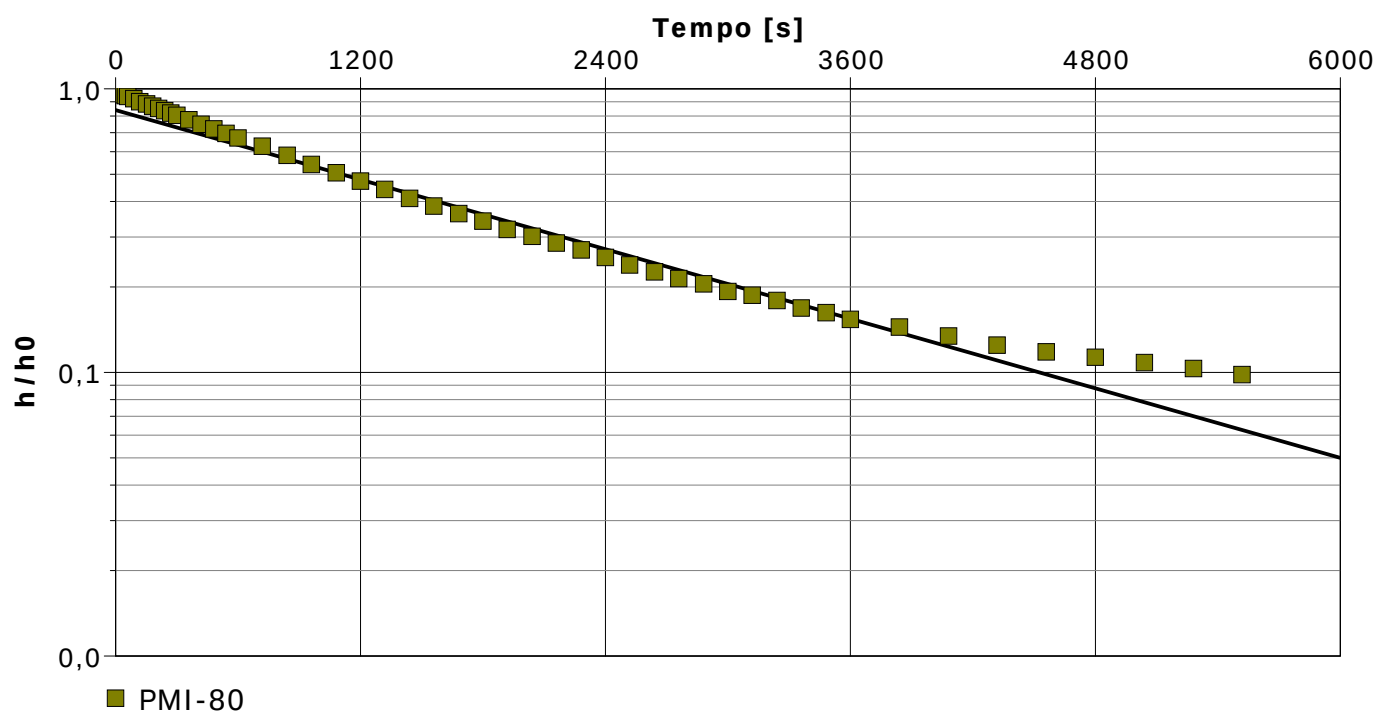
Calculation using Hvorslev		
Observation Well	Hydraulic Conductivity [cm/s]	
PMP-79	$4,88 \times 10^{-7}$	

Location:	Slug Test: PMP-79 - Slug Test	Test Well: PMP-79
Test Conducted by: Carolina e Rafael		Test Date: 13/10/2017
Analysis Performed by: Carolina G.	Bouwer & Rice	Analysis Date: 28/10/2017
Aquifer Thickness: 2000,00 cm		



Calculation using Bouwer & Rice		
Observation Well	Hydraulic Conductivity [cm/s]	
PMP-79	$3,95 \times 10^{-7}$	

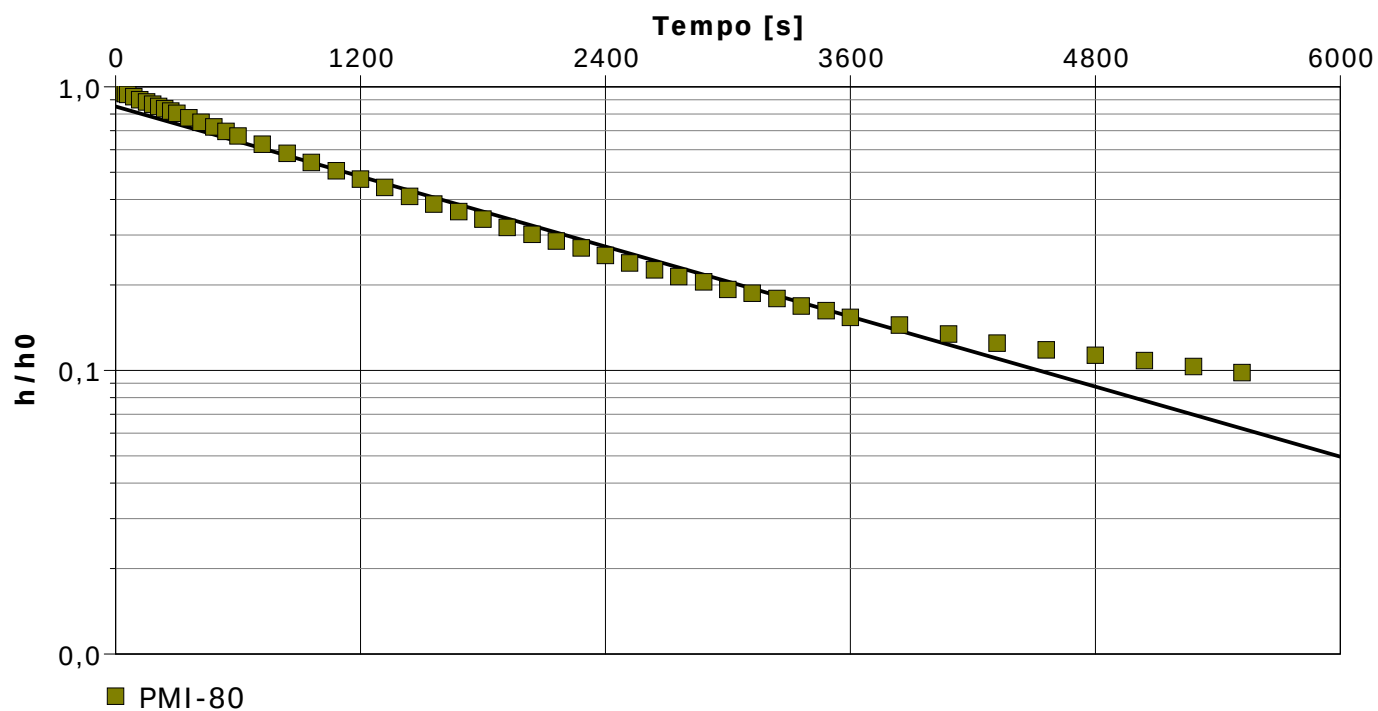
Location:	Slug Test: PMI-80 - Bail Test	Test Well: PMI-80
Test Conducted by: Carolina e Vitória		Test Date: 12/09/2017
Analysis Performed by: Carolina G.	Hvorslev	Analysis Date: 28/10/2017
Aquifer Thickness: 1600,00 cm		



