

ENSAIOS DE PERMEABILIDADE À CARGA CONSTANTE EM GRANDES PROFUNDIDADES, EM PILHA DE ESTÉRIL, COM USO DE OBTURADOR SIMPLES

Fernanda TOLENTINO¹; Malva MANCUSO²; Ezequias OLIVEIRA¹; Marieli BIONDO¹; Beto NOGUEIRA³; Maria Cecília ARAÚJO³

Resumo – Com o aumento da utilização do ferramental *Wireline* e dos diâmetros associados (DCDMA - *Diamond Core Drilling Manufacturers Association*), bem como a maior profundidade requerida para análises geotécnicas, a técnica convencional para a realização de ensaios de permeabilidade em pilha de estéril tem apresentado dificuldades significativas, como a ineficácia na cravação e a baixa produtividade, além de questões de segurança. A alternativa apresentada neste trabalho é a utilização de obturador acoplado ao sistema *Wireline* para selar a porção superior do trecho de ensaio e possibilitar a realização de ensaios de permeabilidade na sequência da perfuração, por trechos, a maiores profundidades. Para a realização e execução do ensaio foi utilizada a metodologia proposta por Mancuso & Azevedo (2024) que considera as normas internacionais EN ISO 10097 (2023), EN ISO 22282-1 (2012a) e EN ISO 22282-6 (2012b). Os resultados indicam permeabilidades da ordem de 10^{-5} cm/s a 10^{-7} cm/s, atingindo profundidades de ensaio de até 188 metros. Os valores do coeficiente de permeabilidade com a utilização de obturador se mostraram dentro da faixa esperada para os materiais analisados.

Abstract – With the increased use of *Wireline* tools and associated diameters (DCDMA - *Diamond Core Drilling Manufacturers Association*), as well as the greater depth required for geotechnical analyses, the conventional technique for conducting permeability tests in waste piles has shown significant difficulties, such as inefficacy in driving and low productivity, in addition to safety issues. The alternative presented in this work is the use of a packer coupled to the *Wireline* system to seal the upper portion of the test section and enable permeability tests to be conducted sequentially during drilling, by sections, at greater depths. For the execution of the test, the methodology proposed by Mancuso & Azevedo (2024) was used, which considers the international standards EN ISO 10097 (2023), EN ISO 22282-1 (2012a), and EN ISO 22282-6 (2012b). The results indicate permeabilities in the order of 10^{-5} cm/s to 10^{-7} cm/s, reaching test depths of up to 188 meters. The permeability coefficient values with the use of the packer were within the expected range for the analyzed materials.

Palavras-Chave – Permeabilidade, Infiltração, *Wireline*, Obturador Simples.

¹ Diretoria de Geociências e Sondagem, VALE, Belo Horizonte, Brasil

² Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

³ REDE Engenharia e Sondagens SA, Belo Horizonte, Brasil

1. INTRODUÇÃO

A permeabilidade do solo é um parâmetro crucial em diversas aplicações geotécnicas, influenciando desde a estabilidade de estruturas até a gestão de recursos hídricos. Tradicionalmente, os ensaios de permeabilidade, especialmente os de infiltração em intervalos lineares, têm sido realizados com a cravação de revestimento em trechos perfurados, seguindo as diretrizes estabelecidas pela norma ABGE nº107 (ABGE, 2024). No entanto, com a crescente adoção de metodologias de perfuração mais tecnológicas, como o ferramental *wireline* e os diâmetros associados, é possível promover soluções que agregam eficácia e segurança à operação.

Este artigo propõe uma alternativa inovadora: a utilização de um obturador no sistema *wireline*, que visa selar a porção superior do trecho de ensaio, permitindo uma execução mais eficiente e segura dos testes de permeabilidade. A metodologia foi proposta por Mancuso & Azevedo (2024) e considera as diretrizes de normas internacionais, como a ISO 22282 (EN ISSO, 2012a e 2012b). Neste estudo, apresentaremos os resultados obtidos a partir da aplicação dessas diretrizes para a realização de ensaios de permeabilidade em pilha de estéril de mineração, utilizando o método *wireline* e obturadores para o isolamento do trecho de ensaio. A partir dos resultados pretende-se contribuir para a prática de ensaios de permeabilidade que promovam, com eficiência e segurança, estudos geotécnicos em pilha de estéril de mineração.

