

# Método de dimensionamento de drenos lineares em estruturas de empilhamento de rejeitos e resíduos industriais

Tennison Freire de Souza Junior

Pós-doutorando e Eng. Geotécnico, UFPR/TPF Engenharia, Curitiba/PR, Brasil, [tennison.junior@tpfe.com.br](mailto:tennison.junior@tpfe.com.br)

Sidnei Helder Cardoso Teixeira

Professor e Eng. Geotécnico, UFPR, Curitiba/PR, Brasil, [s.teixeira@ufpr.br](mailto:s.teixeira@ufpr.br)

**RESUMO:** Atualmente, em função dos riscos envolvidos associados aos potenciais danos de ruptura de barragem de rejeito, muitas mineradoras têm explorado a utilização de pilha de rejeitos para deposição destes materiais. As pilhas representam uma alternativa de estrutura de deposição, nas quais o rejeito é armazenado de forma controlada conforme andamento do processo de beneficiamento do minério e/ou geração de produtos concentrados na planta. Assim como as barragens em geral, estas estruturas necessitam de avaliação da estabilidade dos taludes acompanhadas de estudos de percolação e dissipação de água. Entretanto, o estabelecimento da linha do NA, produzido pelas precipitações na região da pilha, frequentemente ocorre de forma empírica com base na experiência dos engenheiros geotécnicos ou desconsiderada, dependendo da sua magnitude, consequentemente estas condições podem afetar a confiabilidade dos fatores de segurança globais da estrutura e desencadear anomalias nestas estruturas. Portanto, este trabalho tem como propósito apresentar um método simplificado de cálculo de NA no interior da pilha com base nos arranjos (espaçamento), geometria (comprimento e área da seção) e a condutividade hidráulica dos materiais dos drenos lineares da pilha.

**PALAVRAS-CHAVE:** Drenos lineares; empilhamento de rejeito a seco; rejeito de mineração, fator de segurança global.

**ABSTRACT:** Currently, due to the risks involved associated with the potential damage caused by a tailings dam failure, many mining companies have explored the use of tailings piles for depositing these materials. Tailings piles represent an alternative disposal structure, in which the tailings are stored in a controlled manner according to the progress of the ore processing process and/or the generation of concentrated products at the plant. Like dams, these structures generally require an assessment of slope stability based on studies of water percolation and dissipation. However, the establishment of the NA line, produced by precipitation in the pile region, often occurs empirically based on the experience of geotechnical engineers or disregarded, depending on its magnitude, consequently these conditions can affect the reliability of the overall safety factors of the structure and trigger anomalies in these structures. Therefore, the purpose of this work is to present a simplified method for calculating the NA inside the pile based on the arrangements (spacing), geometry (length and section area) and the hydraulic conductivity of the materials in the linear drains of the pile.

**KEYWORDS:** Linear drains; dry stacking of tailings; mining tailings, global safety factor.

## 1 INTRODUÇÃO

No meio técnico, as barragens de rejeitos e/ou resíduos industriais durante muitos anos foram alternativas recorrentes para disposição destes geomateriais artificiais. Em virtude dos recentes acidentes de rupturas de barragens de rejeitos de Fundão (Mariana-MG) e do Córrego do Feijão (Brumadinho-MG), ocorreram mudanças drásticas na legislação brasileira relacionada com as mineradoras, como também têm se optado por uso de métodos de disposição mais seguros, comparados às tradicionais barragens, sendo a mais discutida as pilhas de rejeitos.

As pilhas de rejeitos são construídas a partir dos rejeitos desaguados (filtrados), que apresentam baixos teores de umidade, assumindo as características de torta filtrada úmida (saturada) e seca (não saturada) que, em função da consistência mais sólida, não podem ser hidraulicamente transportados. Assim, esses rejeitos



filtrados são normalmente transportados por esteira ou caminhão, depositados, espalhados e compactados para formar um depósito de rejeitos não saturados.

Newman et al. (2011) explicaram que as pilhas de rejeitos filtrados (conhecidas como “*Dry stacking*”) geralmente exigem uma área menor para o armazenamento de rejeitos, são mais econômicas, mais estáveis em zonas de alta sismicidade, viáveis em zonas onde há escassez de material de construção para maciços de barragem. Além de serem mais fáceis de recuperar e podem, a longo prazo, ter menor impacto ambiental. Os rejeitos filtrados dispostos em pilha (pilhas secas), embora recentes na área da mineração brasileira, estão se tornando mais comuns tanto em minas em operação quanto em projetos ainda em fase de avaliação.