Calculation using Hvorslev

Observation Well	Hydraulic Conductivity [cm/s]	
PMI-80	$3,41 \times 10^{-5}$	

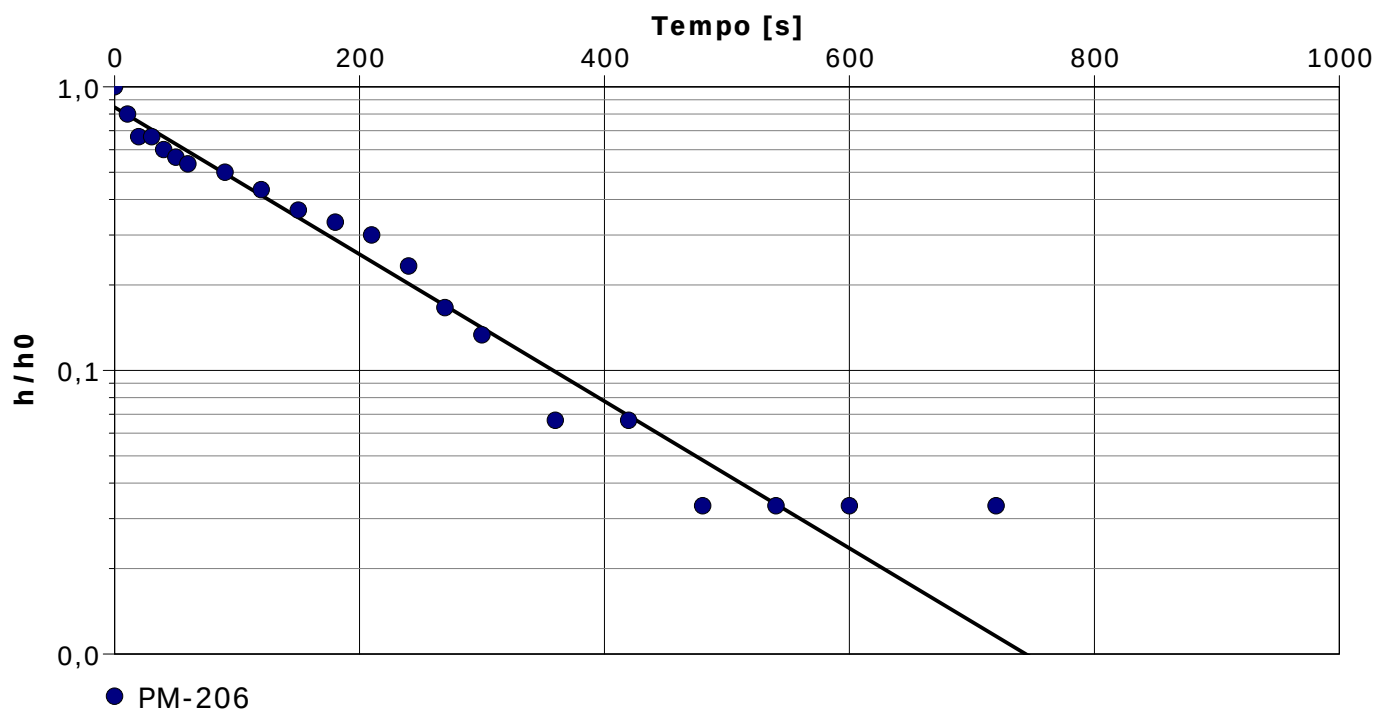
Location:	Slug Test: PMI-80 - Bail Test	Test Well: PMI-80
Test Conducted by: Carolina e Vitória		Test Date: 12/09/2017
Analysis Performed by: Carolina G.	Bouwer & Rice	Analysis Date: 28/10/2017
Aquifer Thickness: 1600,00 cm		



Calculation using Bouwer & Rice

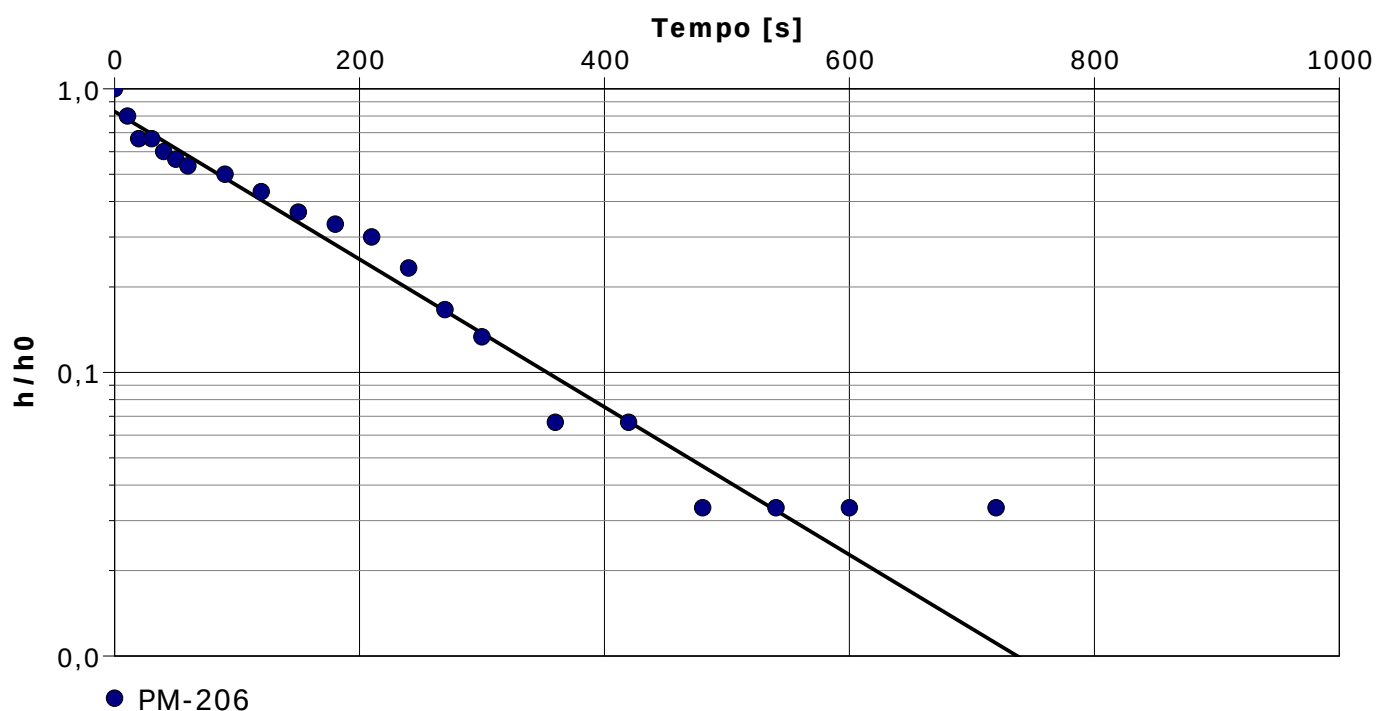
Observation Well	Hydraulic Conductivity [cm/s]	
PMI-80	$2,85 \times 10^{-5}$	