2. OBJETIVO

O presente estudo tem como objetivo principal apresentar os resultados de ensaios de permeabilidade realizados em pilha de estéril de mineração, pelo método com o uso de obturadores a profundidades de até 188 m, a partir da aplicação da metodologia proposta por Mancuso & Azevedo (2024) e pelo método de cravação do revestimento *wireline*.

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1. Localização

A área de estudo corresponde a uma Pilha de Estéril localizada no Complexo Minerador de Itabira, na cidade de Itabira, em Minas Gerais. As coordenadas médias da área são UTM: UTM 685.348 m E e 7.831.789 m N – Datum SIRGAS2000. O acesso ao local normalmente é feito pela cidade de Itabira, pela BR 381, BR 434 e depois pela MG 125. A Figura 1 mostra o mapa de localização da área, com as investigações realizadas. A sondagem SM-02 foi locada indevidamente em campo e substituída pela SM-02A.

Atualmente, a Pilha está em operação, mas a estrutura não possui um projeto de “Como Construído”. Existem incertezas quanto à estratigrafia da pilha, incluindo e ressaltando o contato entre o maciço e o terreno de fundação na parte inferior da pilha. Especificamente, não se conhece a existência e a conformação da camada de formação ferrífera, o contato da cava com a pilha, os parâmetros de resistência do material da pilha e da fundação, a condição atual do nível de água na parte superior da pilha e a presença de artesianismo na fundação da Pilha.

3.2. Caracterização geológica

A área analisada está no Quadrilátero Ferrífero (QFe), na borda sul do Cráton São Francisco. Essa região é composta por rochas supracrustais arqueanas e paleoproterozoicas alóctones, sobre embasamento cristalino, afetadas por polideformações e metamorfismo de baixo a médio grau, organizadas em nappes transamazônicas (Endo et al., 2019). O QFe é delimitado por um polígono com vértices em Itabira, Mariana, Congonhas e Itaúna. As minas do Complexo Minerador de Itabira situam-se ao nordeste do QFe.

A Pilha estudada, um aterro de encosta, destina-se ao depósito de estéril de duas minas próximas. Sua base localiza-se nos taludes a oeste da cava da Mina 1, com estratigrafia ascendente composta por: xistos cloríticos do Grupo Nova Lima, pouco alterados; xistos intercalados com metacercas e

quartzitos ferruginosos, bastante alterados e falhados; e, no topo, itabiritos e hematitas da Formação Cauê, com consistência entre friável e dura.



Figura 1 - Localização dos pontos de sondagem com ensaios avaliados.

Diversas intrusões de rochas metabásicas, tanto concordantes quanto discordantes à foliação, cortam especialmente a formação ferrífera. Essas intrusões indicam magmatismo básico posterior ao período do Nova Lima, com características semelhantes aos xistos do grupo, ricos em clorita.

A principal estrutura é a xistosidade do Grupo Nova Lima e da formação ferrífera, que segmenta o maciço em planos subparalelos. Juntas subverticais também se destacam, com direções preferenciais NE-SW e N-S (Grupo Nova Lima), e NE-SW e NW-SE (Formação Ferrífera), sendo essenciais para compreender a estrutura do maciço de fundação.

No talude da Pilha, observam-se fraturas subverticais tanto no plano da foliação quanto transversais. As fraturas na foliação são mais relevantes, facilitando o escorregamento de lascas pelo desconfinamento da rocha. As transversais, menores, parecem resultar do rompimento dessas lascas. Veios de quartzo de até 2 mm são comuns nos planos de descontinuidade e entre planos de foliação. A foliação apresenta direção média de 126/40, enquanto as fraturas ocorrem em 039/45 e 198/83.

3.3. Caracterização geotécnica

As sondagens indicam que a Pilha é formada principalmente por material siltoso, com variações entre silte e areia conforme a profundidade. O estéril contém xistos, itabiritos, filitos e fragmentos de quartzo de granitoides, em diferentes estágios de alteração e resistência, além de passagens pedregulhas e camadas de solo laterítico.

A rocha de fundação varia com a profundidade. Nas sondagens SM-02A, SM-03 e SM-04 (parte superior), predominam xistos de granulometria fina a média, com comportamento geomecânico entre A2-A4/C2-C4/F1-F5 (Guidicini et al., 1972a; IPT, 1984), contendo sulfetos e cloritas.

