



RELATÓRIO TÉCNICO DE ENSAIO DE PERMEABILIDADE VERTICAL E SLUG TEST

**RELATÓRIO TÉCNICO RT-019/2025
VOLUME ÚNICO – REVISÃO 02
SETEMBRO/2025**



ÍNDICE DE REVISÕES			
REVISÃO	TIPO DE EMISSÃO	DESCRIÇÃO E/OU FOLHAS ATINGIDAS	DATA
02	RV	Revisão 02	11/09/2025
ELABORAÇÃO	GISELLY MARIA DE FÁTIMA HERCULANO DOS SANTOS, IAGO LOPES DE MACEDO		
VERIFICAÇÃO	PEDRO HENRIQUE NASCIMENTO BRANDÃO		
APROVAÇÃO	PEDRO HENRIQUE NASCIMENTO BRANDÃO		
Tipos de Emissão: EI – Emissão Inicial PC – Para Comentários RV - Revisão AP – Aprovado CA – Cancelado PI – Para Informação			



APRESENTAÇÃO

A Sudeste Consultoria Ambiental Ltda. foi contratada pela empresa IMETAME LOGÍSTICA PORTO S.A. para a realização de 12 (doze) ensaios *Open End Hole* e *Slug Test*, na área do empreendimento, localizada na região litorânea de Aracruz/ES, localidade de Barra do Riacho. O centroide da área é representado com as coordenadas UTM 24K SIRGAS 2000: 386.988,53 m E e 7.803.286,90 m N.

Este relatório técnico tem como finalidade documentar e apresentar, de forma detalhada, as metodologias empregadas, os resultados obtidos e as análises realizadas durante a execução dos serviços, garantindo transparência, conformidade técnica e suporte à tomada de decisões relacionadas à gestão ambiental e ao monitoramento da qualidade da água subterrânea.

ÍNDICE GERAL

1	INFORMAÇÕES GERAIS	7
1.1	EMPREENDEDOR.....	7
1.2	EMPREENDIMENTO	7
1.3	CONSULTORIA	7
2	LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO	8
3	DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO	9
4	ENSAIOS DE PERMEABILIDADE	11
4.1	ENSAIO DE PERMEABILIDADE VERTICAL (<i>OPEN END HOLE</i>)	11
4.1.1	Ensaio de Permeabilidade Vertical – OH 01	14
4.1.2	Ensaio de Permeabilidade Vertical – OH 02	14
4.1.3	Ensaio de Permeabilidade Vertical – OH 03	14
4.1.4	Ensaio de Permeabilidade Vertical – OH 04	14
4.1.5	Ensaio de Permeabilidade Vertical – OH 05	14
4.1.6	Ensaio de Permeabilidade Vertical – OH 06	14
4.1.7	Ensaio de Permeabilidade Vertical – OH 07	15
4.1.8	Ensaio de Permeabilidade Vertical – OH 08	15
4.1.9	Ensaio de Permeabilidade Vertical – OH 09	15
4.1.10	Ensaio de Permeabilidade Vertical – OH 10	15
4.1.11	Ensaio de Permeabilidade Vertical – OH 11	15
4.1.12	Ensaio de Permeabilidade Vertical – OH 12	16
4.2	ENSAIO DE PERMEABILIDADE RADIAL/HORIZONTAL (SLUG TEST)	16
4.2.1	Ensaio de Permeabilidade Horizontal – ST 01	19
4.2.2	Ensaio de Permeabilidade Horizontal – ST 02	19
4.2.3	Ensaio de Permeabilidade Horizontal – ST 03	19
4.2.4	Ensaio de Permeabilidade Horizontal – ST 04	19
4.2.5	Ensaio de Permeabilidade Horizontal – ST 05	20
4.2.6	Ensaio de Permeabilidade Horizontal – ST 06	20
4.2.7	Ensaio de Permeabilidade Horizontal – ST 07	20
4.2.8	Ensaio de Permeabilidade Horizontal – ST 10	21
4.2.9	Ensaio de Permeabilidade Horizontal – ST 12	21
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	22
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23
7	EQUIPE TÉCNICA	24
8	ANEXOS	25

FIGURAS

Figura 1: Ilustração esquemática do método “*open end hole*” 12

Figura 2: Perfil esquemático de um poço hipotético mostrando a evolução de um slug test. 17

QUADROS

Quadro 1: Principais referências técnicas utilizadas para o estudo..... 10

Quadro 2: Classificação típica dos solos quanto à permeabilidade e seus respectivos intervalos de coeficiente de permeabilidade (k). 13

ANEXOS

Anexo I – Anotação de Responsabilidade Técnica (ART).

Anexo II – Ensaios *Open End Hole* e *Slug Test*.

1 INFORMAÇÕES GERAIS

1.1 EMPREENDEDOR

Nome / Razão Social: IMETAME LOGÍSTICA PORTO S.A.

CNPJ: 11.415.956/0001-70

PESSOA DE CONTATO

Nome: André Luiz Ribeiro Azeredo

Telefone: (27) 3302-7590 | (27) 99508-8969

E-mail: andre.azeredo@imetame.com.br

1.2 EMPREENDIMENTO

Nome: IMETAME LOGÍSTICA PORTO S.A.

Endereço: Rodovia ES-010, Aracruz/ES, 29.197-554.

1.3 CONSULTORIA

Razão Social: SUDESTE CONSULTORIA AMBIENTAL LTDA

CNPJ: 42.269.585/0001-90

Endereço: Rua Alvim Soares Bermudes, 45, Sala 101. Morada de Camburi, Vitória/ES. CEP: 29.062- 515

Telefone: (27) 3376-8146

Endereço eletrônico: sudeste.consultoria.amb@gmail.com

REPRESENTANTES LEGAIS

Nome: Pedro Henrique Nascimento Brandão

Cargo: Diretor Geral, Geólogo

Endereço eletrônico: tecnico@consultoriasudeste.com.br

2 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A área de estudo está localizada na Rodovia ES-010, S/N, no bairro Barra do Riacho, município de Aracruz-ES, e tem como coordenadas centrais UTM 24K SIRGAS 2000: 386.988,53 m E e 7.803.286,90 m N. A localização é adjacente ao Estaleiro Jurong Aracruz (EJA), sendo circundada por áreas de plantações de eucalipto, além de pequenos fragmentos de vegetação nativa e outras instalações industriais como Suzano e Portocel.

O município de Aracruz está a 60 km de distância da capital Vitória-ES, e tem como limites geográficos os municípios de Linhares, Fundão, Ibirapu e João Neiva. A sede está situada a 50 metros de altitude e possui como distritos: Guaraná, Jacupemba, Santa Cruz e a localidade de Riacho.