Assim como as barragens de rejeitos, as pilhas de rejeitos necessitam de dispositivos de drenagem interna que limitem a poropressão positiva, de forma que a estrutura desempenhe a sua função adequadamente. O excesso de poropressão positiva gerado ao fim da construção ou pela percolação das águas pluviais podem reduzir o fator de segurança global e/ou local, desenvolver surgências e erosões superficiais.

Segundo Gaioto (2003), dentre outros aspectos, a drenagem interna possibilita o controle de percolação das estruturas geotécnicas. Assim, a drenagem interna representa uma linha de defesa e que tem como principal função escoar o fluxo de água percolado, reduzindo os gradientes hidráulicos e limitando as poro-pressões. Além disso, Sandroni e Guidicini (2002) expressam que uma vez trincados, os maciços homogêneos compactados podem desenvolver caminhos preferenciais de percolação e que a inexistência ou o subdimensionamento dos drenos internos podem desencadear o fenômeno de *piping*. A drenagem interna precisa atender condições mínimas para desempenhar adequadamente a sua função na estrutura, que são de cicatrização e filtragem, conforme Terzaghi e Peck (1962).

Mesmo na atualidade, a estimativa da linha freática das pilhas de rejeito, durante a fase de projeto, ainda é um desafio. Comumente, são assumidas condições conservadoras de fluxo para o desenvolvimento do projeto, que ao longo do tempo são confirmadas ou corrigidas através de dados de instrumentação, seguindo a filosofia do método observacional proposto por Peck (1969;1984). Por outro lado, as estimativas empíricas das linhas freáticas podem afetar a viabilidade técnica-econômica das pilhas de rejeitos, seja pelo subdimensionamento (fator de segurança inferior ao admissível) ou pelo superdimensionamento (economicamente inviável)

Atualmente, muitos consultores e projetistas tem dimensionado o sistema de drenagem interna das pilhas de rejeitos pelo dreno de fundo proposto por Saliba et al. (2010), que é uma solução desenvolvida para pilhas de estéril. Alternativamente, o presente artigo tem como objetivo expor um método de dimensionamento de drenos lineares para pilha de rejeitos e/ou resíduos industriais, assumindo condições de fluxo laminar e regime permanente. O uso de drenos lineares é uma prática pouco comum em estruturas geotécnicas, em função da ocorrência de poropressão entre os drenos, porém Araujo et al. (2018) demonstraram através de estudos em modelos físicos de barragens de água que dependendo do espaçamento e da área de drenagem, a magnitude da poropressão gerada deste sistema pode ser semelhante ao do tapete drenante convencionais.

## 2 TEORIA DA DRENAGEM INTERNA

A lei de Darcy, apresentada na Equação 1, é uma relação proporcional simples entre a taxa de descarga instantânea através de um meio poroso, a condutividade hidráulica e do gradiente hidráulico, que é válida apenas para fluxos lentos e viscosos. Coincidentemente, a maioria dos casos de fluxo de água subterrânea se encaixam nessa categoria (Atangana,2018). De acordo com Massad (2010), para que seja válida a condição de fluxo em regime laminar em estruturas porosas é necessária que a estrutura seja rígida (não se deforme) e não ocorra carregamento das partículas de solo.

$$Q = kiA \quad (1)$$

Sendo:  $K$  – Condutividade hidráulica (m/s);  $i$  – Gradiente hidráulico (m/m);  $A$  – Área de drenagem (m<sup>2</sup>). Segundo Atangana (2018), a lei de Darcy resume várias propriedades familiares que o fluxo de água subterrânea em aquíferos pode apresentar, sendo elas: O fluxo depende do gradiente hidráulico ao longo de uma distância; a taxa de descarga depende do gradiente hidráulico através do mesmo material de formação; e a taxa de descarga de fluido será frequentemente diferente através de diferentes materiais de formação, ou mesmo através do mesmo material em direções diferentes.

