

# Estudo de Caso de Rupturas e Projetos de Estabilização de Taludes no Arroio Dilúvio, em Porto Alegre/RS

Glauber Candia Silveira

Eng. Civil, Msc, Engeplus Engenharia, Porto Alegre, Brasil, glauber.silveira@engeplus.eng.br

Fancler Thiago Araldi

Eng. Civil, Msc, Encop Engenharia, Porto Alegre, Brasil, thiago@encop.com

**RESUMO:** O Arroio Dilúvio é um córrego cuja canalização a céu aberto foi retificada entre os anos de 1940 e 1970, sendo margeado pela Av. Ipiranga, importante artéria na cidade de Porto Alegre/RS, com a foz na margem do lago Guaíba. Entre os anos de 2023 e 2024 foram registradas diversas rupturas de taludes que comprometeram a estabilidade e operação de ciclovia existente ao longo da sua extensão, impactando parcialmente a mobilidade urbana na região. Foram desenvolvidos estudos e projetos de engenharia, abrangendo inspeções detalhadas, levantamentos topográficos cadastrais, sondagens e ensaios geotécnicos *in situ* e em laboratório, visando à caracterização geotécnica e obtenção de parâmetros, os quais foram utilizados em estudos de alternativas de estabilização. Foram realizadas retroanálises de estabilidade de taludes e elaborados projetos executivos de estabilização visando a reconstrução dos trechos rompidos. Disto resultaram soluções executivas contemplando o uso de ensecadeiras e estacas prancha na fase de obras, bem como execução de concreto ciclópico e colchão reno para travamento e proteção do pé dos taludes, muros de concreto armado e aterros de solo cimento de modo a assegurar a estabilidade dos taludes reconformados. Para um trecho de talude não colapsado, mas com estabilidade precária, foram estudadas alternativas e projetada estabilização com emprego de solo grampeado e proteção de face.

**PALAVRAS-CHAVE:** Talude Urbano, Ruptura, Canal, Análise de Estabilidade, Alternativas de Estabilização.

**ABSTRACT:** Dilúvio Stream, whose open-air channeling was rectified between 1940 and 1970, borders Ipiranga Avenue, a major artery in the city of Porto Alegre, Rio Grande do Sul, and its mouth is on the shore of Lake Guaíba. Between 2023 and 2024, several slope failures were recorded, compromising the stability and operation of the existing cycle path along its length, partially impacting urban mobility in the region. Engineering studies and projects were developed, including detailed inspections, cadastral topographic surveys, drilling, and geotechnical testing *in situ* and in the laboratory, aiming at geotechnical characterization and obtaining parameters, which were used in studies of stabilization alternatives. Slope stability retroanalysis was performed, and executive stabilization projects were developed for the reconstruction of the failed sections. This resulted in executive solutions that included the use of cofferdams and sheet piles during the construction phase, as well as the use of cyclopean concrete and a reno mattress to secure and protect the slope toes, reinforced concrete walls, and soil-cement embankments to ensure the stability of the resurfaced slopes. For a section of slope that had not collapsed but was precariously stable, alternatives were studied, and stabilization with soil nails and face protection was designed.

**KEYWORDS:** Urban Slope, Rupture, Channel, Stability Analysis, Stabilization Alternatives

## 1 INTRODUÇÃO

O Arroio Dilúvio é um córrego que atravessa zona densamente urbanizada de Porto Alegre/RS, com uma extensão total de 17,6 km. Nasce na zona leste, no município de Viamão (Lomba do Sabão, na divisa com Porto Alegre) e corre na direção oeste com deságue no Lago Guaíba, no limite entre os parques Marinha do Brasil e Maurício Sirotsky Sobrinho (Harmonia), próximo do Centro de Porto Alegre. A atual canalização do Arroio Dilúvio (margeado pela Av. Ipiranga) se estende por cerca de 12 km, não corresponde ao antigo leito do curso d'água cujo delineamento original meandrante foi modificado e retificado por obras sucessivas de

redirecionamento e alteração geométrica do seu traçado, executadas entre os anos de 1940 e 1970 (Burin, 2008).

No trecho canalizado e a céu aberto existem 17 pontes e 5 travessias para pedestres. O fundo da canalização em alguns segmentos de maior declividade longitudinal, possui uma série de degraus com altura da ordem de um metro, em conjunto de três a cada 200 m. No trecho canalizado, as paredes laterais foram construídas com muros de pedra granítica argamassada na parte inferior e taludes inclinados na parte média e superior, parcialmente protegidos por laje de grês/capeadas por concreto simples (parte média do talude) e proteção vegetal na parte superior. Segundo o website da Prefeitura de Porto Alegre<sup>1</sup>, o arroio e seus afluentes recebem anualmente cerca de 50 mil m<sup>3</sup> de terra e lixo, além da descarga de esgotos pluviais e cloacais, necessitando de limpeza e dragagens periódicas.