O acesso ao empreendimento portuário, a partir da sede da Sudeste Ambiental, em Vitória-ES, é feito pela Rodovia ES-010, seguindo por 65,8 km em direção ao norte do estado até Barra do Riacho. O acesso a área de estudo se dá diretamente pela ES-010, como também pela Rodovia ES-257, estrada de acesso à Suzano (sem nome) e estradas secundárias, em direção ao oeste e norte da área.

3 DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO

O Desenvolvimento Metodológico visa apresentar todas as técnicas utilizadas na investigação ambiental e apresentar os principais marcos do projeto, com as datas de execução.

O presente capítulo descreve os procedimentos adotados para a execução do estudo hidrogeológico da área avaliada. As atividades foram conduzidas pela equipe técnica da Sudeste Consultoria Ambiental Ltda., com base na aplicação de técnicas de investigação geoambiental, contemplando os seguintes itens: realização de visita técnica, avaliação do meio físico com base em dados secundários (levantamento bibliográfico e consulta a mapas temáticos), realização de ensaios *Slug Test*, e ensaios de infiltração na zona não saturada (*Open End Hole*), com registro fotográfico de todas as atividades executadas em campo.

Inicialmente, foi elaborado um plano de trabalho técnico contendo a definição das metodologias aplicadas, os procedimentos operacionais e as normas técnicas adotadas, permitindo a execução segura e eficiente das atividades em campo.

Foram realizados ensaios de campo do tipo *Slug Test*, conforme a ABNT NBR 15.530/2007. O ensaio consistiu na introdução súbita de um volume conhecido de água e na medição da variação do nível d'água ao longo do tempo, permitindo a estimativa da condutividade hidráulica local.

Além disso, foram executados ensaios de infiltração na zona não saturada, com a finalidade de avaliar a capacidade de percolação vertical do solo acima do lençol freático. Esses testes seguiram metodologia de campo com controle do tempo de absorção da água aplicada e cálculo das taxas de infiltração. Os resultados fornecem subsídios importantes para a avaliação do potencial de recarga do aquífero e do comportamento de contaminantes na zona vadosa.

Por fim, todos os dados obtidos foram consolidados em relatório técnico, contendo a descrição detalhada das metodologias aplicadas, os registros de campo, os resultados dos ensaios e a interpretação técnica dos dados

Com a consolidação dos dados, foi emitido o Relatório Técnico referente aos serviços realizados, acompanhado da respectiva Anotação de Responsabilidade Técnica (ART), apresentada no **Anexo I**.

A avaliação realizada sobre a área de estudo foi elaborada mediante a consulta de normas e publicações pertinentes ao estudo, disponíveis no **Quadro 1**:

Quadro 1: Principais referências técnicas utilizadas para o estudo.

Norma/Autor	Descrição
Lei Estadual nº 6.295, de 26 de junho de 2000	Dispõe sobre a administração, proteção e conservação das águas subterrâneas de domínio do estado do Espírito Santo.
Lei Estadual nº 10.179, de 18 de março de 2014	Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo – SIGERH/ES e dá outras providências.
ABNT NBR 15.530/2007	Ensaio de campo em poços de monitoramento
ABNT NBR 13.292/1995	Dispõe sobre a determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante.
ABGE 107/2024	Estabelece diretrizes para procedimentos de campo em investigações hidrogeológicas e geotécnicas

4 ENSAIOS DE PERMEABILIDADE

Este item apresenta a metodologia adotada e os resultados obtidos a partir da execução de ensaios de permeabilidade *in situ*, realizados tanto na zona saturada quanto na zona insaturada do aquífero livre investigado. Para avaliação da permeabilidade, aplicaram-se dois métodos: o *Slug Test*, na zona saturada, e o método *Open End Hole*, na zona insaturada.

Para garantir a conformidade técnica e padronização dos procedimentos, foi utilizada a norma oficial da ABNT NBR 13.292:1995 (em revisão) (Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante), que estabelece a metodologia para cálculo do coeficiente de permeabilidade. Os procedimentos de campo, como cronogramas, instalação de tubos PVC, métodos de rebaixamento e recuperação de nível, seguem as boas práticas descritas na Norma ABGE 107/2024, recentemente publicada pela ABGE como referência técnica complementar.

O principal objetivo foi avaliar o comportamento médio da permeabilidade vertical *in situ* na zona insaturada, considerando dois intervalos lito/geotécnicos superficiais previamente caracterizados nas sondagens. Além disso, buscou-se determinar o coeficiente de permeabilidade *in situ* da zona saturada.

Os ensaios foram conduzidos nos poços de monitoramento e em suas proximidades, com o nível d'água previamente estabilizado.

4.1 ENSAIO DE PERMEABILIDADE VERTICAL (*OPEN END HOLE*)

O ensaio de permeabilidade é essencial para a compreensão das propriedades hidráulicas dos solos, crucial em projetos de engenharia civil e geotecnia. Entre os vários métodos disponíveis, o método *Open End Hole* se destaca por sua simplicidade e eficácia na avaliação da permeabilidade em campo. Este método mede a capacidade do solo em permitir a passagem de água através de seus poros, proporcionando dados fundamentais para a concepção de fundações, sistemas de drenagem e controle de água subterrânea avalia o fluxo de água através do solo, proporcionando uma estimativa precisa da sua permeabilidade.

O método é um procedimento direto para determinar a permeabilidade do solo no local, ele consiste na instalação de um dispositivo cilíndrico, com uma abertura superior e uma inferior, que permite a introdução e a saída de água (**Figura 1**). Durante o ensaio, o fluxo é monitorado para determinar a taxa de infiltração e a eficiência de drenagem do solo, possibilitando uma compreensão aprofundada do comportamento do solo sob condições de

saturação. O ensaio avalia o fluxo de água através do solo, proporcionando uma estimativa precisa da sua permeabilidade.