As hipóteses simplificadoras estabelecidas por Dupuit (1863) para aquíferos freático sem recarga em regime permanente estabelecem que: as inclinações das superfícies livres são suaves e, portanto, apresentam variações lentas de potencial; as linhas de corrente podem ser consideradas horizontais e as equipotenciais verticais e a declividade da superfície livre e gradiente hidráulico são iguais. A equação de Dupuit frequentemente é utilizada no dimensionamento de filtros livres de barragens de terra, ou seja, no cenário em que o escoamento da água não ocorre de forma plena. A Equação (2) descreve a proposta do cálculo da vazão (q):

$$q = k \cdot h \cdot d_h/d_x \quad (2)$$

Sendo:

$h$  – Carga hidráulica;

$k$  – Condutividade hidráulica do material do meio;

$d_h/d_x$  – Derivada da carga hidráulica ao longo da distância (x);

Ao integrar, se obtém a Equação (3):

$$q = \frac{k(H^2 - h^2)}{2L} \quad (3)$$

De forma geral, o fluxo em meios porosos é um comportamento que depende da condutividade hidráulica do material, sendo relativo ao tipo de solo (granulometria), densidade (grau de compactação ou densidade relativa) etc. Com base nisso, a diferença de condutividade hidráulica entre os materiais (rejeito/solos granulares), naturalmente possibilita a geração de poropressão interna.

### 3 MODELO DE CÁLCULO PROPOSTO

Como pode ser visto na Figura 1, a água pluvial infiltra na pilha de rejeito e a medida que percola na estrutura, parte da água é dissipada pelos drenos lineares, com ou sem tapete drenante, e a outra parcela fica adsorvida e eleva a poropressão interna até níveis que desenvolvam curva de carga hidráulica. É possível observar que no sentido longitudinal, a carga hidráulica no centro da pilha reduz do seu valor máximo ( $h$ ), até se anular na extremidade de saída no dreno de pé.

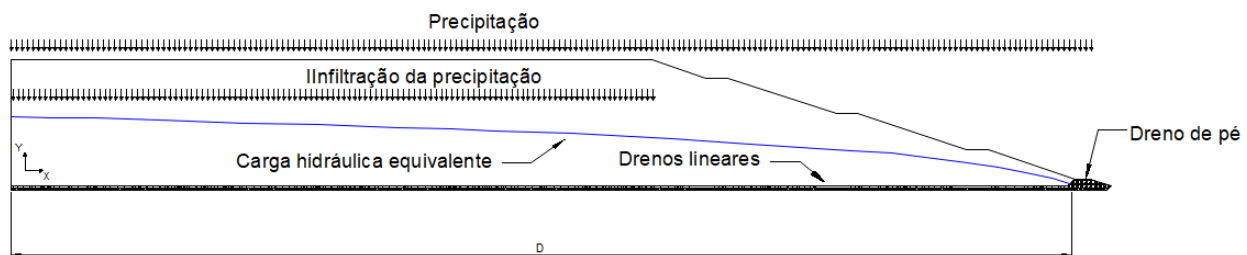


Figura 1. Modelo de fluxo proposto para pilha de rejeitos/resíduos.

A premissa do cálculo de carga hidráulica proposto foi de que a drenagem ocorreria parcialmente no dreno linear e no resíduo (ou rejeito entre os drenos), de modo que a carga hidráulica apresentaria um valor equivalente considerando os dois materiais, e que a carga piezométrica é nula a partir da altura do dreno ( $h_d$ ). Do ponto de vista teórico, a carga hidráulica apresenta uma resposta variável quando o problema é avaliado transversalmente, de modo que a carga piezométrica máxima estaria na equidistância dos drenos e reduziria até o topo do dreno nas extremidades. Este comportamento torna a solução complexa, tendo em vista que seria necessário compatibilizar as respostas das cargas hidráulicas da direção transversal com a da direção longitudinal. Porém, uma forma razoável de contornar este problema seria considerar também o rejeito entre drenos como material drenante e assim atribuir uma equivalência na drenagem, com base na ilustração da Figura 2.

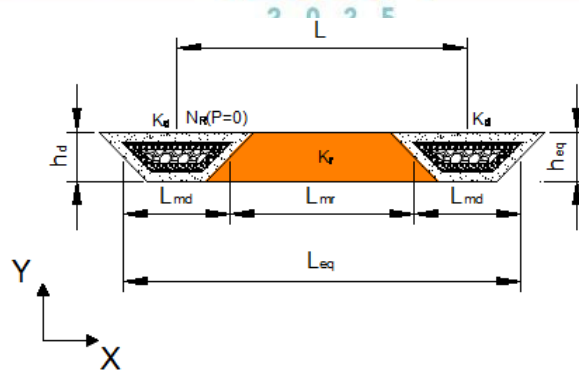


Figura 2. Esquema da seção de drenagem equivalente.