Location:	Slug Test: PM-206 - Slug Test - 01	Test Well: PM-206
Test Conducted by: Natália, Milton e Elisabeth		Test Date: 13/10/2017
Analysis Performed by: Carolina G.	Hvorslev	Analysis Date: 28/10/2017
Aquifer Thickness: 600,00 cm		



Calculation using Hvorslev		
Observation Well	Hydraulic Conductivity [cm/s]	
PM-206	$2,98 \times 10^{-4}$	

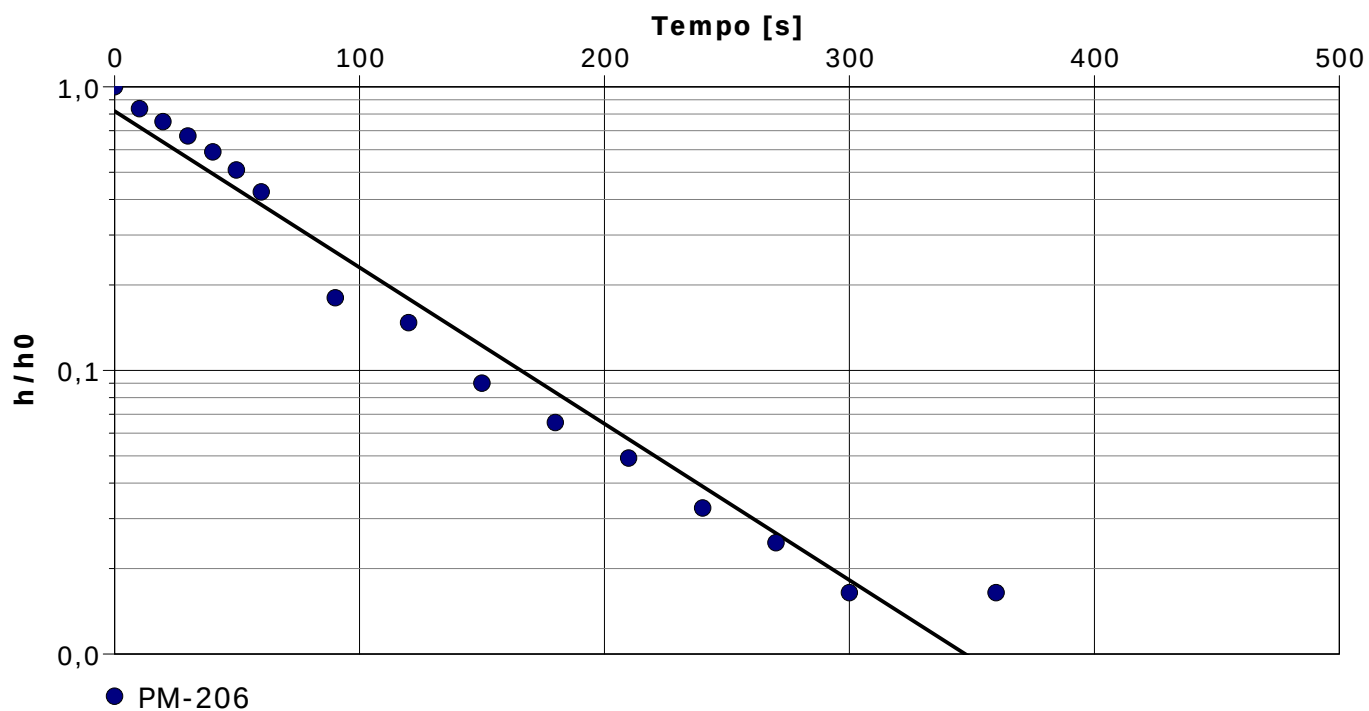
Location:	Slug Test: PM-206 - Slug Test - 01	Test Well: PM-206
Test Conducted by: Natália, Milton e Elisabeth		Test Date: 13/10/2017
Analysis Performed by: Carolina G.	Bouwer & Rice	Analysis Date: 28/10/2017
Aquifer Thickness: 600,00 cm		