Na parte inferior (SM-01 e SM-05), a fundação é composta por camadas intercaladas de xistos e itabiritos. Os itabiritos (como na SM-05) são friáveis, classificados como A2-C4/C5, e intercalam-se com xistos finos (A5/C5). O perfil termina com xisto de melhor qualidade geomecânica (A2-A3/C2-C3/F1).

4. METODOLOGIAS DE ENSAIOS DE PERMEABILIDADE EM SOLO

Atualmente, as metodologias consagradas para a execução de ensaios de permeabilidade no Brasil são estabelecidas pela Norma ABGE 107 (ABGE, 2024). Mancuso & Azevedo (2024) propõem como alternativa, o uso de obturadores para vedar o trecho onde o ensaio é realizado, aplicando o método de perfuração *wireline* e adaptando metodologias internacionais como a EN ISO 22282 (2012a e 2012b). Neste item são apresentadas as principais características para cada método.

4.1. Ensaios de infiltração com utilização de revestimento

O trecho de ensaio (L) foi definido como a diferença entre as cotas do fundo da perfuração e o final do revestimento (ou ferramental). Utilizaram-se ferramentas do tipo *wireline* (HQ, Ø externo 96 mm) e convencional (BWL, Ø externo 61 mm).

A perfuração em HQ foi feita até a cota superior do ensaio, onde a coroa é cravada para vedação com a parede do furo. A metodologia de Schnaid et al. (2025) guiou o uso de fluidos, aplicando Goma Xantana e CMC nas seções sem ensaio de permeabilidade. Antes da zona de ensaio, realiza-se limpeza para remoção de polímeros, seguida da perfuração em BWL com uso exclusivo de água. Os layouts e ferramentais estão ilustrados na Figura 2.

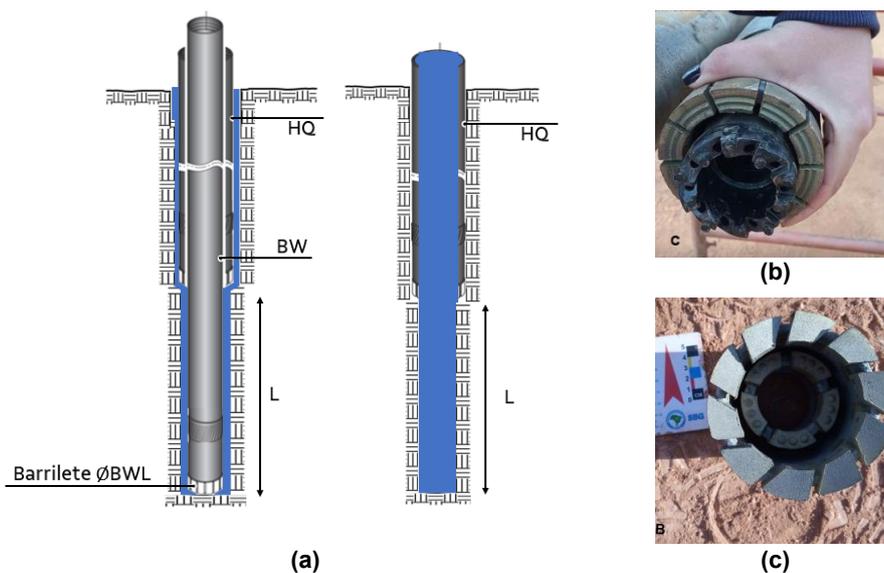


Figura 2 – Metodologia de perfuração do trecho de ensaio (a), Conjunto Coroa Diamantada HQ2 e Coroa de Widea BWL (b) e Conjunto Coroa Diamantada HQ2 e Coroa Diamantada BWL (c). Fonte: Figuras (b) e (c) (Mancuso & Azevedo, 2024)

4.2. Ensaios de infiltração com uso de obturadores (Mancuso & Azevedo, 2024)

O método utiliza obturadores infláveis (packers) para isolar o trecho de ensaio, evitando passagem de água pelo espaço anular. Podem ser inflados com ar, nitrogênio ou água.

Neste estudo, empregaram-se obturadores hidráulicos de 1 metro, adequados ao material friável da pilha de estéril. Dois foram usados: um dentro do ferramental, acoplado a um anel na coroa para impedir percolação entre coroa e obturador; o segundo foi instalado diretamente no maciço (Figura 3).