Com base na Lei de Darcy (1856), a vazão de infiltração ( $q_v$ ), por  $m^2$ , foi estabelecida com base na Equação (4):

$$q_v = v_i i A \quad (4)$$

Sendo:

$q_v$  – Vazão de infiltração ( $m^3/s$ );

$v_i$  – Velocidade de infiltração no resíduo (ou rejeito) ( $m/s$ );

$i$  – Gradiente hidráulico igual a 1,0 considerando que o fluxo de infiltração ocorre na vertical ( $m/m$ );

$A$  – Área de infiltração da pilha de resíduos ( $m^2$ ).

Assumida a condição de isotropia ( $k_v/k_H = 1$ ), a vazão vertical por metro quadrado igual a velocidade de infiltração ( $v_i$ ). O valor de  $v_i$  pode ser estimado pela Precipitação média anual  $P$  ( $mm/mês$ ) e deverá ser menor ou igual a  $K_r$  (ver Equação 5):

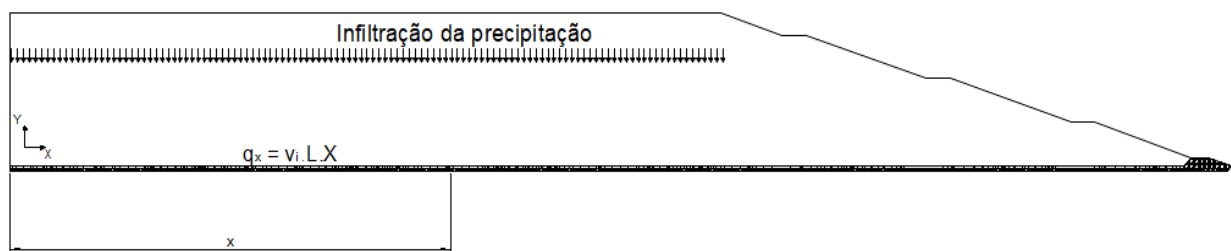
$$q_v = v_i \cdot 1,1,0m^2 \quad (5)$$

Sendo a área de contribuição ( $A$ ), que representa a área entre os drenos lineares, por metro linear igual a 1,0 L ( $A = 1,0 m \cdot L$ ), a vazão recebida ao longo do dreno linear por metro de comprimento poderá ser obtida pela Equação (6):

$$q_d = v_i \cdot L \quad (6)$$

Assim, a vazão ( $q_x$ ) correspondente à água recebida pelo dreno linear ao longo do comprimento  $x$ , medido a partir do centro da pilha, estabelecida é dada pela Equação (7) e Figura 3.

$$q_x = q_d \cdot x = v_i \cdot L \cdot x \quad (7)$$



(a)

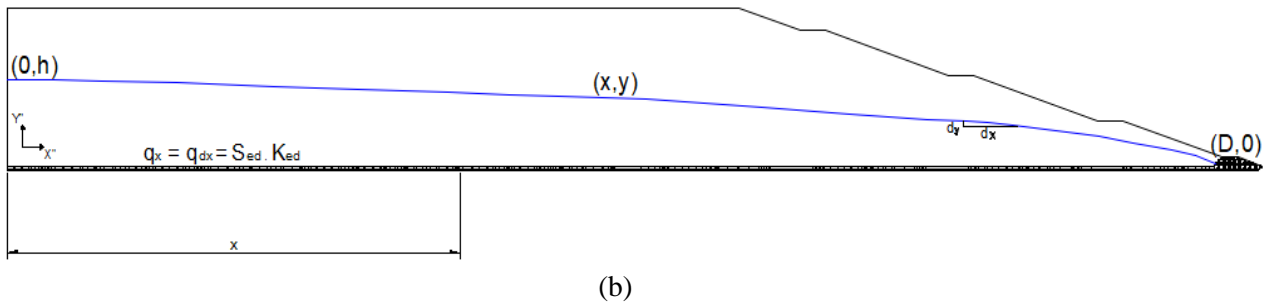


Figura 3. Linha da carga hidráulica na seção da pilha de resíduos: a) infiltração interna; b) Linha da carga hidráulica.