As obras de canalização foram concluídas há mais de 50 anos e ao longo dos últimos 10 anos, têm ocorrido algumas rupturas dos taludes, cuja frequência de instabilização se agravou nos anos de 2023 e 2024, coincidentemente com o advento das mudanças climáticas que determinaram um maior período de cheias do arroio. Os últimos 3 quilômetros da canalização possuem margens com aterros elevados que fazem parte do Sistema de Proteção de Cheias de Porto Alegre. Em cerca de 9,4 km da extensão canalizada, sobre uma das margens, existe uma ciclovia bastante utilizada, a qual foi parcialmente impactada pelas rupturas dos taludes.

## 2 LOCALIZAÇÃO DOS TRECHOS

Ao longo da canalização existente no Arroio Dilúvio (Av. Ipiranga) foram estudados e desenvolvidos 9 projetos de recuperação e estabilização, sendo de 8 locais em que ocorreram rupturas de taludes nos anos de 2023 e 2024, bem como um local com ruptura iminente, com trincamento longitudinal ao longo da crista/ciclovía. A Tabela 1 traz a caracterização e localização dos trechos instabilizados.

Tabela 1. Caracterização dos trechos instabilizados.

Trecho	Margem	Localização (referência próxima)	Extensão (m)	Coordenadas (graus)	
				Latitude	Longitude
1	Direita	Ginásio PUC/RS	15,00	-30,055664	-51,171337
2	Esquerda	Av. Cristiano Fischer	12,00	-30,055845	-51,169450
3	Esquerda	Estacionamento PUC	40,00	-30,055956	-51,171657
4	Esquerda	Planetário UFRGS	24,00	-30,044666	-51,207763
5	Direita	Av. Silva Só	21,00	-30,043193	-51,203707
6	Esquerda	Rua Lício Cavalheiro	30,00	-30,059072	-51,179381
7	Esquerda	Rua Ramiro Barcelos	40,00	-30,043891	-51,206439
8	Esquerda	Rua São Manoel	40,00	-30,043460	-51,204921
9	Esquerda	R. Santana/R. Gomes Jardim	160,00	-30,045441	-51,209056

Obs.: Trechos 1 ao 8 com ruptura dos taludes. Trecho 9 com trincamento longitudinal

O locais estudados foram denominados “trechos”, estando localizados conforme a Figura 1. Na imagem mostra-se também a mancha da inundação ocorrida em maio/2024<sup>2</sup>, devido à falha do Sistema de Proteção de Cheias e avanço do Lago Guaíba pelo lado oeste da cidade de Porto Alegre, salientando-se que o terço final da canalização do Arroio Dilúvio faz parte do sistema de proteção.

Na Figura 2 ilustram-se as rupturas dos taludes em cada trecho, com extensão longitudinal variável entre 12 e 40 m (trechos 1 a 8). O trecho 9 é caracterizado por trincamentos ao longo da crista/ciclovía.

<sup>1</sup> [https://www2.portoalegre.rs.gov.br/dep/default.php?p\\_secao=71](https://www2.portoalegre.rs.gov.br/dep/default.php?p_secao=71) Acesso em: 10 jul. 2025.

<sup>2</sup> <https://storymaps.arcgis.com/stories/a81d69f4bccf42989609e3fe64d8ef48> Acesso em: 10 jul. 2025.



Figura 1. Macrolocalização dos taludes rompidos no Arroio Dilúvio, em Porto Alegre/RS.

Fonte: Google Earth (02/07/2025)