O trecho L corresponde à distância entre a base do obturador no maciço e o fundo da perfuração HQ. Abaixo do nível freático, a pressão no obturador foi ajustada à carga hidráulica estática, prevenindo fraturas no maciço. Após o ensaio, os obturadores foram removidos.

Mancuso & Azevedo (2024, apud USBR, 1989) destaca que a pressão aplicada no obturador deve estar entre 210 e 2100 kPa (entre 2,14 e 21,41 kgf/cm²) maior que a pressão do intervalo de ensaio, sendo normal valores da ordem de 690 kPa (7,04 kgf/cm²). Deve-se considerar os limites dos obturadores conforme especificação do fabricante (normalmente 35 à 40 kgf/cm²), para ensaios de infiltração, esses valores atendem às pressões aplicadas no trecho, mesmo em grandes profundidades (acima de 100 metros).

5. METODOLOGIAS DE ENSAIOS APLICADAS NA CAMPANHA DE ESTUDO

Foram executados ensaios a nível constante do tipo infiltração, acima e abaixo do nível freático, medindo-se a vazão. Em todos os ensaios, foram adotados 10 min de saturação, conforme diretriz da Norma ABGE (ABGE, 2024), com registro do volume por tempo (litros/min). A ISO 22282 (2012b) recomenda um acréscimo de tempo em solos com permeabilidade acima de 10⁻⁶ m/s.

Foi utilizada fonte de água límpida e proveta graduada calibrada. Para a limpeza do trecho acima do NA, foi utilizado um escarificador e para o trecho abaixo do NA foi aplicada a circulação de água. No presente estudo não foram utilizadas bombas e/ou hidrômetros devido à condição de baixa percolação do maciço. Em relação ao obturador, foram realizadas aferições em campo, inserindo e inflando o dispositivo em um revestimento, e confirmada a estanqueidade antes dos ensaios.

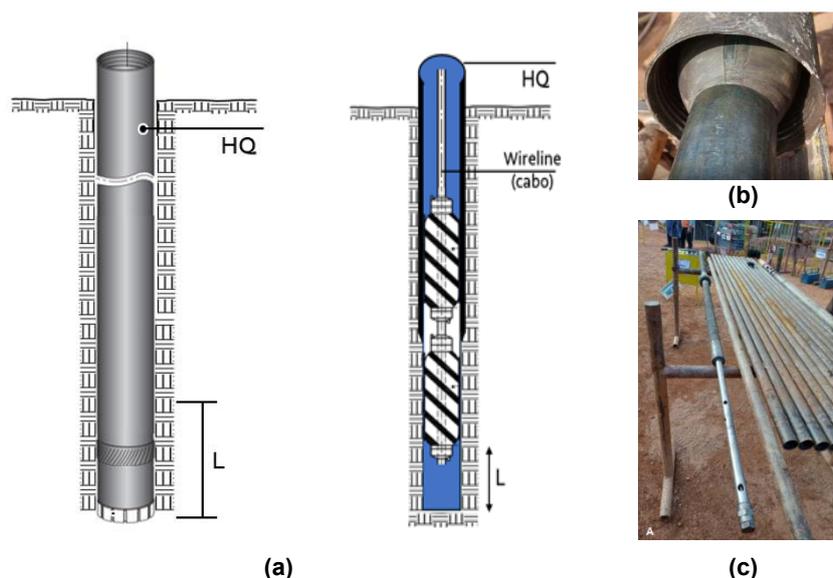


Figura 3 – Metodologia de perfuração e obturação do trecho de ensaio (a), Obturador expandido em área externa (b) e conjunto de obturadores (c). Fonte: Figuras (b) e (c) (Mancuso & Azevedo, 2024)

Após a obturação do trecho, foi realizada a inserção de água até a boca do revestimento (superfície do terreno) e aguardados 10 min. após a estabilização do nível, sendo a inserção registrada por tempo (litros/min). A permeabilidade foi calculada a partir da vazão (Q) registrada durante o ensaio em comprimento do trecho ensaiado (L – intervalos de 1 metro) de raio (r) da sondagem (diâmetro externo da coroa), considerando uma carga hidráulica efetiva aplicada no trecho do ensaio (H, em zona saturada; h, em zona não saturada), conforme indicado por Mancuso & Azevedo (2024).