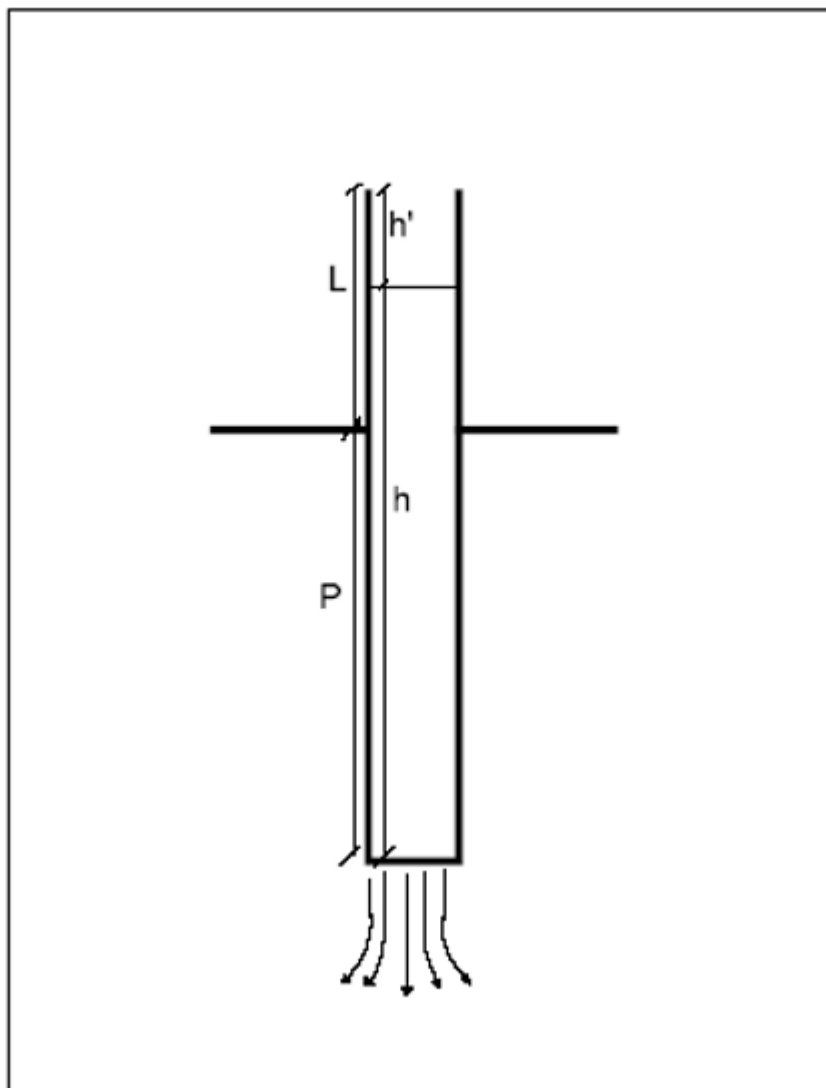


Figura 1: Ilustração esquemática do método “open end hole”.

A Lei de Darcy é o princípio fundamental que orienta a análise dos resultados obtidos no ensaio de permeabilidade. Ela relaciona a taxa de fluxo com a diferença de pressão e a permeabilidade do solo, permitindo calcular a capacidade do solo em permitir a passagem de água. A taxa do fluxo de água é expressa pela equação:

$$Q = -k \cdot A \cdot \Delta h / L$$

Onde:

- Q é a taxa de fluxo de água (volume por unidade de tempo);
- k é a permeabilidade do solo (em unidades de comprimento por tempo);
- A é a área transversal do fluxo;
- Δh é a diferença de carga hidráulica (ou pressão) ao longo do comprimento L do solo.

Com a leitura da variação da altura da água, realizada ao longo do tempo é possível monitorar o rebaixamento. A condutividade hidráulica vertical (K_v) é calculada com base na equação adaptada do *Earth Manual* (1974):

$$K_v = \frac{(2,303.R)}{(4.Dt)} \cdot \log\left(\frac{h_0}{h_t}\right)$$

Onde:

- K_v é a condutividade hidráulica vertical (m/s);
- R é o raio interno do tubo de PVC (m);
- h_0 é a coluna d'água inicial (m);
- h_t é a coluna d'água final (m);
- Dt é o tempo decorrido entre h_0 e h_t (s).

A permeabilidade é influenciada por diversos fatores, como granulometria, índice de vazios, composição mineralógica, estrutura do solo, tipo de fluido e temperatura. Por exemplo, solos arenosos e pedregulhosos, que possuem poros maiores e maior conectividade, apresentam alta permeabilidade, enquanto as argilas, especialmente aquelas com alto teor de argilo-minerais como caulinita e montmorilonita, tendem a apresentar permeabilidade muito baixa.

Os valores típicos de permeabilidade dos diferentes tipos de solo são apresentados no **Quadro 2**, a seguir:

Quadro 2: Classificação típica dos solos quanto à permeabilidade e seus respectivos intervalos de coeficiente de permeabilidade (k).

Permeabilidade	Tipo de Solo	k (m/s)
Alta	Pedregulhos	$> 10^{-5}$
Alta	Areias	10^{-5} a 10^{-7}
Baixa	Siltos e argilas	10^{-7} a 10^{-9}
Muito baixa	Argilas	10^{-9} a 10^{-11}
Baixíssima	Argilas	$< 10^{-11}$

A partir dos 12 (doze) ensaios de permeabilidade realizados na área de estudo, foi possível fornecer de forma detalhada o comportamento em relação a infiltração de água do solo, em seguida, feitas as interpretações e discussões dos resultados. Os ensaios foram conduzidos nas proximidades dos furos dos poços de monitoramento, garantindo que os resultados obtidos sejam representativos das condições locais ao redor dos poços. Os dados referentes aos ensaios realizados, estão disponíveis no **Anexo II**.

4.1.1 Ensaio de Permeabilidade Vertical – OH 01

O ponto OH-01 apresentou um coeficiente de permeabilidade de $2,03 \times 10^{-6}$ m/s, classificado como de baixa permeabilidade. Esse valor indica que o solo possui capacidade significativa de infiltração, permitindo drenagem mais eficiente e compatível com materiais de textura arenosa a média, pouco compactados. A profundidade testada, de 30 cm, corresponde a uma camada superficial-intermediária do perfil, cujas características texturais e estruturais favorecem a condução da água, influenciando diretamente o comportamento de infiltração e a dinâmica de drenagem local.

4.1.2 Ensaio de Permeabilidade Vertical – OH 02

O ponto OH-02 apresentou um coeficiente de permeabilidade de $4,03 \times 10^{-6}$ m/s, classificado como de alta permeabilidade (Areias). O resultado indica uma condutividade elevada, característica de solos arenosos, capazes de transmitir água com maior facilidade. O ensaio, realizado a 47 cm de profundidade, abrange uma camada onde a estrutura do solo contribui para a rápida drenagem.

4.1.3 Ensaio de Permeabilidade Vertical – OH 03

O ponto OH-03 apresentou um coeficiente de permeabilidade de $2,96 \times 10^{-6}$ m/s, classificado como de alta permeabilidade (Areias). Esse valor sugere que o solo possui boa condutividade hidráulica, favorecendo a infiltração. A profundidade de 35 cm corresponde a uma camada intermediária do perfil, onde a textura e a porosidade permitem o escoamento mais eficiente da água.