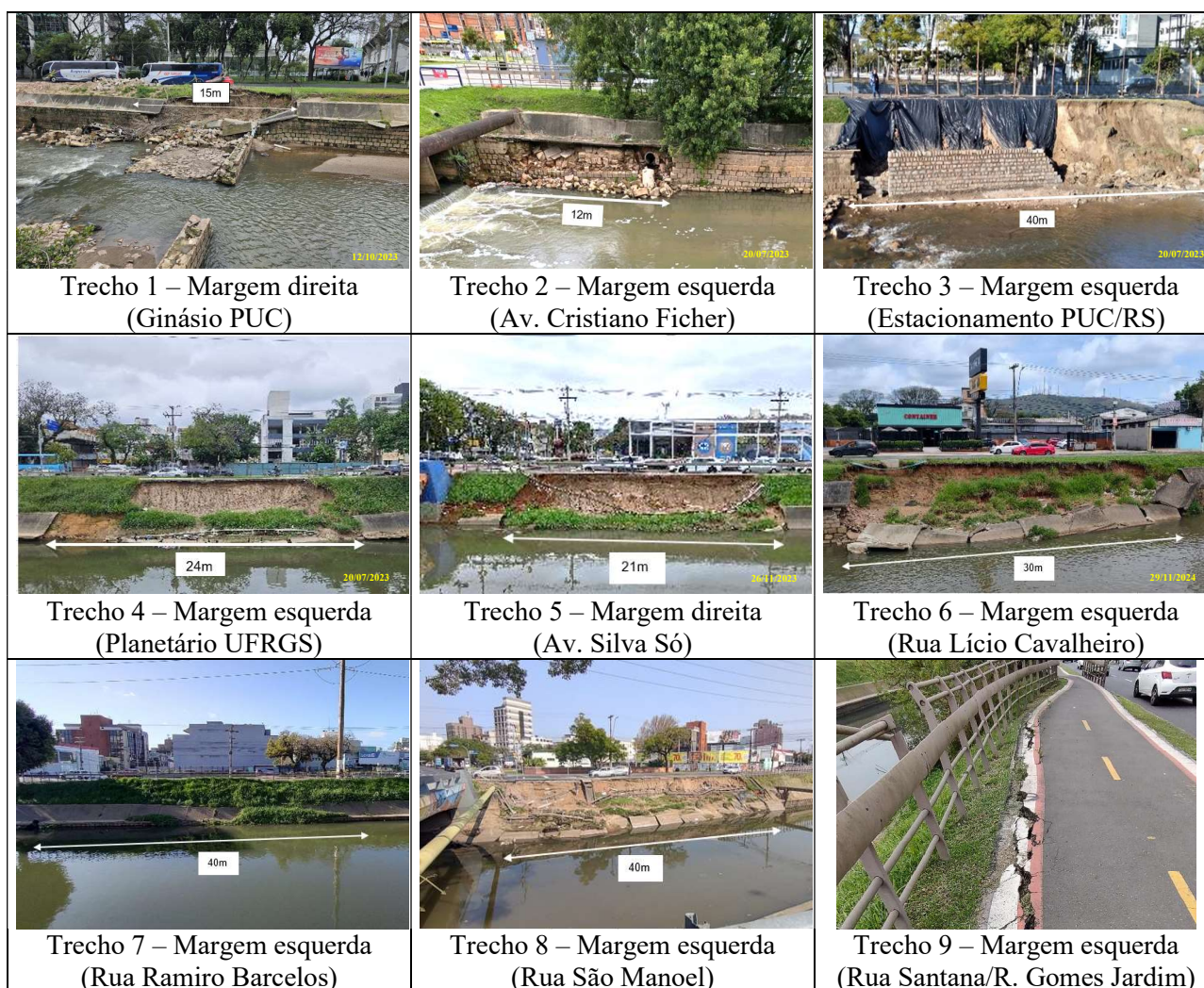


Figura 2. Vistas dos taludes rompidos (trechos 1 a 8) e ruptura iminente (trecho 9).

### 3 ESTUDOS REALIZADOS

Os estudos visando à definição das soluções de recuperação e de estabilização dos trechos rompidos foram desenvolvidos a partir do reconhecimento geológico-geotécnico local, coleta e análise dos projetos de implantação da canalização, bem como inspeções detalhadas em campo. A partir destes estudos preliminares, foram realizados levantamentos topográficos cadastrais utilizando laser scanner 3D, sondagens a percussão (SPT) com ensaios de infiltração *in situ*, levantamento de seções geofísicas, sondagens a trado com coleta de amostras, coleta de blocos indeformados, ensaios de caracterização geotécnica e ensaios de resistência ao cisalhamento.

#### 2.1 Síntese das Investigações Geológico-Geotécnicas

O Arroio Dilúvio atravessa uma região classificada geologicamente como “terraços e cordões arenosos (Sistema laguna-barreira II e III)”, conforme o mapa geológico da Figura 3.a). Não obstante a classificação geológica da região indicar depósitos fluviais, a implantação da canalização do Arroio Dilúvio implicou em diversas ações antrópicas com a inserção de aterros nas margens, ademais da retificação do traçado (Figura 3.b).