Por outro lado, considerando que o fluxo longitudinal ocorre na seção de drenagem equivalente, apresentando uma variação de carga hidráulica ( $d_y$ ) em função da distância a partir do centro da pilha, conforme indicado na Figura 3b, a vazão ( $q_{dx}$ ), que flui no dreno linear, pode ser calculada com base na Equação (8):

$$q_{dx} = S_{eq} \cdot K_{eq} \cdot d_y/d_x \quad (8)$$

Sendo:

$q_{dx}$  – Vazão equivalente na distância  $x$  do centro da pilha ( $m^3/s$ );

$K_{eq}$  – Condutividade hidráulica equivalente (rejeito+dreno linear) (m/s);

$S_{eq}$  – Área da seção transversal equivalente (rejeito+dreno linear) ( $m^2$ );

$d_y/d_x$  – Derivada da carga hidráulica do tapete na distância ( $x$ ) do centro da pilha.

De modo que  $S_{eq}$  e  $K_{eq}$  são calculados pelas equações 9 e 10, em função da Figura 2.

$$S_{eq} = L_{eq} \cdot h_{eq} \quad (9)$$

Portanto,

$$K_{eq} = \frac{K_d \cdot A_d + K_r \cdot A_r}{S_{eq}} \rightarrow \frac{K_d \cdot (L_{md} \cdot h_{eq}) + K_r \cdot (L_{mr} \cdot h_{eq})}{L_{eq} \cdot h_{eq}} \quad (10)$$

Sendo:

$K_d$  – Condutividade hidráulica do dreno linear (m/s);

$A_d$  – Área do dreno linear ( $m^2$ );

$K_r$  – Condutividade hidráulica do resíduo (ou rejeito) (m/s);

$A_r$  – Área drenante do resíduo (ou rejeito) ( $m^2$ ).

Para fins de segurança, a vazão da seção de drenagem deverá apresentar um  $FS_{\min}$  igual a 2,5 em relação a vazão de saída do dreno, conforme expresso na NBR13.029 (2017). Ainda assim, atribui-se um FS igual a 10 a condutividade hidráulica do material drenante devido a possíveis fenômenos de colmatagem do dreno durante o fluxo. Massad (2010) explica que esse valor é imputado em função da dificuldade prática de estimativa do material do dreno. Segundo o princípio da continuidade da hidráulica (ver Equação 11):

$$Q_{entrada} = -Q_{saida} \rightarrow v_i \cdot L \cdot x \cdot d_x = S_{eq} \cdot K_{eq} \cdot d_y/d_x = 0 \quad (11)$$

Ao integrar, se obtém a Equação (12):

$$\int v_i \cdot L \cdot x \cdot dx + \int S_{eq} \cdot k_{eq} \cdot d_y = 0 \rightarrow v_i \cdot L \cdot \frac{x^2}{2} + k_{eq} \cdot y \cdot S_{eq} = C \quad (12)$$





De forma que  $x = 0$  resulta em  $y = h$ , ou seja, no meio da pilha, ocorre a maior carga hidráulica ( $h$ ) estabelecida na Equação (13):

$$C = k_{eq} h S_{eq} \quad (13)$$

Ao substituir a equação (13) na equação (12) e atribuir a condição de contorno  $x = D$ , onde  $D$  é o comprimento total do dreno linear, resultando em  $y = 0$ , uma vez que a carga hidráulica é nula na saída do dreno linear ao encontrar o dreno de pé tem-se a Equação (14):

$$v_i L \frac{D^2}{2} = k_{eq} h S_{eq} \rightarrow h = \frac{v_i L D^2}{2 k_{eq} S_{eq}} \quad (14)$$

A equação 14 fornece a carga hidráulica máxima ( $h$ ) ao longo da seção equivalente. Para estabelecer a equação da linha freática ao longo da seção equivalente, novamente, substitui-se a equação (13) na equação (12), para condição de contorno obtendo-se Equação (15):

$$v_i L \frac{x^2}{2} + k_{eq} y S_{eq} = k_{eq} h S_{eq} \quad (15)$$

Ao substituir a equação (14) na equação (15) pode ser calculada a carga hidráulica equivalente  $y$  (ver Equação 16):

$$y = \frac{v_i L D^2}{2 k_{eq} S_{eq}} - \frac{v_i x^2}{2 k_{eq} S_{eq}} \rightarrow y = \frac{v_i L (D^2 - x^2)}{2 k_{eq} S_{eq}} \quad (16)$$