4.1.4 Ensaio de Permeabilidade Vertical – OH 04

O ponto OH-04 apresentou um coeficiente de permeabilidade de $9,72 \times 10^{-7}$ m/s, classificado como de alta permeabilidade (Areias). O resultado reflete condições de solo com condutividade significativa, ainda que moderada em comparação com outros pontos. A 40 cm de profundidade, a camada apresenta características físicas que facilitam o movimento descendente da água.

4.1.5 Ensaio de Permeabilidade Vertical – OH 05

O ponto OH-05 apresentou um coeficiente de permeabilidade de $3,55 \times 10^{-6}$ m/s, classificado como de alta permeabilidade (Areias). Esse valor demonstra boa capacidade de drenagem, compatível com materiais de textura mais grosseira. A profundidade de 33 cm

corresponde a uma zona superficial a intermediária, onde a porosidade contribui para a percolação vertical.

4.1.6 Ensaio de Permeabilidade Vertical – OH 06

O ponto OH-06 apresentou um coeficiente de permeabilidade de $2,51 \times 10^{-6}$ m/s, classificado como de alta permeabilidade (Areias). Esse valor sugere que o solo possui elevada capacidade de transmissão de água. A profundidade de 55 cm abrange uma camada mais profunda do perfil, na qual a textura arenosa garante maior mobilidade hídrica.

4.1.7 Ensaio de Permeabilidade Vertical – OH 07

O ponto OH-07 apresentou um coeficiente de permeabilidade de $1,58 \times 10^{-6}$ m/s, classificado como de alta permeabilidade (Areias). O valor obtido indica que o solo apresenta boas condições de infiltração, permitindo a passagem da água com relativa facilidade. A profundidade de 31 cm reflete características superficiais do solo que favorecem a drenagem.

4.1.8 Ensaio de Permeabilidade Vertical – OH 08

O ponto OH-08 apresentou um coeficiente de permeabilidade de $7,64 \times 10^{-7}$ m/s, classificado como de alta permeabilidade (Areias). Esse resultado mostra que o solo, mesmo com condutividade moderada, ainda favorece o escoamento vertical da água. O ensaio, realizado a 47 cm de profundidade, indica uma camada intermediária com estrutura relativamente permeável.

4.1.9 Ensaio de Permeabilidade Vertical – OH 09

O ponto OH-09 apresentou um coeficiente de permeabilidade de $7,74 \times 10^{-7}$ m/s, classificado como de alta permeabilidade (Areias). Esse valor reflete a presença de materiais que permitem infiltração adequada, típica de solos arenosos. A profundidade testada, de 30 cm, corresponde a uma faixa superficial em que a porosidade facilita o movimento da água.

4.1.10 Ensaio de Permeabilidade Vertical – OH 10

O ponto OH-10 apresentou um coeficiente de permeabilidade de $1,29 \times 10^{-6}$ m/s, classificado como de alta permeabilidade (Areias). Esse valor evidencia que o solo possui condutividade satisfatória, favorecendo a infiltração vertical. A profundidade de 35 cm corresponde a uma camada superficial a intermediária, onde a estrutura do solo contribui para a drenagem.

4.1.11 Ensaio de Permeabilidade Vertical – OH 11

O ponto OH-11 apresentou um coeficiente de permeabilidade de $5,19 \times 10^{-7}$ m/s, classificado como de alta permeabilidade (Areias). Esse resultado mostra que o solo apresenta condições adequadas de transmissão hídrica, permitindo infiltração eficiente. A profundidade de 40 cm corresponde a uma camada intermediária, em que a textura arenosa favorece o movimento vertical da água.

4.1.12 Ensaio de Permeabilidade Vertical – OH 12

O ponto OH-12 apresentou um coeficiente de permeabilidade de $7,89 \times 10^{-7}$ m/s, classificado como de alta permeabilidade (Areias). Esse valor é compatível com solos de maior condutividade, garantindo percolação relativamente rápida. O ensaio, realizado a 45 cm de profundidade, reflete condições intermediárias do perfil do solo com boa capacidade de drenagem.

4.2 ENSAIO DE PERMEABILIDADE RADIAL/HORIZONTAL (SLUG TEST)

O ensaio *Slug Test* é um método amplamente utilizado para a determinação da condutividade hidráulica de aquíferos, especialmente em poços de monitoramento de pequeno diâmetro. Esse tipo de ensaio é classificado como um teste de resposta hidráulica em regime transitório, sendo particularmente eficaz em investigações ambientais.

O princípio do ensaio baseia-se na observação da variação do nível d'água em um poço após a introdução ou retirada súbita de um volume conhecido de fluido (*slug*), o que gera um desnível temporário entre o nível no poço e o nível estático do aquífero (**Figura 2**). Esse desnível induz um fluxo de água que busca restabelecer o equilíbrio hidrostático. A taxa de recuperação do nível d'água está diretamente relacionada à condutividade hidráulica do meio poroso, sendo esta uma variável fundamental para caracterização do comportamento hidrogeológico dos materiais.

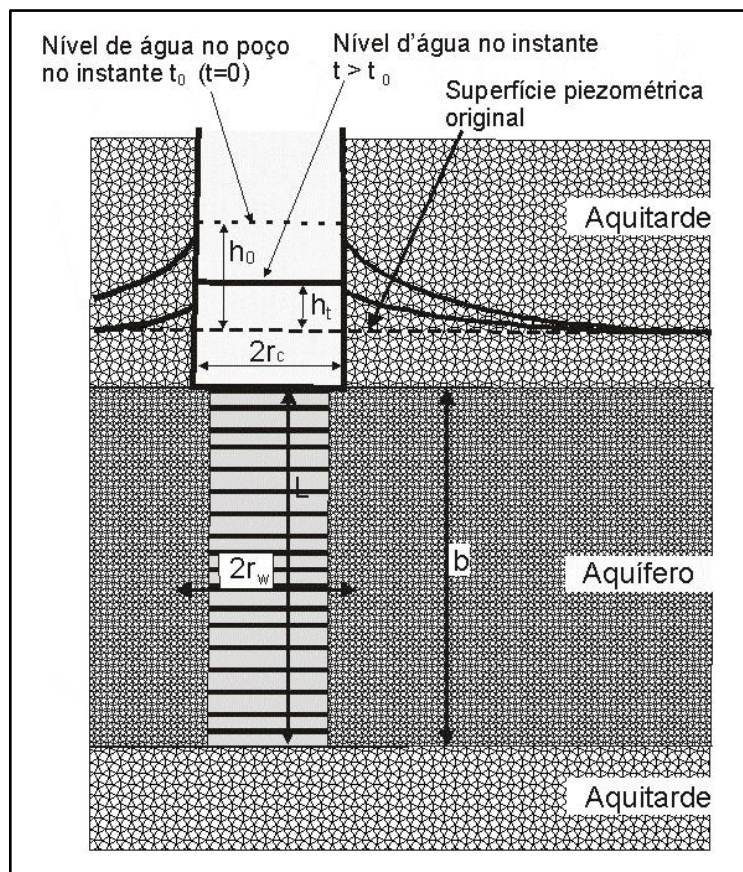


Figura 2: Perfil esquemático de um poço hipotético mostrando a evolução de um *slug test*.