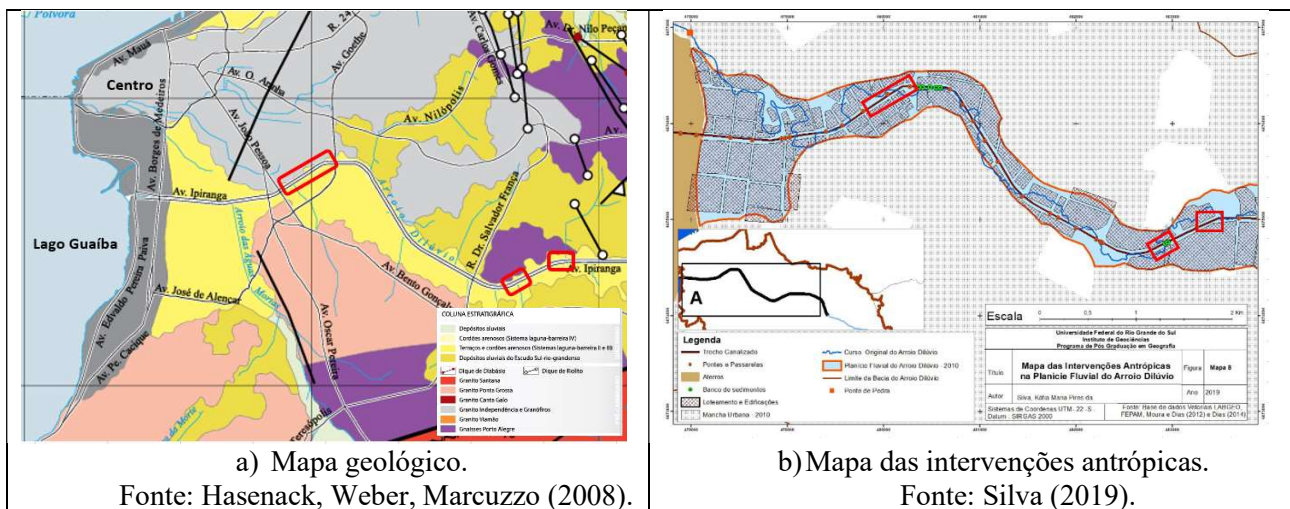
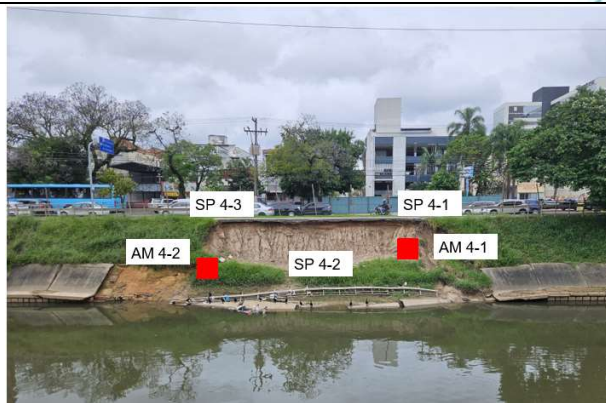
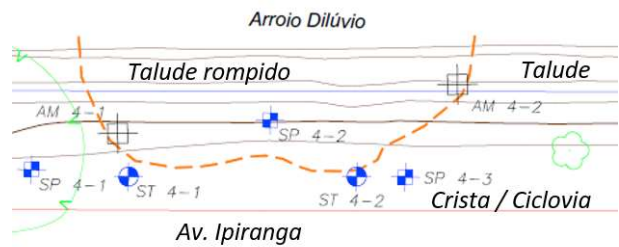


Figura 3. Mapa geológico e mapa das intervenções antrópicas na planície fluvial do Arroio Dilúvio, destacando-se os locais onde ocorreram as instabilizações dos taludes.

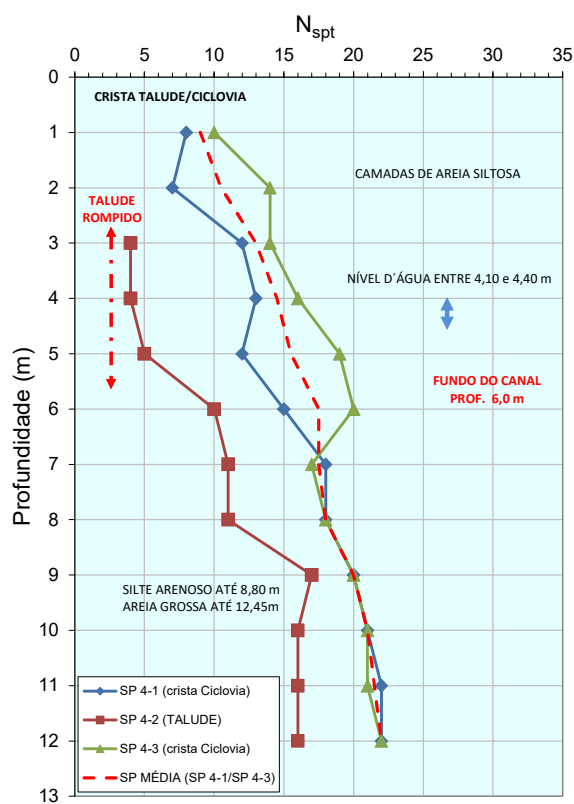
A Figura 4, como exemplo, ilustra a campanha de investigações geotécnicas executada no trecho 4 (Figura 4.a e 4.b), sendo que procedimento similar foi adotado nos estudos nos demais locais. Os resultados das sondagens SPT (Figura 4.d) mostraram que ao longo da crista/ciclovia o terreno apresenta resistência crescente com a profundidade, com ocorrência de camadas de areia siltosa pouco compactas até cerca de 2 a 3 m de profundidade ( $N_{spt} \leq 8$ ), passando para medianamente compactas para maiores profundidades. Nota-se que o furo executado no talude rompido, com boca de furo cerca de 2 m abaixo da crista, revela ocorrência de areia siltosa fofa na zona plastificada pela ruptura, a qual é limitada na profundidade de 6 m, que corresponde aproximadamente à profundidade do fundo do canal. Ou seja, os resultados indicaram que a ruptura havida não caracterizou um processo clássico de ruptura global do talude, mas provavelmente de problemas decorrentes de instabilização do muro de pé. Na Figura 4 mostra-se, também, resultados das sondagens geofísicas que foram importantes para identificação das variações das camadas de solo no local (Figura 4.c), assim como resultados dos ensaios de infiltração (Figura 4.e) que indicaram camadas semi-permeáveis na parte superior do talude [ $10^{-4} < k \text{ (cm/s)} < 10^{-6}$ ] e camadas permeáveis para maiores profundidades ( $k > 10^{-4} \text{ cm/s}$ ), confirmando as características arenosas da geologia local.