Calculation using Bouwer & Rice

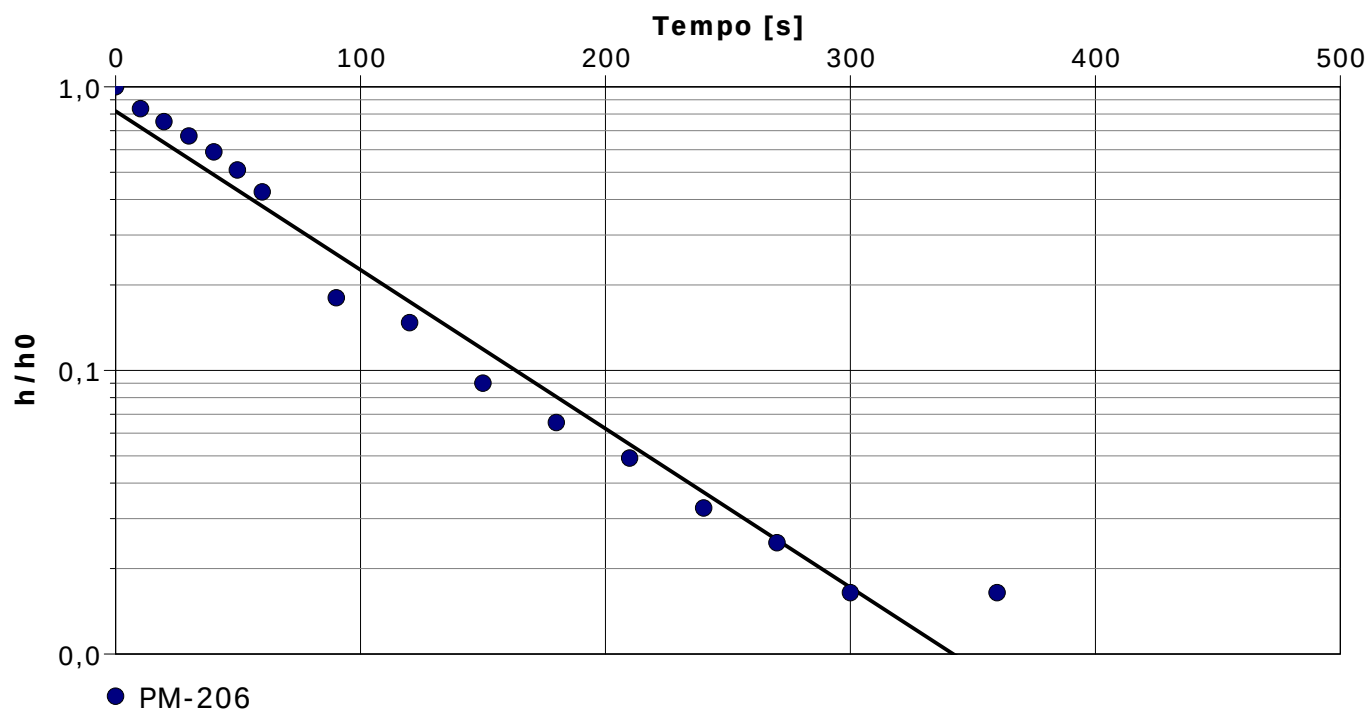
Observation Well	Hydraulic Conductivity [cm/s]
PM-206	$1,74 \times 10^{-4}$

Location:	Slug Test: PM-206 - Bail Test - 01	Test Well: PM-206
Test Conducted by: Natália, Milton e Elisabeth		Test Date: 13/10/2017
Analysis Performed by: Carolina G.	Hvorslev	Analysis Date: 28/10/2017
Aquifer Thickness: 600,00 cm		



Calculation using Hvorslev		
Observation Well	Hydraulic Conductivity [cm/s]	
PM-206	$6,33 \times 10^{-4}$	

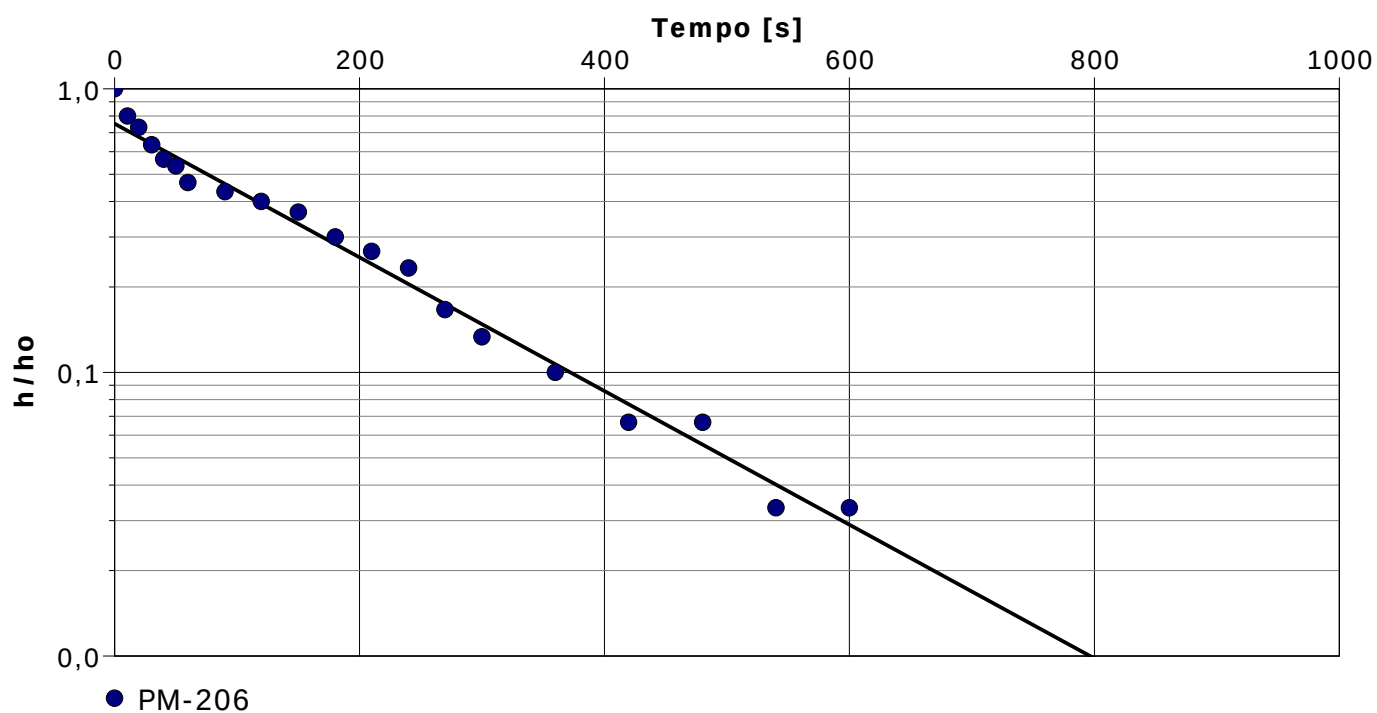
Location:	Slug Test: PM-206 - Bail Test - 01	Test Well: PM-206
Test Conducted by: Natália, Milton e Elisabeth		Test Date: 13/10/2017
Analysis Performed by: Carolina G.	Bouwer & Rice	Analysis Date: 28/10/2017
Aquifer Thickness: 600,00 cm		