Os ensaios foram realizados com os poços previamente desenvolvidos e estabilizados. As medições foram efetuadas com linímetro elétrico de alta precisão, em intervalos regulares, garantindo resolução suficiente para análise da variação do nível d'água. A profundidade efetiva de cada ensaio corresponde ao intervalo do tubo ranhurado instalado no poço, obtido a partir das medidas do topo e da base do trecho filtrante, representando a zona de fluxo predominante.

A execução dos ensaios seguiu os procedimentos recomendados na norma ABNT NBR 15530:2007 – Água subterrânea — Ensaio de resposta hidráulica (*slug test*) em poço de monitoramento — Método de ensaio, garantindo a confiabilidade dos dados.

Para a interpretação dos resultados, foi adotada a solução analítica de Hvorslev (1951) como referência teórica. Esta solução permite a estimativa da condutividade hidráulica com base na geometria do poço e na resposta temporal da recuperação, segundo a equação:

$$K = (r_w^2/2L) \cdot (1/T_L)$$

Onde:

- K é a condutividade hidráulica (m/s);

- r é o raio interno do poço (m);
- L é o comprimento do filtro do poço (m);
- T_L é o tempo necessário para que o nível d'água recupere 37% da perturbação inicial (s).

Esse modelo matemático é indicado para condições de fluxo radial e admite a hipótese de que o solo ao redor do poço é homogêneo e isotrópico. Contudo, nos ensaios em que não foi possível realizar o ajuste semi-logarítmico com precisão para determinar o tempo característico (T_L), a condutividade hidráulica foi estimada com base em análise qualitativa da curva de recuperação e do tempo total até a estabilização do nível d'água.

Além disso, foi adotada como ferramenta interpretativa complementar, a classificação de tempos de recuperação conforme critérios técnicos internacionalmente aceitos pela U.S. Environmental Protection Agency (EPA, 1986), que definem:

- **Recuperação rápida:** ≤ 5 minutos (300 segundos)
- **Recuperação moderada:** entre 5 e 15 minutos (300 a 900 segundos)
- **Recuperação lenta:** > 15 minutos (900 segundos)

Essa classificação permitiu comparar a resposta hidrodinâmica entre os diferentes poços, associando os tempos de recuperação observados aos tipos de materiais presentes nas zonas testadas. Sempre que possível, o tempo total de monitoramento foi suficiente para garantir a recuperação de pelo menos 85% do deslocamento inicial, conforme recomendado pela EPA.

Em resumo, os resultados dos ensaios foram analisados com base na recuperação do nível d'água ao longo do tempo, interpretando-se a condutividade hidráulica de forma qualitativa e coerente com os princípios do modelo de Hvorslev, garantindo representatividade hidrogeológica dos materiais analisados. Os ensaios foram realizados em 8 poços de monitoramento, respeitando a sequência numérica de execução para assegurar a correta associação dos resultados. Não foram realizados ensaios nos poços 08, 09 e 11 por estes se apresentarem secos, além disso, não foi realizado o ensaio no poço 07 por este ter sido destruído.

4.2.1 Ensaio de Permeabilidade Horizontal – ST 01

Coordenadas UTM: X = 386753 Y = 7803169

Profundidade Testada: Intervalo entre 9,8 m e 10,24 m

Permeabilidade Média (K): $\sim 1,5 \times 10^{-7}$ m/s

O ponto ST-01 apresentou um coeficiente de permeabilidade de aproximadamente $1,5 \times 10^{-7}$ m/s, classificado como de Alta permeabilidade (Areias). Esse resultado indica que a zona testada apresenta condutividade relativamente alta, compatível com materiais arenosos ou pouco compactados. O intervalo analisado reflete condições de maior transmissão da água subterrânea.

4.2.2 Ensaio de Permeabilidade Horizontal – ST 02

Coordenadas UTM: X = 381029 Y = 7803230

Profundidade Testada: Intervalo entre 7,10 m e 8,35 m

Permeabilidade Média (K): $\sim 1,3 \times 10^{-6}$ m/s

O ponto ST-02 apresentou um coeficiente de permeabilidade de $1,3 \times 10^{-6}$ m/s, classificado como de Alta permeabilidade (Areias). Esse valor sugere comportamento típico de solos arenosos, permitindo a circulação da água subterrânea com maior facilidade. O trecho testado, entre 7,10 m e 8,35 m, representa uma zona de fluxo mais eficiente do aquífero.

4.2.3 Ensaio de Permeabilidade Horizontal – ST 03

Coordenadas UTM: X = 386856 Y = 7803417

Profundidade Testada: Intervalo entre 6,24 m e 7,44 m

Permeabilidade Média (K): $\sim 5,5 \times 10^{-7}$ m/s

O ponto ST-03 apresentou um coeficiente de permeabilidade de $5,5 \times 10^{-7}$ m/s, classificado como de Alta permeabilidade (Areias). Esse resultado mostra que o aquífero possui condições favoráveis para o fluxo de água, embora ainda restritas em comparação a materiais mais grosseiros. A profundidade testada corresponde a uma zona de circulação significativa.

4.2.4 Ensaio de Permeabilidade Horizontal – ST 04

Coordenadas UTM: X = 387111 Y = 7803536

Profundidade Testada: Intervalo entre 5,05 m e 7,86 m

Permeabilidade Média (K): $\sim 5,6 \times 10^{-7}$ m/s

O ponto ST-04 apresentou um coeficiente de permeabilidade de $5,6 \times 10^{-7}$ m/s, classificado como de Alta permeabilidade (Areias). Esse valor indica que o aquífero local possui condutividade hidráulica compatível com solos de textura média, permitindo infiltração em ritmo moderado a elevado. O intervalo testado representa a principal zona de fluxo subterrâneo.