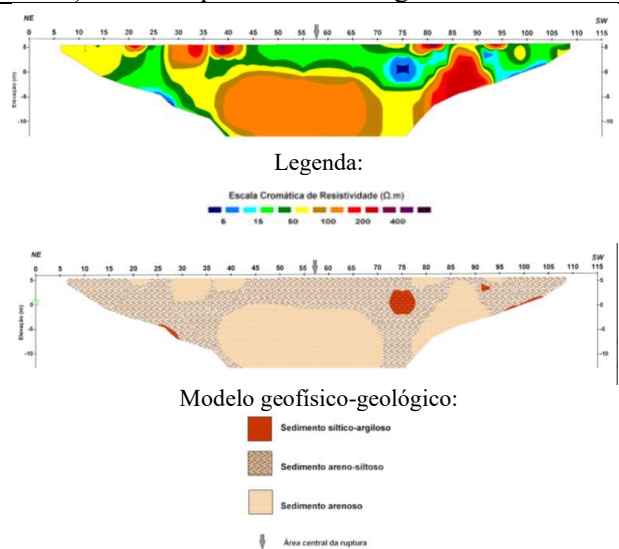
a) Localização das investigações geotécnicas



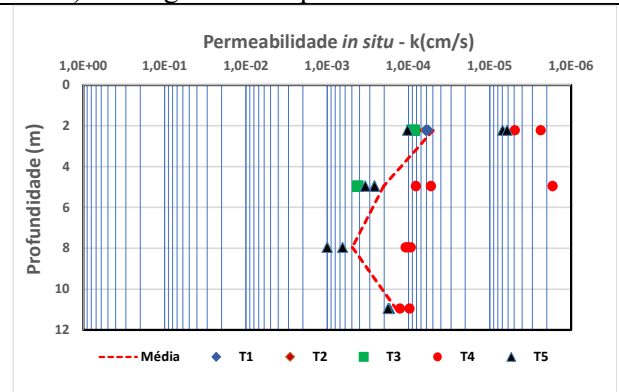
b) Vista em planta das sondagens e coletas



d) Sondagens SPT na crista e talude



c) Linha geolétrica processada e modelada



e) Ensaio de infiltração

Figura 4. Resultados das investigações geotécnicas no Trecho 4 (Planetário/UFRGS).

A Tabela 2 apresenta um resumo dos resultados dos ensaios de cisalhamento direto na condição natural e inundado, para as amostras de blocos indeformados que foram retiradas nos trechos 3, 4 e 5, nos taludes remanescentes (solo não rompido). Verificou-se um boa condição de densificação ( $\gamma_{\text{médio}}=18,6 \text{ kN/m}^3$ ) e de resistência na condição natural ( $\phi_{\text{médio}}=36$  graus e  $c_{\text{média}}=15,8 \text{ kPa}$ ); no entanto, constatou-se perda de resistência à inundação, sendo esta redução (em média) de cerca de 6,1% quanto ao ângulo de atrito e de 55,7 % em relação à coesão. Esta é uma característica relevante, que tende a ter impacto na estabilidade do talude, quando submetido a condições de saturação, seja por elevação do nível do arroio, seja por infiltração superficial.



Tabela 2. Resultados de ensaios de cisalhamento direto.