Calculation using Bouwer & Rice

Observation Well	Hydraulic Conductivity [cm/s]	
PM-206	$3,75 \times 10^{-4}$	

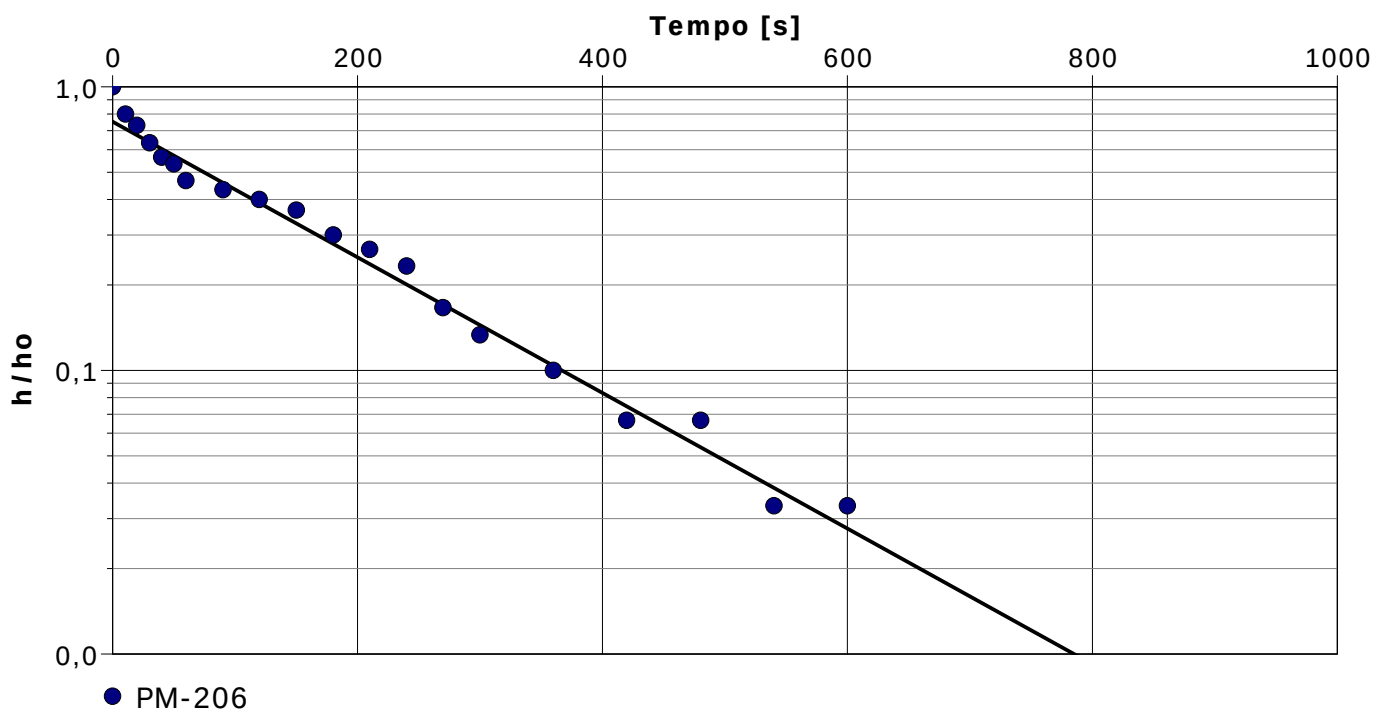
Location:	Slug Test: PM-206 - Slug Test - 02	Test Well: PM-206
Test Conducted by: Natália, Milton e Elisabeth		Test Date: 13/10/2017
Analysis Performed by: Carolina G.	Hvorslev	Analysis Date: 28/10/2017
Aquifer Thickness: 600,00 cm		



Calculation using Hvorslev

Observation Well	Hydraulic Conductivity [cm/s]
PM-206	$2,71 \times 10^{-4}$

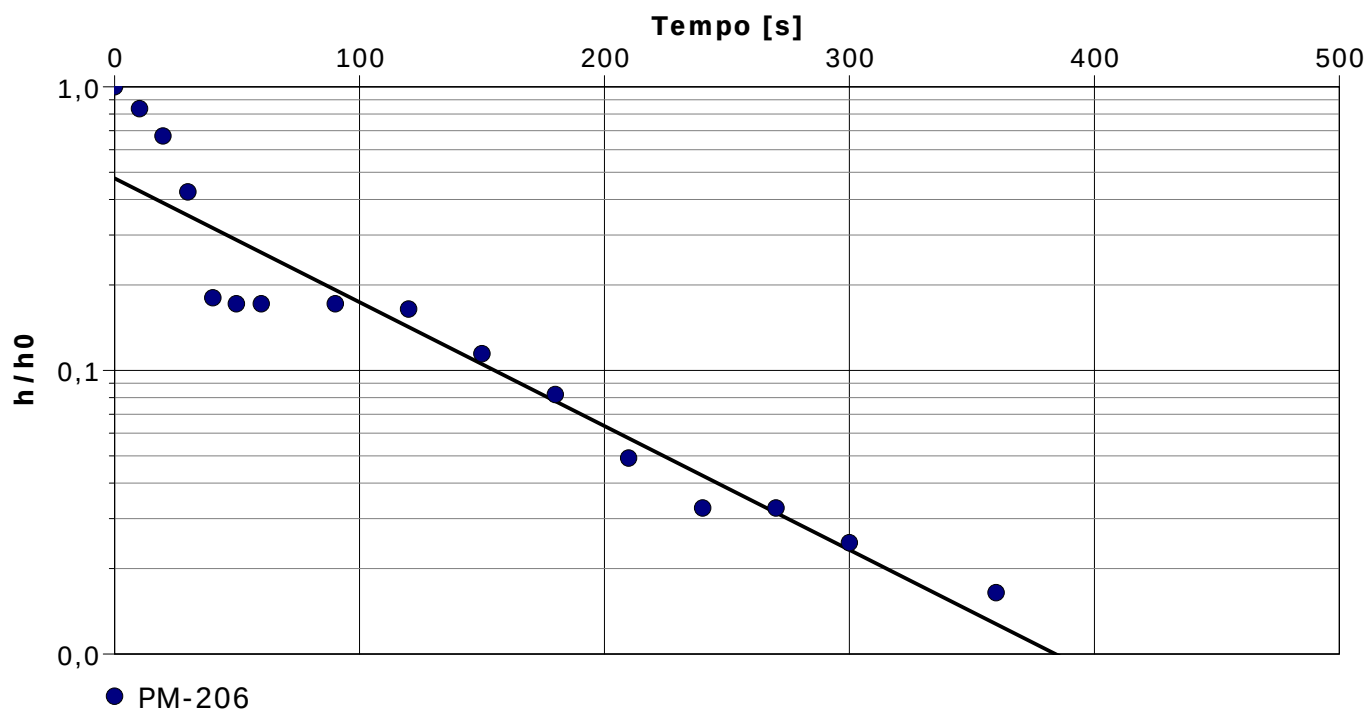
Location:	Slug Test: PM-206 - Slug Test - 02	Test Well: PM-206
Test Conducted by: Natália, Milton e Elisabeth		Test Date: 13/10/2017
Analysis Performed by: Carolina G.	Bouwer & Rice	Analysis Date: 28/10/2017
Aquifer Thickness: 600,00 cm		