Em relação às premissas, foi considerado que o procedimento descrito é adequado para maciços de solo e/ou de rocha com permeabilidade entre 5x10⁻⁶ e 1x10⁻¹ cm/s.

5.1. Base de Cálculo Aplicada

A metodologia de cálculo da condutividade foi baseada nas formulações de Zangar (1953), conforme referenciado na norma ABGE 107. Utilizando o obturador, foram aplicadas as equações propostas por Mancuso & Azevedo (2024), que também se fundamentam nos estudos de Zangar (1953). As equações utilizadas são apresentadas na Figura 4.

ZONAS SATURADAS		
<p>Onde:</p> <p>Obs: Desenho esquemático (não proporcional) Para: $S \geq 5L$ $L \geq 20r$ $t \geq 10r$</p>	<p>Com revestimento (HQ/BWL)</p> $K = \frac{Q}{Hr} \frac{1}{Cs}$ <p>Sendo:</p> $Cs = 2\pi \frac{L}{r} \frac{1}{\ln \frac{L}{r}}$	<p>Com Obturador</p> $K = \frac{Q}{Hr} \frac{1}{(Cs + 4)}$ <p>Sendo:</p> $Cs = 2\pi \frac{L}{r} \frac{1}{\ln \frac{L}{r}}$
	<p>Onde:</p> <p>L = comprimento do intervalo de ensaio (cm) r = raio da sondagem, em cm H = diferença da carga hidráulica no intervalo de ensaio, em cm r = raio da sondagem, em cm K = permeabilidade, em cm/s Q = vazão constante, em cm³/s Cs = coeficiente de forma para meios saturados</p>	

ZONA NÃO SATURADA		
<p>$K = \frac{Q}{rhC}$</p> <p>$K = \frac{2Q}{(T_u + h - L)r} \frac{1}{(Cs + 4)}$</p>	<p>Com revestimento (HQ/BWL)</p> $K = \frac{Q}{rhC_u}$ <p>Sendo:</p> $C_u = \frac{2\pi h}{r} \frac{1}{\left[\operatorname{senh}^{-1} \left(\frac{h}{r} \right) - 1 \right]}$	<p>Com Obturador</p> <p>ZONA I Aplicabilidade: $T-D \geq 2h$ e $h/r \geq 10$</p> $K = \frac{Q}{2\pi(2Lh - L^2)} \left[\operatorname{senh}^{-1} \left(\frac{L}{r} \right) - \left(\frac{L}{h} \right) \right]$ <p>ZONA II Aplicabilidade: $T-D < 2h$</p> $K = \frac{2Q}{(T_u + h - L)r} \frac{1}{(Cs + 4)}$
	<p>Onde:</p> <p>L = comprimento do intervalo de ensaio (cm) r = raio da sondagem, em cm h = altura da água no interior da sondagem, em cm r = raio da sondagem, em cm K = permeabilidade, em cm/s Q = vazão constante, em cm³/s Cs = coeficiente de forma para meios saturados Cu = coeficiente de forma para meios não saturados D = distância da superfície do terreno ao fundo do trecho ensaiado T = espessura não saturada, da superfície do terreno ao nível freático (incluindo a zona de capilaridade). Tu = T-D = distância entre o nível de água durante o ensaio e o nível estático natural das águas subterrâneas.</p>	

Figura 4 – Cálculos de condutividade (Palmas, 2024)

6. RESULTADOS

6.1. Trechos e Materiais Ensaeados

Foram realizados ensaios utilizando-se revestimento e obturador em todas as sondagens, exceto a SM-04, que contou apenas com ensaios utilizando revestimento (HQ/BWL). A Tabela 1 indica a quantidade de ensaios realizados utilizando cada uma das metodologias, bem como o material investigado.