Sendo:

- $v_i$  – Velocidade de infiltração no resíduo (ou rejeito) (m/s);
- $L$  – Distância entre drenos lineares (a partir do eixo dos drenos) (m);
- $D$  – Comprimento total do dreno linear (m);
- $k_{eq}$  – Condutividade hidráulica equivalente (m/s);
- $S_{eq}$  – área de drenagem equivalente (m<sup>2</sup>).

A partir da equação (16) é possível traçar a curva da carga hidráulica equivalente sobreposta a seção geológica-geotécnica da estrutura de empilhamento, conforme pode ser visualizado na Figura 3. Importante ressaltar que as pilhas de resíduos (ou rejeitos) são analisadas em cenários distintos. No cenário de análise não drenada, a região abaixo da linha freática, se atribui os parâmetros de resistências não drenados (parâmetros totais) e acima desta o resíduo estaria em condições drenadas (parâmetros efetivos). Já no cenário de análise drenada, todo o resíduo industrial apresentaria parâmetro drenados (ou efetivos), contudo os materiais abaixo da linha freática um peso maior (peso do resíduo + peso da água).

#### 4 SIMULAÇÃO EXEMPLIFICADA

Para compreensão do comportamento da carga hidráulica a partir do modelo proposto foi desenvolvido um exemplo teste. No exemplo, foi estabelecido em projeto que seria construída uma pilha de rejeitos de 70 m, com distância do centro até a extremidade externa ( $D$ ) de 300 m, sendo adotado um sistema de drenagem interna. A precipitação média mensal ( $P$ ) atribuída ao modelo foi de 400 mm/mês ( $1,54 \times 10^{-7}$  m/s), o material da pilha apresenta  $K_r$  igual a  $5 \times 10^{-8}$  m/s e os drenos lineares apresentaram  $K_d$  igual a  $2,5 \times 10^{-3}$  m/s. Entretanto, como  $P > K_r$ , adota-se  $v_i = K_r$  nas análises pois o limite da infiltração é valor de  $K_r$ .

Com base nestes dados foram desenvolvidos dois estudos de sensibilidade referentes a área da seção ( $S_d$ ) e o espaçamento entre drenos ( $L$ ), conforme a Figura 4. No exemplo da Figura 4a foi simulada a condição de uma altura de dreno ( $h_d$ ) igual a 2,0 m, largura do dreno ( $L_d$ ) igual a 2,0 m e espaçamentos entre drenos ( $L$ ) variáveis largura de dreno variáveis (25 m, 50 m, 100 m e 150 m) e como pode ser visto, na medida que o espaçamento entre drenos aumenta, há aumento do gradiente hidráulico na estrutura e, portanto, a elevação da linha freática em grandeza proporcional pois quanto maior a distância entre os drenos, maior é o a geração de poropressão interna.

Em relação a área do dreno (ver Figura 4b), foi simulada a condição de uma altura de dreno ( $h_d$ ) igual a 2,0 m, espaçamento entre drenos ( $L$ ) fixo em 25 m e as áreas dos drenos ( $S_d$ ) variáveis (3 m<sup>2</sup>, 4 m<sup>2</sup>, 6 m<sup>2</sup> e 8 m<sup>2</sup>). Nesta simulação foi observado que quanto maior a área do dreno linear, menor será a geração de poropressão interna e, portanto, mais abatida a linha de carga hidráulica. Quanto maior a área de drenagem, mais rápido a água absorvida é drenada, o que por sua vez reduz a cota da linha de água no interior da pilha.