Calculation using Bouwer & Rice

Observation Well	Hydraulic Conductivity [cm/s]
PM-206	$1,60 \times 10^{-4}$

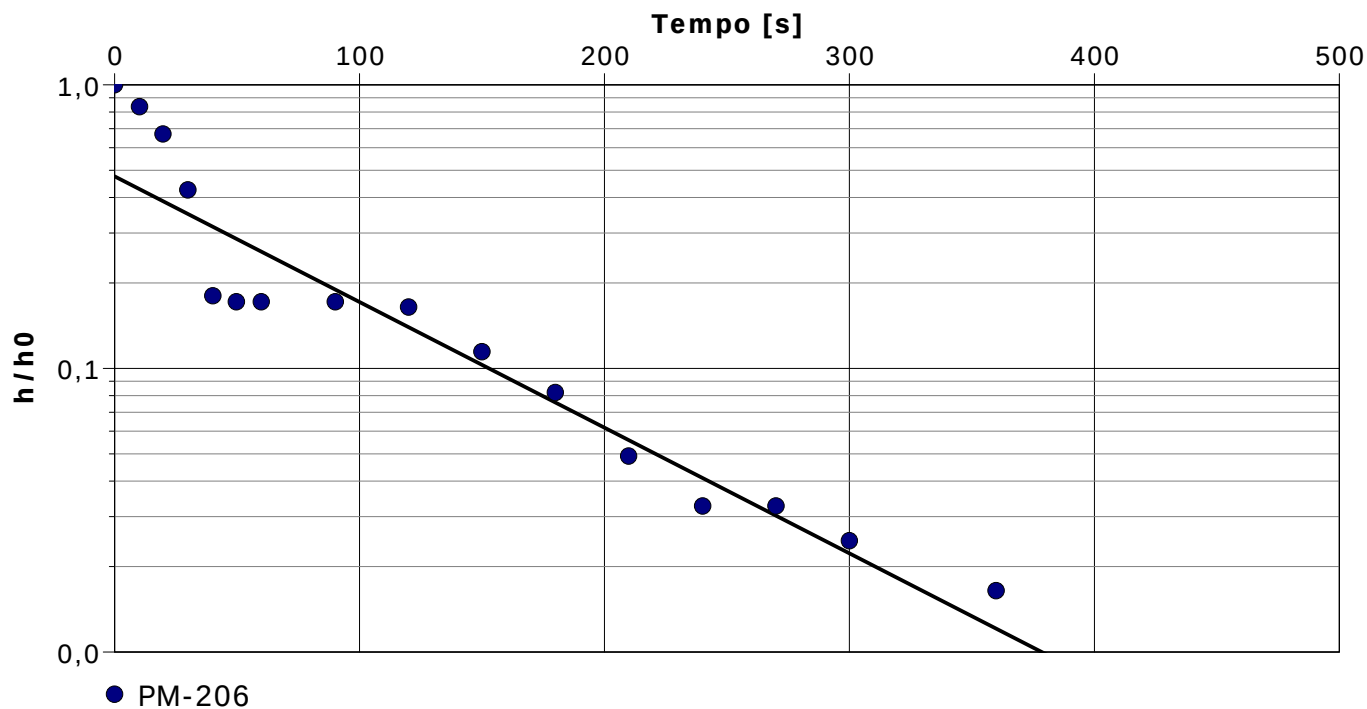
Location:	Slug Test: PM-206 - Bail Test - 02	Test Well: PM-206
Test Conducted by: Natália, Milton e Elisabeth		Test Date: 28/10/2017
Analysis Performed by: Carolina G.	Hvorslev	Analysis Date: 28/10/2017
Aquifer Thickness: 600,00 cm		



Calculation using Hvorslev

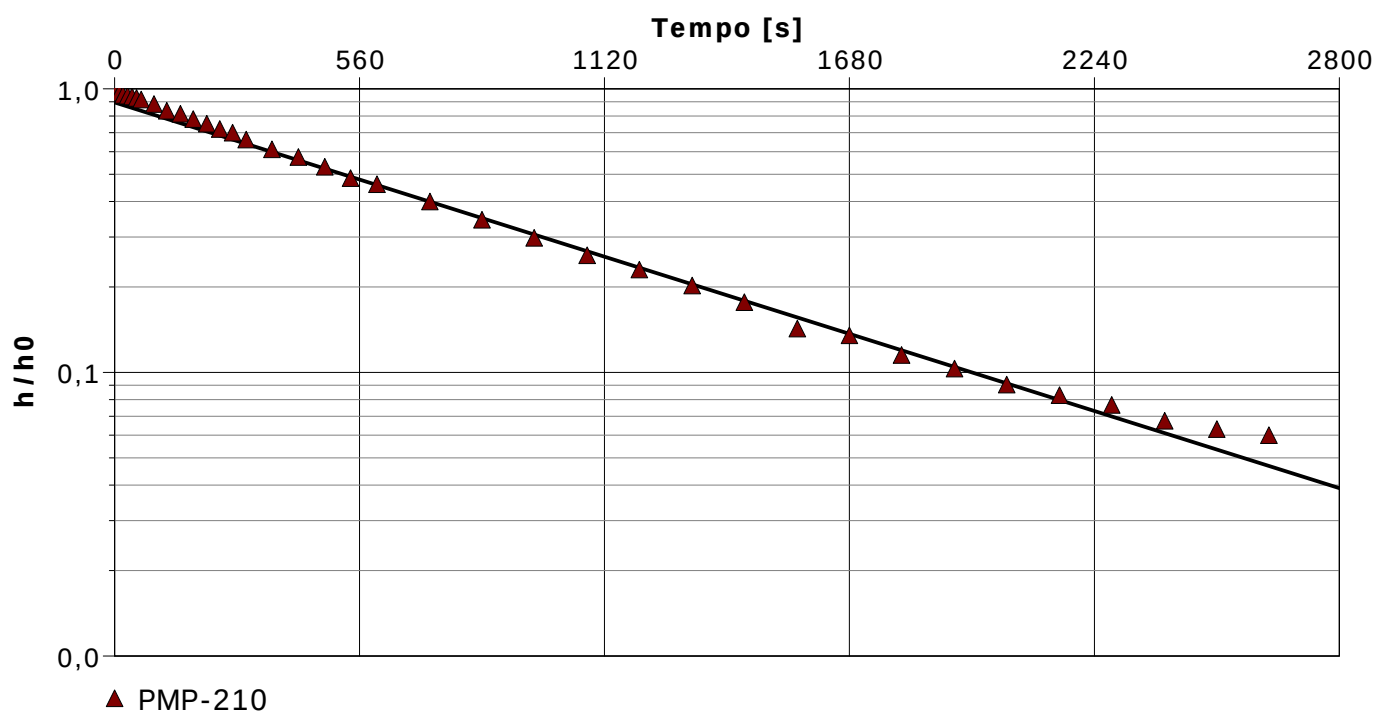
Observation Well	Hydraulic Conductivity [cm/s]
PM-206	$5,01 \times 10^{-4}$