Tabela 1 – Resumo com tipos de materiais investigados, profundidades e metodologias utilizadas para execução de Ensaio de Infiltração

Sondagem	Material	Trecho de Ensaio		Tipo de ensaio	Quantidade de ensaios
		Início	Final		
SM-01	Pilha de estéril	0,00	96,00	Revestimento	16
	Pilha de estéril	96,00	120,00	Obturador	4
SM-02A	Pilha de estéril	0,00	90,00	Revestimento	18
	Pilha de estéril	90,00	107,10	Obturador	3
SM-03	Pilha de estéril	0,00	143,00	Revestimento	29
	Pilha de estéril	143,00	188,40	Obturador	9
SM-04	Pilha de estéril	0,00	95,00	Revestimento	18
SM-05	Pilha de estéril	0,00	59,00	Revestimento	11
	Solo Residual	59,00	61,00	Revestimento	1
	Solo Residual	59,00	116,00	Obturador	9

6.2. Análise dos Resultados

A Tabela 2 apresenta resumidamente os resultados obtidos nos ensaios de infiltração, em termos de permeabilidade média por tipo de material investigado. Os resultados são apresentados de forma gráfica na Figura 4.

Tabela 2 – Permeabilidades obtidas nos ensaios de infiltração (permeabilidade média por tipo de material investigado) de acordo com o método de ensaio utilizado

Material	Permeabilidade Média (Metodologia Revestimento)	Permeabilidade Média (Metodologia Obturador - ISO)
Pilha de Estéril	$4,02 \times 10^{-6}$ cm/s	$7,07 \times 10^{-6}$ cm/s
Solo Residual	$2,69 \times 10^{-6}$ cm/s	$1,51 \times 10^{-6}$ cm/s

O resultado acima demonstra que não há uma tendência de os materiais na região apresentarem coeficientes de permeabilidade semelhantes, mesmo com variações de materiais e metodologias de ensaio. Ainda a partir dos resultados dos ensaios de infiltração realizados ao longo de todas as sondagens executadas na Pilha em estudo, foi possível observar a baixa variabilidade dos valores de permeabilidade nos materiais investigados.

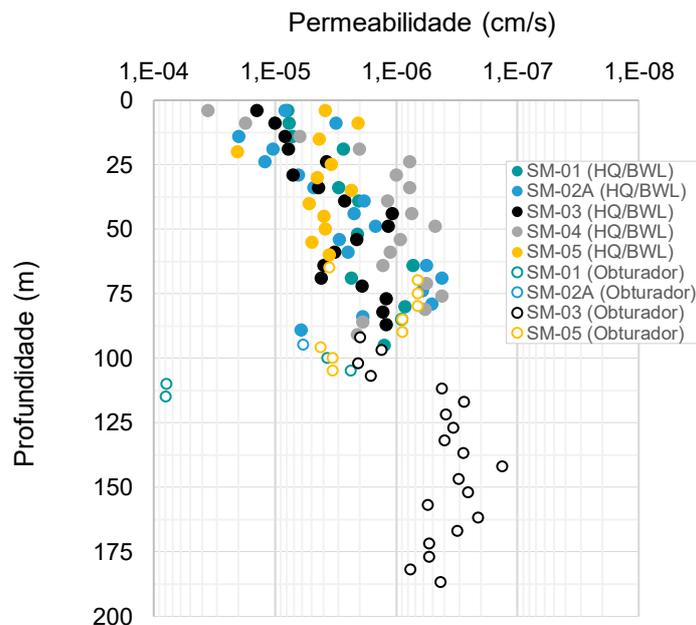


Figura 5 – Resultados de condutividade hidráulica de todos os furos da campanha

Em relação aos resultados por furo, os dados são apresentados nos gráficos da Figura 5.