4.2.5 Ensaio de Permeabilidade Horizontal – ST 05

Coordenadas UTM: X = 387014 Y = 7804013

Profundidade Testada: Intervalo entre 5,05 m e 6,47 m

Permeabilidade Média (K): $\sim 7,0 \times 10^{-8}$ m/s

O ponto ST-05 apresentou um coeficiente de permeabilidade de $7,0 \times 10^{-8}$ m/s, classificado como de Baixa permeabilidade (Siltes e argilas). Esse valor sugere um meio restritivo ao escoamento da água, compatível com solos finos ou fortemente compactados. O trecho testado indica condições menos favoráveis à transmissão da água subterrânea.

4.2.6 Ensaio de Permeabilidade Horizontal – ST 06

Coordenadas UTM: X = 406.803 Y = 7.910.266

Profundidade Testada: Intervalo entre 3,00 m e 6,50 m

Permeabilidade Média (K): $\sim 1,5 \times 10^{-6}$ m/s

O ponto ST-06 apresentou um coeficiente de permeabilidade de $1,5 \times 10^{-6}$ m/s, classificado como de Alta permeabilidade (Areias). Esse valor demonstra condutividade significativa, permitindo infiltração mais rápida da água subterrânea. O intervalo testado, entre 3,00 m e 6,50 m, reflete uma zona do aquífero com fluxo relativamente eficiente.

4.2.7 Ensaio de Permeabilidade Horizontal – ST 07

O ensaio de *slug test* (ST-07) não pôde ser executado devido à destruição do poço de monitoramento destinado à sua realização. Em função dessa ocorrência, não houve a geração de resultados de condutividade hidráulica para este ponto específico. Ressalta-se, entretanto, que os demais ensaios realizados permaneceram válidos e foram devidamente considerados na interpretação hidrogeológica da área de estudo.

4.2.8 Ensaio de Permeabilidade Horizontal – ST 10

Coordenadas UTM: X = 406.895 Y = 7.910.282

Profundidade Testada: Intervalo entre 3,35 m e 5,75 m

Permeabilidade Média (K): $1,4 \times 10^{-6}$ m/s

O ponto ST-10 apresentou um coeficiente de permeabilidade de $1,4 \times 10^{-6}$ m/s, classificado como de Alta permeabilidade (Areias). Esse valor é típico de materiais arenosos ou pouco compactados, permitindo a circulação da água de maneira eficiente. O trecho testado, entre 3,35 m e 5,75 m, representa a zona de fluxo predominante no aquífero local.

4.2.9 Ensaio de Permeabilidade Horizontal – ST 12

Coordenadas UTM: X = 406.755 Y = 7.910.338

Profundidade Testada: Intervalo entre 2,25 m e 5,11 m

Permeabilidade Média (K): $3,2 \times 10^{-6}$ m/s

O ponto ST-12 apresentou um coeficiente de permeabilidade de $3,2 \times 10^{-6}$ m/s, classificado como de Alta permeabilidade (Areias). Esse resultado evidencia um aquífero de boa capacidade de transmissão hídrica, compatível com materiais arenosos de maior porosidade. O intervalo analisado, entre 2,25 m e 5,11 m, reflete uma camada de maior eficiência na circulação subterrânea.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A investigação hidrogeológica realizada na área de estudo foi conduzida por meio da aplicação integrada de ensaios de permeabilidade vertical, pelo método *Open End Hole*, e ensaios de permeabilidade horizontal, por meio de *Slug Test* em poços de monitoramento. Os procedimentos adotados seguiram normas técnicas da ABNT (NBR 13.292/1995 e NBR 15.530/2007), além de diretrizes complementares da ABGE (Norma 107/2024), assegurando a conformidade metodológica e a confiabilidade dos resultados obtidos.

De acordo com os valores obtidos, a maior parte dos pontos ensaiados apresentou coeficientes de permeabilidade classificados como alta (Areias), tanto nos testes verticais quanto nos horizontais, indicando solos de textura predominantemente arenosa, pouco compactados e com boa conectividade entre poros. Apenas o ponto ST-05 foi enquadrado na faixa de baixa permeabilidade (Siltes e argilas), sugerindo condições mais restritivas ao fluxo subterrâneo em porções localizadas do aquífero.

Essa distribuição dos resultados evidencia que, em geral, os solos da área possuem elevada capacidade de infiltração e de circulação da água subterrânea, o que favorece a drenagem natural, mas também pode aumentar a vulnerabilidade à propagação de contaminantes em caso de aporte superficial. A heterogeneidade observada entre os pontos reflete as variações naturais dos depósitos superficiais, influenciadas pela granulometria e pela estrutura do solo.

De forma integrada, os ensaios realizados permitem concluir que a área investigada apresenta comportamento hidrogeológico típico de materiais arenosos, com alta transmissividade hídrica, mas que em situações pontuais pode apresentar restrição de fluxo associada a frações mais finas. Esses resultados constituem base técnica importante para o planejamento de medidas de gestão ambiental, drenagem e monitoramento da qualidade da água subterrânea.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 13292:1995. **Execução de ensaio de permeabilidade a carga variável em furos de sondagem.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1995.

ABNT. NBR 13292:2021. **Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2021.

ABNT. NBR 15530:2007. **Exploração e amostragem de sondagens rotativas com recuperação de testemunhos em rocha – Procedimento.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2007.

ABNT. NBR 15495-2:2008. **Investigação de passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 2: Planejamento da investigação.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008.

ABGE – **Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. Norma 107/2024. Execução de ensaio de infiltração em solos: Método do furo de sondagem.** São Paulo: ABGE, 2024.

BRASIL. Lei Estadual nº 10.179, de 18 de março de 2014. **Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos no Estado do Espírito Santo.** Diário Oficial do Estado do Espírito Santo, Vitória, 19 mar. 2014.

BRASIL. Lei Estadual nº 6.295, de 26 de junho de 2000. **Dispõe sobre a criação do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo.** Diário Oficial do Estado do Espírito Santo, Vitória, 27 jun. 2000.

GOOGLE. **Google Earth website.** <http://earth.google.com/2024>

7 EQUIPE TÉCNICA

SUDESTE AMBIENTAL CONSULTORIA LTDA	
CREA: 931193	CTF: 8045250
Profissional	Pedro Henrique Nascimento Brandão Diretor Geral e Responsável Técnico Geólogo, Especialista em Recursos Hídricos e Mestre em Oceanografia Ambiental
Responsabilidade	Relacionamento Institucional e Supervisão
Profissional	João Pedro Aguiaras Donatelli Diretor de Projetos Ambientais Geólogo
Responsabilidade	Gestão do projeto, responsabilidade técnica e confecção do relatório
Profissional	Iago Mateus Lopes de Macêdo Geólogo, Especialista em Geologia do Quaternário, Mestre em Análise de Bacias e Faixas Móveis, Doutor em Geociências
Responsabilidade	Elaboração e confecção do relatório técnico
Profissional	Alexandre Santana da Silva Geólogo/Analista Ambiental
Responsabilidade	Execução de serviços em campo
Profissional	Lucas Coelho Gonçalves Auxiliar de Campo
Responsabilidade	Apoio no campo
Profissional	Giselly Maria de Fátima Herculano dos Santos Auxiliar técnica
Responsabilidade	Apoio técnico, elaboração do relatório e mapas.