Location:	Slug Test: PM-206 - Bail Test - 02	Test Well: PM-206
Test Conducted by: Natália, Milton e Elisabeth		Test Date: 28/10/2017
Analysis Performed by: Carolina G.	Bouwer & Rice	Analysis Date: 28/10/2017
Aquifer Thickness: 600,00 cm		



Calculation using Bouwer & Rice		
Observation Well	Hydraulic Conductivity [cm/s]	
PM-206	$2,97 \times 10^{-4}$	

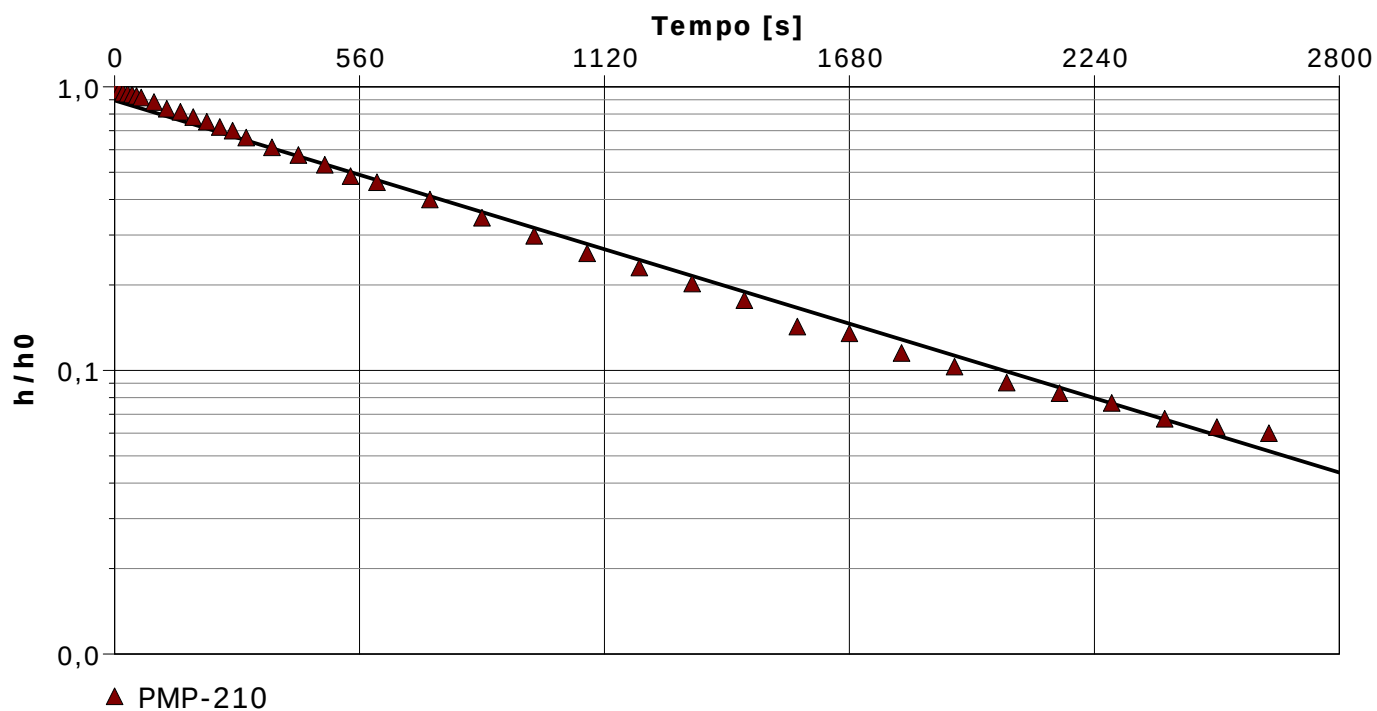
Location:	Slug Test: PMP-210 - Slug Test	Test Well: PMP-210
Test Conducted by: Carolina e Rafael		Test Date: 23/09/2017
Analysis Performed by: Carolina G.	Hvorslev	Analysis Date: 28/10/2017
Aquifer Thickness: 1600,00 cm		