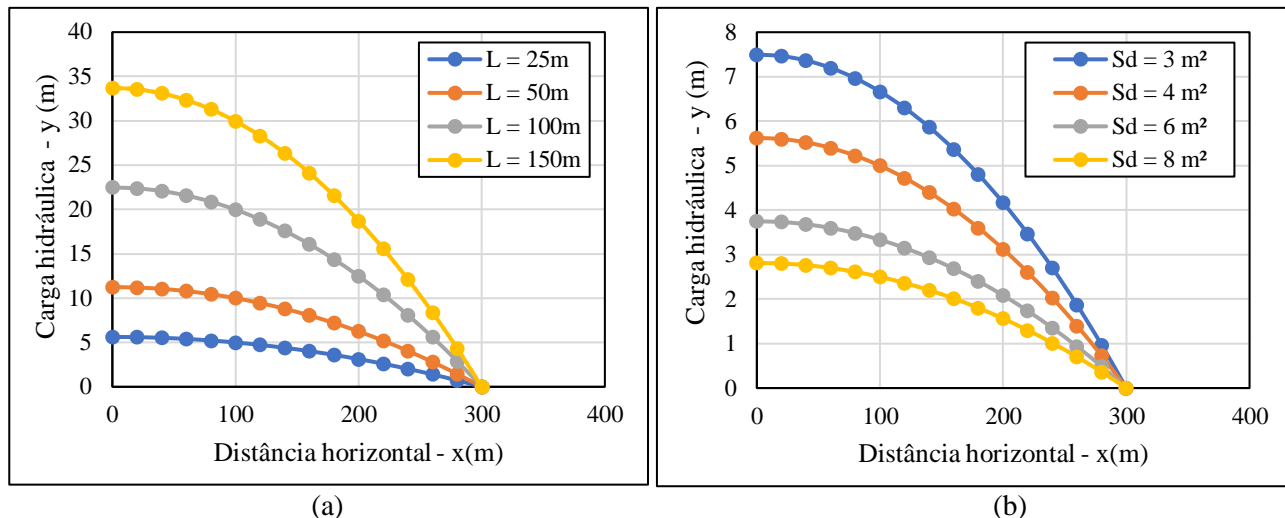


Figura 4. Estudo de sensibilidade de drenos lineares: (a) Espaçamento entre drenos; (b) área dos drenos.

Na Figura 5 pode ser observada as mesmas linhas apresentadas na Figura 4 em condição de geometria normalizada. Especificamente na Figura 5a pode se concluir que quanto maior a relação de  $L_d/L_{eq}$  mais abatida é a linha de carga hidráulica, o que converge com o ponto de vista físico pois quanto menor o espaçamento entre drenos em relação ao espaçamento equivalente, há uma tendência de redução da poropressão interna devido a redução da região com condutividade hidráulica menor. No que tange a relação  $S_d/S_{eq}$ , quanto maior a seção com maior condutividade hidráulica em relação a uma determinada seção equivalente, há uma tendência de dissipação mais rápida (ver Figura 5b).