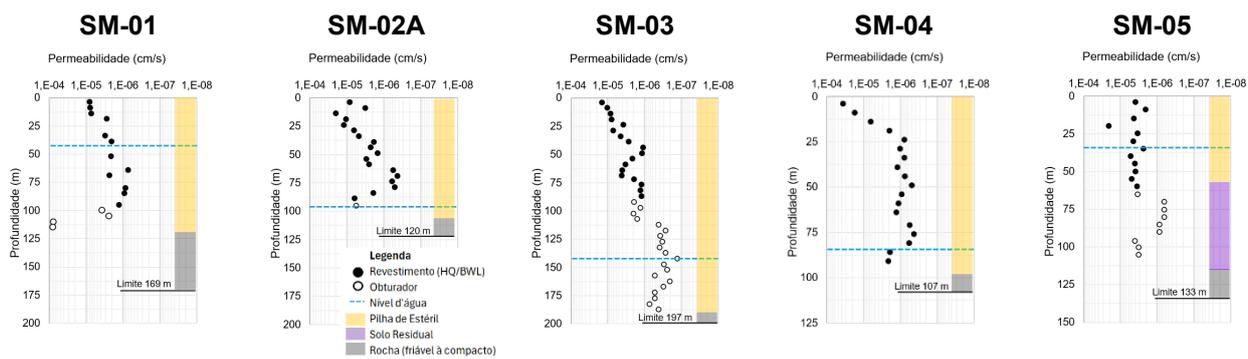


Figura 6 – Resultados de condutividade hidráulica por furo

Na sondagem SM-04, a metodologia de ensaio foi com cravação de revestimento. Ao longo do perfil do solo a permeabilidade média se manteve constante, em aproximadamente 10^{-6} cm/s.

Por outro lado, a sondagem SM-03 apresentou modificações na metodologia de ensaio durante a investigação. A partir de 95 m, o ensaio passou a ser realizado com o uso do obturador. Apesar dessa mudança, observou-se que não houve variação significativa na permeabilidade, que permaneceu na ordem de 10^{-6} cm/s. Entretanto, a partir de 107 m, foi observada variabilidade na permeabilidade dos materiais apresentados, que passou de 10^{-6} para 10^{-7} cm/s. Estes valores podem eventualmente, estar associados a um maior grau de compactação dos materiais da pilha e estéril em profundidade, sujeitos à compactação durante a construção do próprio aterro, assim como ao sobrepeso provocado pelo material de aterro que constitui o depósito.

Na porção inferior da Pilha, a variação de permeabilidade ao longo do perfil permanece baixa. No caso da sondagem SM-01, as permeabilidades estão, em sua maioria, na ordem de 10^{-6} , sendo compatíveis com os materiais investigados. Na profundidade de 100 m, observou-se uma mudança na metodologia de ensaio, passando a ser utilizado o obturador alternadamente ao ensaio convencional com revestimento. Essa modificação não apresenta impacto nos resultados de ensaios de permeabilidade que seguem na faixa de 10^{-6} cm/s. Apenas no trecho final desse furo (a partir de 110 m) os ensaios demonstram variações em seus resultados, com valores de permeabilidade maiores, na faixa de 10^{-5} cm/s. Essa variação provavelmente está relacionada à mudança de material constituinte do aterro: conforme descrição geológico-geotécnica dos boletins

de sondagem, há um contato entre silte areno-argiloso para horizonte de areia fina. Essa transição justificaria o aumento de permeabilidade visto que os horizontes arenosos se comportam de forma a favorecer a passagem de água quando comparados aos horizontes siltosos.

Na sondagem SM-05 os ensaios foram realizados em pilha de estéril e em solo natural (atingido nas zonas mais profundas). No entanto, observou-se que, seguindo o mesmo padrão, os resultados indicam permeabilidades predominantemente em torno de 10^{-6} cm/s. A modificação na metodologia de ensaio ocorreu a 65 m de profundidade, em uma região de solo residual caracterizada por intercalações de camadas silto-argilo-arenosas micáceas. O ensaio realizado sem obturador a 60 m obteve um resultado de $2,69 \times 10^{-6}$ cm/s, enquanto o ensaio realizado com obturador aos 65 m apresentou resultados de $2,66 \times 10^{-6}$ cm/s, indicando compatibilidade. Neste furo, observa-se uma variabilidade significativa na permeabilidade do solo residual, o qual é caracterizado por uma intercalação de camadas silto-argilo-arenosas, micáceas e com presença de óxidos de manganês, e camadas areno-argilosas também com óxidos de manganês. A porção superior desse horizonte apresenta valores de permeabilidade da ordem de 10^{-6} cm/s, seguidos por uma redução deste parâmetro em uma faixa intermediária (10^{-7} cm/s) entre as profundidades de 70 a 91 metros. Abaixo dessa zona, observa-se novo aumento da permeabilidade, retornando à ordem de 10^{-6} cm/s. Essas variações revelam que a recuperação do solo ao longo do furo apresenta comportamento compatível com as mudanças de permeabilidade observadas. Os trechos menos permeáveis foram os que demonstraram maiores taxas de recuperação. Tal comportamento sugere que as variações mineralógicas e granulométricas das camadas, conforme descrito, influenciam diretamente a resposta hidráulica do perfil. Assim, é plausível inferir que os horizontes com maior recuperação correspondem a materiais com maior coesão interna, o que justificaria menores valores de permeabilidade.

7. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que os ensaios de infiltração realizados em pilha de estéril de mineração, realizados com o uso de obturadores a profundidades de até 188 m, a partir da aplicação da metodologia proposta por Mancuso & Azevedo (2024) e pelo método de cravação direta do revestimento *wireline*, indicam permeabilidades com valores médios da ordem de 10^{-6} cm/s. Foi observada, em algumas sondagens, a redução significativa da permeabilidade da pilha de estéril com a profundidade. As metodologias de ensaio apresentaram resultados semelhantes e compatíveis com o tipo de material presente no trecho ensaiado.

As dificuldades inerentes à perfuração em pilhas de estéril (caracterizadas pela presença de materiais heterogêneos, granulometrias variadas e grandes profundidades), impõem desafios operacionais que demandam a avaliação e o desenvolvimento de novos métodos técnico-operacionais para assegurar a efetividade das campanhas de sondagem. Nesse cenário, a aplicação da metodologia de ensaio de infiltração com o uso de obturadores tem se mostrado uma alternativa promissora, ao viabilizar a obtenção de dados em profundidades antes inacessíveis, superando as limitações impostas pela dificuldade de avanço do revestimento em meios altamente heterogêneos.

Do ponto de vista operacional, os ensaios com obturadores apresentam vantagens significativas: permitem a execução por meio do sistema *wireline*, eliminando a necessidade de manobras complexas e da instalação de revestimentos provisórios. Como resultado, há uma redução substancial do tempo de execução e dos riscos envolvidos na atividade.

Diante disso, entende-se que é importante a realização de estudos que permitam uma análise comparativa da aplicabilidade, eficiência e limitações das metodologias aqui implementadas para os casos de pilhas, e a avaliação da resposta dos métodos ao comportamento hidrodinâmico em zona não saturada e em zona saturada.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (2024). Norma ABGE 107: Ensaios de permeabilidade em solos utilizando furo de sondagem, poço, cava, *slug test* e anel duplo – Procedimentos para execução e interpretação de resultados. ABGE, 70p.

EN ISO 10097-1. *Wireline diamond core drilling equipment — System A — Part 1: Metric units*. BS EN ISO 10097-1:1999(E). BSI Standards Publication. Reviewed and Confirmed. 2023. 12p.

EN ISO 22282-1:2012(E). *Geotechnical investigation and testing - Geohydraulic testing. Part 1: General rules* BS EN ISO 22282-1:2012. BSI Standards Publication 2012a. 38p.

EN ISO 22282-6:2012. *Geotechnical investigation and testing — Geohydraulic testing. Part 2: Water permeability tests in a borehole using closed systems*. BS EN ISO 22282-6:2012. BSI Standards Publication. 2012b. 24p.

GUIDICINI, G; SANTOS OLIVEIRA, A. M.; PIRES DE CAMARGO, F.; KAJI, N. (1972a). Um método de classificação geotécnica preliminar de meios rochosos. In: SEMANA PAULISTA DE GEOLOGIA APLICADA, 4., Anais. São Paulo. p 275 - 282.

IPT. (1984). Uma proposta sistemática de estudos geológico-geotécnicos para projetos de túneis. Relatório 19 173. São Paulo. 100p.

Mancuso M.A. & Azevedo A. (2024). *Relatório Técnico 23026-RT-001: Diretrizes sobre a realização de ensaios de permeabilidade utilizando o método wireline*. 42p.

Monticelli, J. J. (Ed.). (2021). *Investigações Geológico-Geotécnicas: Guia de Boas Práticas*. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia Ambiental (ABGE).

SERRA JUNIOR, E.; OJIMA, L. M. (1998). Classificação de maciços rochosos OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. Geologia de Engenharia. São Paulo. ABGE. Oficina de Texto. p. 15-38.

Schnaid, F., Rodrigues, B. A., Lourenço, D. E., do Patrocínio, G. M. A., Maghous, S., dos Santos, J. L., Alves, M. L. P., Fonseca, R., & de Araújo, V. B. (2025). *Impact of Drilling Fluids on Borehole Hydraulic Conductivity in Geotechnical Investigations*. *Geotechnical and Geological Engineering*, 43, 98.