Trecho	Amostra	Natural			Inundado		
		$\phi$ (graus)	c (kPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (graus)	c (kPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
3	AM 3-1	45	22	18,3	38	0	17,8
4	AM 4-1	39	13	19,9	36	5	18,8
	AM 4-2	33	19	17,2	33	8	17,5
5	AM 5-1	32	10	17,9	31	9	18,2
	AM 5-2	31	15	19,8	31	13	20,1
Média		36,0	15,8	18,6	33,8	7,0	18,5
Desvio Padrão		5,9	4,8	1,2	3,1	4,8	1,0
Coef. Variação (%)		16,4	30,2	6,4	9,2	69,3	5,6

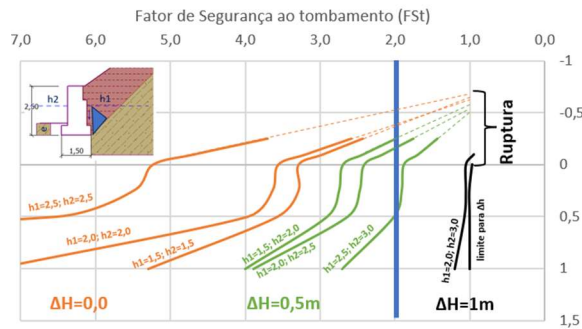
## 2.2 Diagnóstico e Retroanálises de Estabilidade

Para cada trecho, considerando a geometria das rupturas, os perfis geológico-geotécnicos revelados pelas sondagens e os parâmetros médios assumidos para os diversos materiais encontrados, foram realizados diagnósticos específicos e retroanálises de estabilidade procurando-se simular algumas condicionantes que poderiam ter determinado os colapsos. Ou seja, buscou-se um modelo matemático bidimensional considerando um conjunto paramétrico convergente fisicamente com a representatividade das condições locais da canalização, em especial quanto à variação do lençol freático, com estudo de possíveis cenários indutores das rupturas dos taludes visando delimitar qual seria o de maior criticidade.

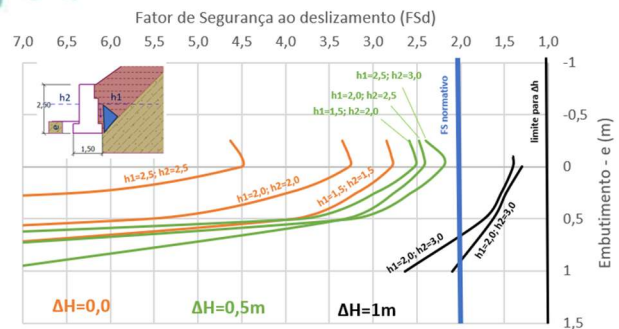
No modelo foi simulado o cálculo de muros de gravidade, considerando os empuxos e teorias de cálculos de Coulomb (para o empuxo ativo) e de Rankine (para o empuxo passivo) visando uma melhor compatibilidade de deformações. A influência dos parâmetros geotécnicos na estabilidade externa do muro está relacionada ao material que envolve a cunha ativa. Logo, foi assumido que a influência das ações de empuxo são reflexos do retroaterro. Neste sentido, a análise de estabilidade global contribuiu para a escolha dos parâmetros de resistência ao cisalhamento, os quais foram balizados pelos ensaios realizados. Considerando os cenários mais plausíveis em termos de variações de nível d'água e um desnível com rebaixamento rápido até 1,00 m, em geral, percebeu-se que existe estabilidade global nesta situação rotineira, caso contrário, podem ocorrer rupturas nos taludes.

Pelas constatações de campo, o talude de aterro rompido à montante apresenta modo de ruptura circular, entretanto, notou-se que as superfícies em geral se apresentam condizentes com solos coesivos. Contraditoriamente, em vários locais são encontrados solos arenosos não coesivos, isto é, a origem daquela geometria não é proveniente de um deslizamento circular, mas sim está envolvida na cunha ativa a partir de um movimento iniciado com instabilidade do muro de contenção.

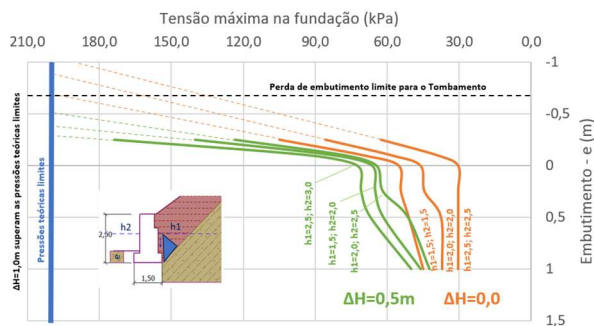
Assim sendo, no modelo adotado utilizando o software GEO5, foram considerados 6 (seis) cenários, variando-se o embutimento da base do muro (entre 1,00 m e -0,25 m, ou seja, solapamento), variação do lençol freático (entre 0,00 m e 1,00 m), variação da altura interna em relação ao topo do muro (entre 1,50 m e 2,50 m) e a variação da altura do talude em relação ao topo do muro (entre 1,50 m e 3,50 m). Desta forma, para cada combinação e local, foram calculadas as verificações dos Fatores de Segurança (FS) ao tombamento, ao deslizamento e às tensões nas fundações do muro, conforme cada caso. Como exemplo ilustrativo de resultados, para o trecho 4, apresentam-se a seguir na Figura 5 os “ábacos” obtidos para a variação do FS para as condições simuladas.