A(s) Anotação(ões) de Responsabilidade Técnica (ART) é(são) apresentada(s) no **Anexo I**.

8 ANEXOS

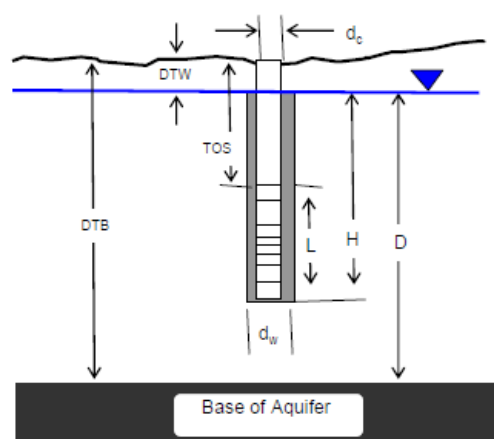
Anexo I

**Anotações de Responsabilidade Técnica
(ART)**

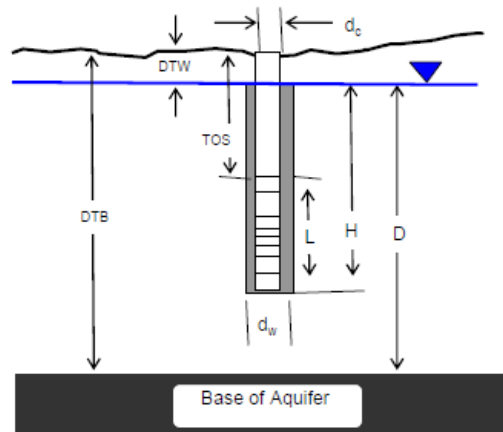
Anexo II

Ensaio Open End Hole e Slug Test

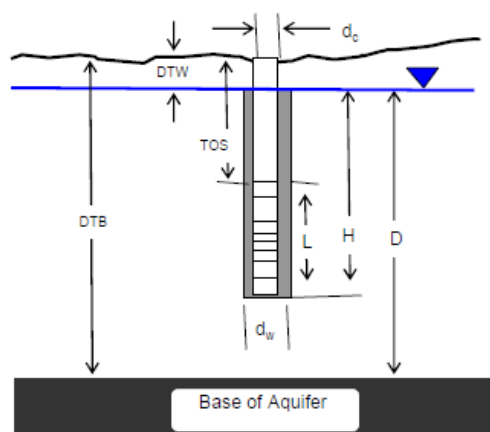
SPT - 01			
Teste:	Slug Test		
x	386.753.312	Compr. Ranhurado(L)	
y	7.803.169.169	Composicao Aquifero	
z	18.38m	Comp. Pre-Filtro	
Diâm do Furo	100mm	Base do Ranhurado	
Diâm Int. Tubo	45mm	Topo do Ranhurado	
Diâm Ext. Tubo	50mm		
NA inicial	10.4m		
Volume lançado	7.000mL		
Data	$\Delta T(s)$	$\Delta h(cm)$	
01/09/2025	x		
	180	9.80	
	600	9.95	
	900	10.02	
	1200	10.08	
	1500	10.10	
	1800	10.12	
	2100	10.15	
	2400	10.18	
	2700	10.20	
	3000	10.22	
	3300	10.24	
	3600		
	3900		
	4200		
	4500		
	4800		
	5100		
	5400		
	5700		
	6000		
	6300		



SPT-02			
Teste:	Slug Test		
x	381.029.901	Compr. Ranhurado(L)	
y	7.803.230.771	Composicao Aquifero	
z	22.26m	Comp. Pre-Filtro	
Diâm do Furo	100mm	Base do Ranhurado	
Diâm Int. Tubo	45mm	Topo do Ranhurado	
Diâm Ext. Tubo	50mm		
NA inicial	8.35m		
Volume lançado	7.000mL		
Data	$\Delta T(s)$	$\Delta h(m)$	
01/09/2025	x	7.10	
	180	7.30	
	600	7.88	
	900	8.14	
	1200	8.23	
	1500	8.33	
	1800	8.35	
	2100		
	2400		
	2700		
	3000		
	3300		
	3600		
	3900		
	4200		
	4500		
	4800		
	5100		
	5400		
	5700		
	6000		
	6300		

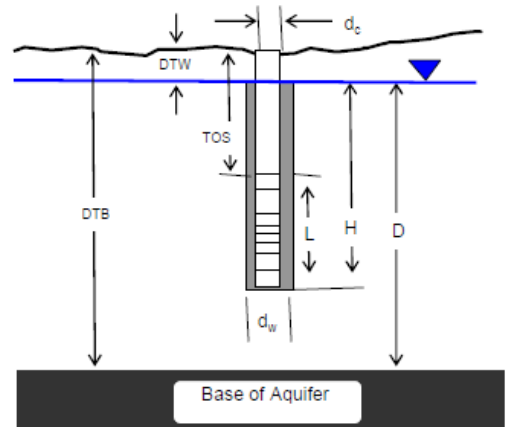


SPT-03			
Teste:	Slug Test		
x	386.856.226	Compr. Ranhurado(L)	
y	7.803.417.018	Composicao Aquifero	
z	24.5m	Comp. Pre-Filtro	
Diâm do Furo	100mm	Base do Ranhurado	
Diâm Int. Tubo	45mm	Topo do Ranhurado	
Diâm Ext. Tubo	50mm		
NA inicial	8.64m		
Volume Lancado	7.000mL		
Data	$\Delta T(s)$	$\Delta h(cm)$	
02/09/2025	x	6.24	
	180	6.42	
	600	6.68	
	900	6.91	
	1200	7.07	
	1500	7.12	
	1800	7.19	
	2100	7.24	
	2400	7.23	
	2700	7.33	
	3000	7.37	
	3300	7.41	
	3600	7.44	
	3900		
	4200		
	4500		
	4800		
	5100		
	5400		
	5700		
	6000		
	6300		