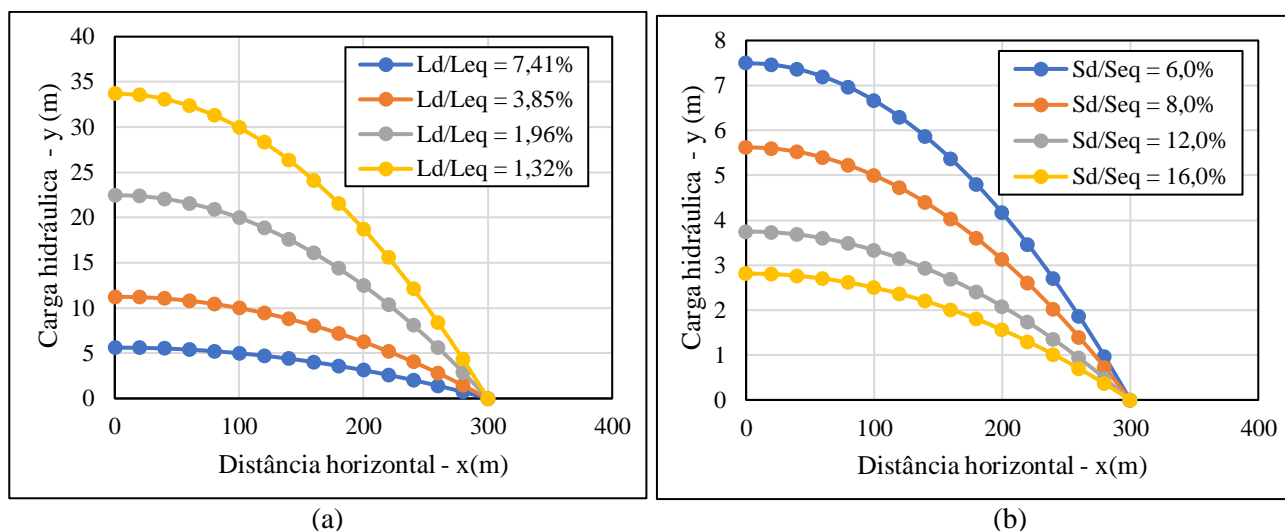


Figura 5. Avaliação da carga hidráulica com a geometria normalizada: (a) carga hidráulica em função da variação  $L_d/L_{eq}$ ; (b) carga hidráulica em função da variação de  $S_d/S_{eq}$ .

## CONCLUSÕES

As pilhas de rejeitos e resíduos industriais são estruturas que estão se tornando mais usadas em função do alto nível de segurança da disposição do rejeito, porém o comportamento a longo prazo destas estruturas é



algo que ainda se encontra em fase de estudo. A dificuldade de aplicação e validação de métodos sofisticados para estimativa da carga hidráulica, no meio prático é comum a adoção de uma visão empírica.

A partir do estabelecimento de adoção do método simples (dreno linear) ou método associado (dreno linear + tapete drenante), o presente artigo apresentou um método de cálculo de carga hidráulica baseado em regime de fluxo laminar e permanente, com forte fundamentação teórica. Através do estudo sensibilidade da Figura 4, a carga hidráulica desenvolvida no interior da pilha foi bastante influenciada pela área de drenagem ( $S_d$ ) e os espaçamento entre drenos ( $L$ ).

O presente estudo adotou condições de contorno simplificadas, tais como: meio isotrópico, a vazão de infiltração igual a condutividade hidráulica do rejeito, carga hidráulica nula na saída do dreno, base da pilha aproximadamente plana e outras. No entanto, cabe ressaltar que estas condições são bem aderentes ao cenário de uma pilha de rejeito.

## AGRADECIMENTOS

Os autores expressam os seus agradecimentos ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Federal do Paraná (UFPR) pelo fomento a pesquisa científicas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Antagana, A. (2018) *Fractional Operators with Constant and Variable Order with Application to Geo-Hydrology*. Elsevier, 396 p.

Araujo, M.C.N., Souza Junior, T.F. de, Trevizolli, M. N. B., Teixeira, C. A., Teixeira, S.H.C., Faro, V. P. (2018) A Method for Designing Finger Drains and Assessing Phreatic Lines for Dams. *Soils and Rocks*, 41 (3), p.309-317.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017). NBR 13.029. *Mineração – Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril em pilha*. Rio de Janeiro.

Darcy, H. (1856) *Les Fontaines publiques de la ville de Dijon (The Water Supply of the city of Dijon)*. Dalmont, Paris, 67 p.

Dupuit, J. (1863). *Etudes théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux dans les canaux découverts et à travers les terrains perméables*. 2nd ed., Dunod: Paris.

Massad, F. (2010) *Obras de Terra: Curso básico de Geotecnia*. Oficina de Textos: São Paulo, 216 p.

Newman, L., Arnold, K., Winter, D. (2011) *Dry Stack Tailings design for the Rosemont Copper Project*, In: Tailings and Mine Waste '10, London. *Anais...* Taylor & Francis. p. 315-325.

Peck, R. B. (1969) Advantages and limitations of the observational method in applied soil mechanics, *Geotechnique*, v. 19, n. 2, 1969.

Peck, R. B. (1984) *Judgement in geotechnical engineering - the professional legacy of Ralph B. Peck*, Dunncliff, J.; Deere, D. U. (Eds.). New York: John Willey.

Saliba, A. P. M., Saliba, F.P.M., Gimenes, E. A., Mafra, J.M.Q., Resende, M. F. de, Gonçalves, E. P. (2016) *Revisão de Metodologia para Dimensionamento de Drenos de Fundo de Pilhas de Estéril*, In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Belo Horizonte. *Anais...* ABMS. p. 1-6.

Sandroni, S. S., Guidicini, G. (2021) *Barragens Terra e Enrocamento*. Oficina de Textos: São Paulo, 167 p.

Terzaghi, K., Peck, R.B. (1962) *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 2nd ed. McGraw Hill, New York, NY, USA, 685 p.