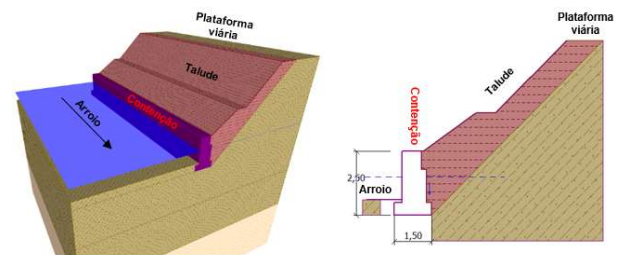
a) Simulação quanto ao FS tombamento



b) Simulação quanto ao FS deslizamento



c) Simulação quanto às tensões na fundação



d) Modelo geométrico no software Geo5

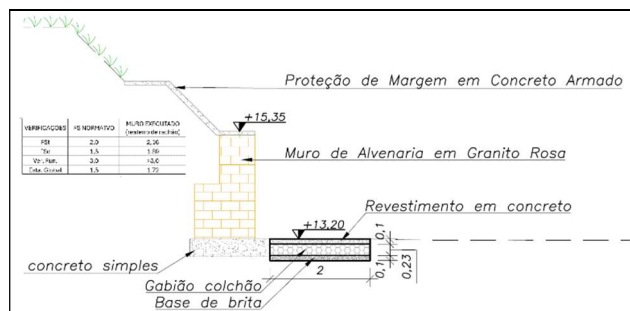
Figura 5. Ábacos obtidos na variação do FS quanto à perda de embutimento da base do muro, em relação ao tombamento, deslizamento e tensões na base, face à influência da variação do nível d'água.

Os resultados obtidos mostraram que oscilações do nível d'água ( $\Delta H$ ) da ordem de 1,00 m no canal, acompanhadas de perda de material no pé do muro (de forma natural ou mecanizada), ocasionam rupturas, notadamente quanto ao tombamento sendo esta uma condição mais crítica, o que reforça a compreensão obtida pelos levantamentos de campo. Resultados similares foram obtidos para os demais trechos estudados.

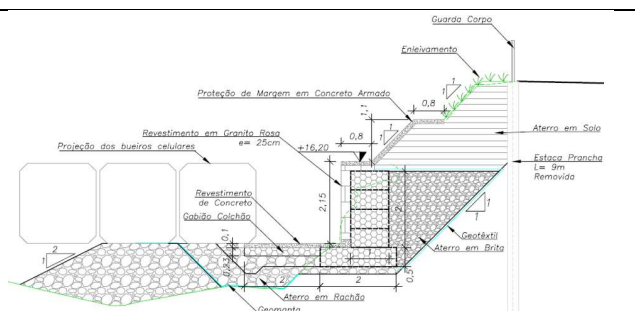
#### 4 PROJETOS DE ESTABILIZAÇÃO

A partir dos estudos realizados e à luz da NBR 11682 (2009), para cada trecho, foram elaborados os respectivos projetos de estabilização, cujas seções tipo das soluções estão apresentadas na Figura 6.

Para os trechos 1 e 3, cujos muros já estavam sendo reconstruídos emergencialmente, os estudos mostraram a necessidade de maior proteção do pé (evitando-se assim o risco de escavações indevidas por ocasião de dragagens), sendo proposto gabião colchão argamassado. Esta proteção também foi indicada para todos trechos, sendo alternativamente sugerido uso de concreto ciclópico. Para o trecho 2, a reconstrução do muro tombado foi proposta com gabiões caixa tendo na face alvenaria de pedras seguindo o padrão do canal.



Trechos 1 e 3: Muro de pedra (reconstruído emergencial) com proteção adicional no pé do muro (gabião colchão revestido)



Trecho 2: Escoramento provisório com estacas-prancha, execução de muro de gabiões com face em alvenaria de pedras. No pé, com gabião colchão.