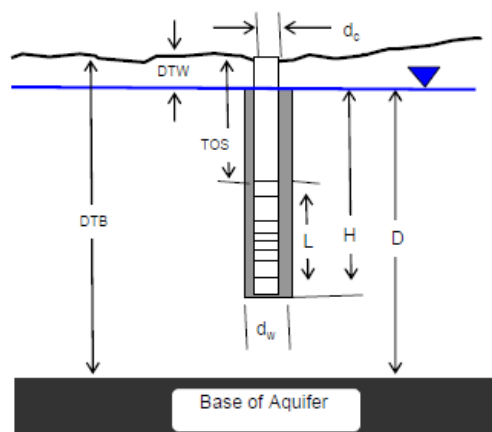


SPT-04

SPT-04		
Teste:	Slug Test	
x	387.111.920	Compr. Ranhurado(L)
y	7.803.536.669	Composicao Aquifero
z	18.1m	Comp. Pre-Filtro
Diâm do Furo	100mm	Base do Ranhurado
Diâm Int. Tubo	45mm	Topo do Ranhurado
Diâm Ext. Tubo	50mm	
NA inicial	8.96m	
Volume lançado	7.000mL	
Data	$\Delta T(s)$	$\Delta h(m)$
02/09/2025	x	5.05
	180	6.30
	600	6.70
	900	6.85
	1200	6.94
	1500	7.06
	1800	7.14
	2100	7.25
	2400	7.34
	2700	7.41
	3000	7.46
	3300	
	3600	7.64
	3900	
	4200	7.76
	4500	
	4800	7.86
	5100	
	5400	
	5700	
	6000	
	6300	

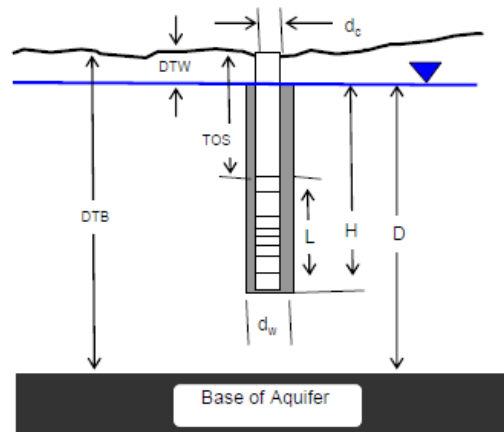


SPT-05			
Teste:	Slug Test		
x	387.014.257	Compr. Ranhurado(L)	
y	7.804.013.274	Composicao Aquifero	
z	12.46m	Comp. Pre-Filtro	
Diâm do Furo	100mm	Base do Ranhurado	
Diâm Int. Tubo	45mm	Topo do Ranhurado	
Diâm Ext. Tubo	50mm		
NA inicial	6.83m		
Volume lançado	7.000mL		
Data	$\Delta T(s)$	$\Delta h(cm)$	
03/09/2025	x	5.05	
	180	5.22	
	600	5.41	
	900	5.50	
	1200	5.58	
	1500		
	1800	5.75	
	2100		
	2400	5.90	
	2700		
	3000	6.00	
	3300		
	3600	6.11	
	3900		
	4200	6.20	
	4500		
	4800	6.34	
	5100		
	5400	6.37	
	5700		
	6000	6.43	
	6300	6.47	

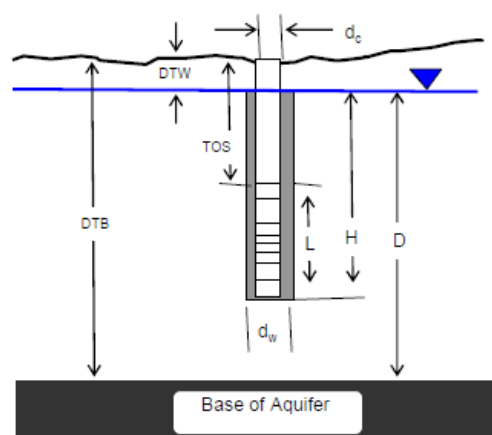


SPT-06

SPT-06		
Teste:	Slug Test	
x	386.777.757	Compr. Ranhurado(L)
y	7.803.867.796	Composicao Aquifero
z	19.27m	Comp. Pre-Filtro
Diâm do Furo	100mm	Base do Ranhurado
Diâm Int. Tubo	45mm	Topo do Ranhurado
Diâm Ext. Tubo	50mm	
NA inicial	8.5m	
Volume lançado	7.000mL	
Data	$\Delta T(s)$	$\Delta h(cm)$
03/09/2025	x	3.00
	180	3.34
	600	5.40
	900	
	1200	5.89
	1500	5.95
	1800	6.05
	2100	6.10
	2400	6.15
	2700	
	3000	6.34
	3300	
	3600	6.41
	3900	
	4200	6.50
	4500	
	4800	
	5100	
	5400	
	5700	
	6000	
	6300	



SPT-10			
Teste:	Slug Test		
x	385.479.388	Compr. Ranhurado(L)	
y	7.806.069.063	Composicao Aquifero	
z	21.67m	Comp. Pre-Filtro	
Diâm do Furo	100mm	Base do Ranhurado	
Diâm Int. Tubo	45mm	Topo do Ranhurado	
Diâm Ext. Tubo	50mm		
NA inicial	5.75m		
Volume lançado	7.000mL		
Data	$\Delta T(s)$	$\Delta h(cm)$	
04/09/2025	x	3.35	
	180	3.75	
	600	5.74	
	900	5.75	
	1200	5.75	
	1500		
	1800		
	2100		
	2400		
	2700		
	3000		
	3300		
	3600		
	3900		
	4200		
	4500		
	4800		
	5100		
	5400		
	5700		
	6000		
	6300		



SPT-12

SPT-12		
Teste:	Slug Test	
x	387.452.185	Compr. Ranhurado(L)
y	7.806.790.812	Composicao Aquifero
z	15.16m	Comp. Pre-Filtro
Diâm do Furo	100mm	Base do Ranhurado
Diâm Int. Tubo	45mm	Topo do Ranhurado
Diâm Ext. Tubo	50mm	
NA inicial	5.12m	
Volume lançado	7.000mL	
Data	$\Delta T(s)$	$\Delta h(cm)$
04/09/2025	x	2.25
	180	3.20
	600	3.90
	900	4.26
	1200	4.50
	1500	4.68
	1800	4.88
	2100	4.91
	2400	4.96
	2700	5.00
	3000	5.04
	3300	5.07
	3600	5.09
	3900	5.11
	4200	
	4500	
	4800	
	5100	
	5400	
	5700	
	6000	
	6300	