Calculation using Hvorslev

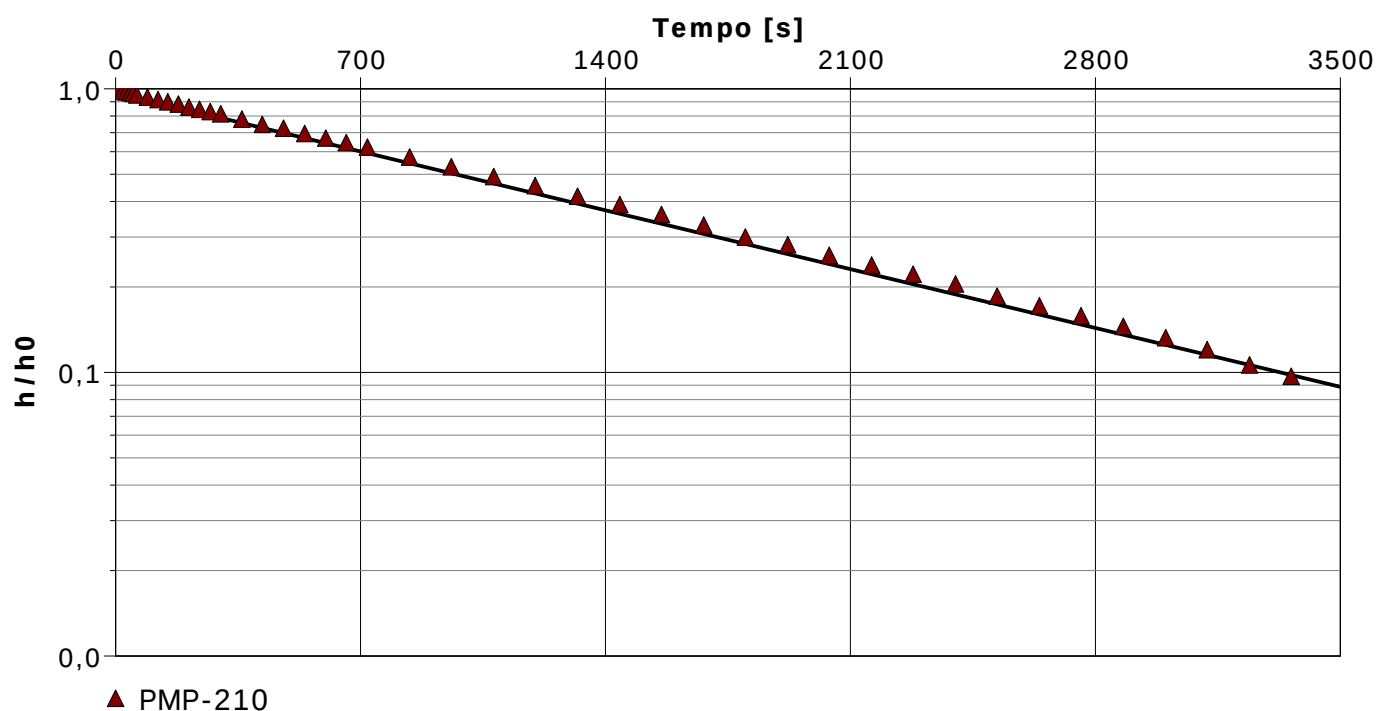
Observation Well	Hydraulic Conductivity [m/s]
PMP-210	$8,63 \times 10^{-7}$

Location:	Slug Test: PMP-210 - Slug Test	Test Well: PMP-210
Test Conducted by: Carolina e Rafael		Test Date: 23/09/2017
Analysis Performed by: Carolina G.	Bouwer & Rice	Analysis Date: 28/10/2017
Aquifer Thickness: 1600,00 cm		



Calculation using Bouwer & Rice		
Observation Well	Hydraulic Conductivity [m/s]	
PMP-210	$7,21 \times 10^{-7}$	

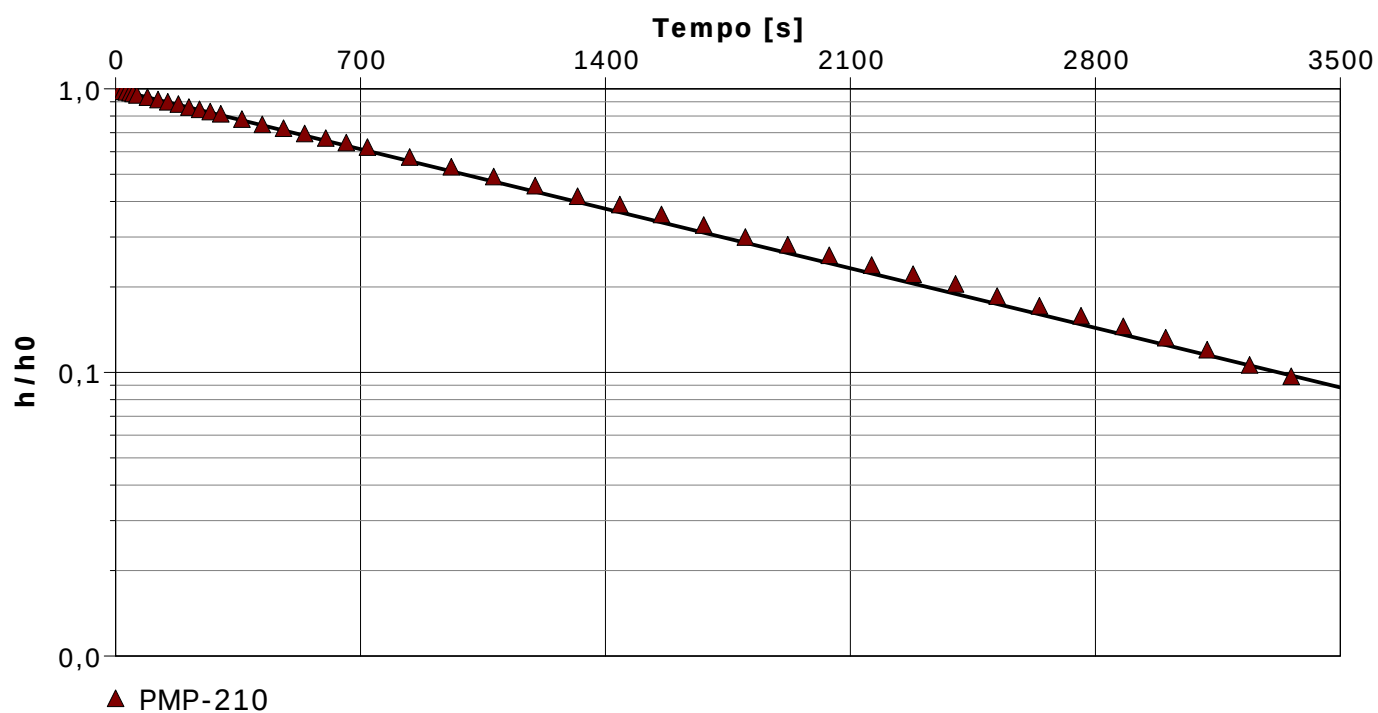
Location:	Slug Test: PMP-210 - Bail Test	Test Well: PMP-210
Test Conducted by: Carolina e Rafael		Test Date: 23/09/2017
Analysis Performed by: Carolina G.	Hvorslev	Analysis Date: 28/10/2017
Aquifer Thickness: 1600,00 cm		



Calculation using Hvorslev

Observation Well	Hydraulic Conductivity [cm/s]	
PMP-210	$5,27 \times 10^{-5}$	

Location:	Slug Test: PMP-210 - Bail Test	Test Well: PMP-210
Test Conducted by: Carolina e Rafael		Test Date: 23/09/2017
Analysis Performed by: Carolina G.	Bouwer & Rice	Analysis Date: 28/10/2017
Aquifer Thickness: 1600,00 cm		



Calculation using Bouwer & Rice

Observation Well	Hydraulic Conductivity [cm/s]	
PMP-210	$4,61 \times 10^{-5}$	