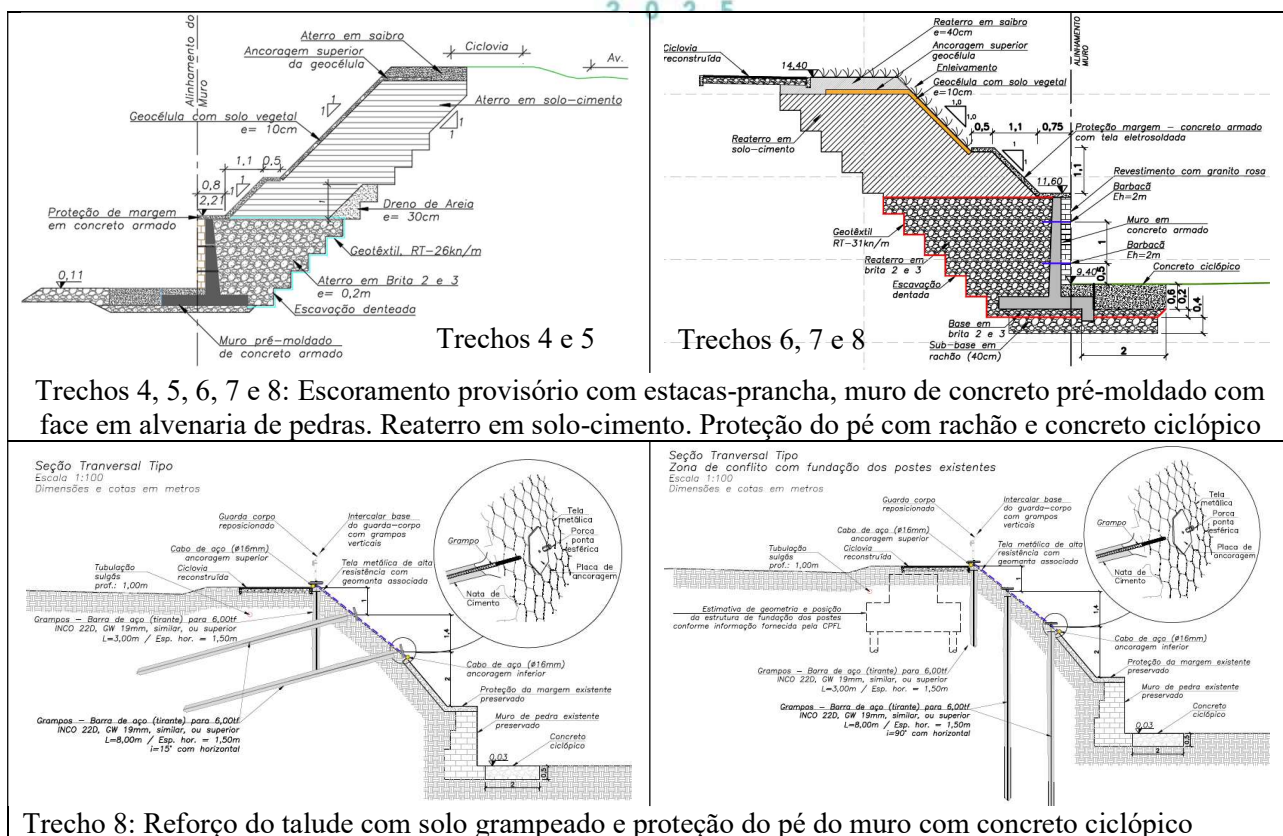


Figura 6. Soluções propostas nos projetos de estabilização dos taludes em cada trecho.

Para os trechos 4, 5, 6, 7 e 8, conforme a Figura 6, foram projetados muros de concreto armado pré-moldado (com alvenaria de pedras na face), reaterro granular na parte inferior e aterro em solo-cimento na parte superior para se manter a inclinação 1:1 (v:h) dos taludes do canal. A proteção superficial foi especificada em placas de concreto armado e geocélulas com solo vegetal. Na fase executiva, para se evitar o alargamento da escavação, foi indicada cortina provisória de estacas prancha. Já para o trecho 8 (não colapsado), foi projetado reforço com grampos metálicos em duas linhas de grampos 19 mm ( $L=8$  m), espaçados de 1,50 m, sendo que em frente de fundação de poste/rede de Alta Tensão, admitiu-se grampos cravados verticalmente.

## 5 CONCLUSÕES

Nas avaliações realizadas, concluiu-se que as rupturas dos taludes tiveram diversas causas, sendo a perda de embutimento da base dos muros um dos principais condicionantes para os tombamentos. Foram projetadas soluções de estabilização, com a reconstrução procurando manter o mesmo padrão estético dos muros existentes, bem como introdução de proteção adicional para o pé dos muros, na base da canalização. Para o trecho com trincamento ao longo da crista foi especificado a utilização de reforço com solo grampeado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). NBR 11682. *Estabilidade de encostas*. Rio de Janeiro.
- Burin, C. W. (2008) *Canalização do Arroio Dilúvio em Porto Alegre: ambiente projetado x ambiente construído*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo / UFRGS, 161 p.
- Hasenack, H.; Weber, E., Marcuzzo, S. (2008). *Diagnóstico ambiental de Porto Alegre: geologia, solos, drenagem, vegetação/ocupação e paisagem*. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 84 p.
- Silva, K. M. P. (2019) *Análise da morfologia original do arroio Dilúvio, município de Porto Alegre-RS*, Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia / UFRGS, 155 p.