

ESTABILIZAÇÃO DE TALUDE RODOVIÁRIO NA ERS-020 EM SÃO FRANCISCO DE PAULA

Alisson Silveira Sachetti

FGS Engenharia Geotécnica e Ambiental Ltda
alisson@fgs.eng.br

Fábio Conterato

Acadêmico do curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
fconterato94@gmail.com

Felipe Gobbi Silveira

FGS Engenharia Geotécnica e Ambiental Ltda
felipe@fgs.eng.br

Jeser Medeiros

Empresa Gaúcha de Rodovias
jeser-medeiros@egr.rs.gov.br

Resumo.

Rodovias exercem um papel extremamente grande no desenvolvimento do Brasil. Concessionárias de rodovia e órgãos rodoviários convivem frequentemente com passivos ambientais e econômicos referentes à processos de instabilidade de taludes rodoviários. Os processos instabilizantes podem ocorrer por diversos motivos, como a falta de investigação geotécnica na fase de projeto, mudanças na geometria original, erosão de material, execução de aterros rodoviários sobre materiais pouco competentes e entre outros fatores. Este trabalho tem o objetivo de estudar os processos de movimentação de massa de um talude rodoviário na ERS-020, na cidade de São Francisco de Paula e apresentar uma alternativa de solução para a estabilização dos movimentos.

Palavras-chave: Estabilização de talude. Movimentos de massa. Rodovia ERS-020.

1. INTRODUÇÃO

As rodovias brasileiras apresentam muitos locais comprometidos ou que são afetados por rompimentos de taludes, escorregamentos e outros fatores

relacionados a movimentos de massas de solo.

Segundo Mattos (2009), é muito comum se encontrar taludes íngremes e elevados, refletindo precárias condições de estabilidade, mas que permanecem intactos por longo tempo, bem como taludes com pequenos desníveis e que sofrem rupturas logo após a sua escavação. Como consequências ocorrem problemas de instabilidade que variam entre escorregamentos pequenos e localizados até catastróficos e que resultam em grandes volumes de solo e rocha, provocando danos pessoais e materiais, além da paralização de atividades operacionais e do tráfego.

Os movimentos de massa são classificados em diversos tipos, de acordo com as características e velocidade do movimento. Os tipos de movimentos mais comuns ocorrentes são os rotacionais, translacionais, rastejos e corridas. Além disso, podem acontecer quedas e rolamentos de blocos de rocha, movimentações de lascas e fatias de solo.

Se por um lado, taludes de cortes com inclinações elevadas representam riscos às rodovias, aterros e plataformas rodoviárias executadas sobre solos pouco competente e passíveis de movimentações rápidas ou lentas

também são problemas em diversas regiões, como em relevos acidentados e que apresentam solos com comportamento coluvionar.

Massas coluviais são solos em condições de estabilidade precárias que pequenos cortes, e mesmo pequenos aterros, são suficientes para aumentar ou desencadear movimentos de rastejo ou rotacionais, cujas velocidades são ainda mais aceleradas, quando saturados, em períodos de elevada precipitação. Existem no Brasil, vários casos de obras rodoviárias implantadas nesses corpos que ocasionaram sérios problemas financeiros e ambientais, segundo Rodrigues (1992).

A construção de aterros sobre massas coluviais é bastante complexa, pois, com o tempo o material do colúvio tende a adensar devido ao peso do aterro e das cargas sobre ele, podendo gerar camadas ou fatias de colúvio com condutividades hidráulicas diferentes, geralmente menores sob o aterro. Dessa forma, a água pode apresentar maior facilidade de penetrar no material coluvionar à montante do aterro do que sair à jusante dele, gerando altas poropressões. A combinação da poropressão com o peso do aterro e das cargas aplicadas sobre ele, associados ao solo com elevados teores de argila podem facilmente romper um solo coluvionar. Porém, também podem acontecer movimentações sem que tenham acontecido intervenções humanas, devido à baixa resistência desses materiais, segundo Perazzolo, 2003.

Este trabalho avaliou a estabilidade de um talude localizado na ERS 020, no município de São Francisco de Paula. No local o aterro rodoviário atinge aproximadamente 6,0 metros de altura sobre uma camada de solo com características coluviais. No mês de julho de 2017 foram observadas trincas no pavimento, gerando pequenos desníveis na pista, a observação foi feita após eventos chuvosos bastante longos. Posteriormente, ainda no ano de 2017 e no ano de 2018 foram observadas novas trincas

no pavimento, indicando novas movimentação.

A Figura 1 mostra a localização do talude sobre uma imagem de satélite. Como dá para perceber na imagem, a rodovia ERS-020 passa por uma região bastante complexa em termos de relevo, apresentando curvas fechadas e subidas íngremes.



Figura 1: Localização do talude.

2. CARACTERIZAÇÃO DO TALUDE

Especificamente no local de estudo existe um pequeno platô por onde a rodovia foi construída. A região à montante e a jusante deste platô apresentam declividades elevadas. Toda a região se encontra bem vegetada por mata fechada e não foram observadas edificações nas proximidades do local. A Figura 2 mostra uma vista geral da área.



Figura 2: Vista geral da área.

Por meio de 5 sondagens mistas realizadas no local foi possível obter o perfil geotécnico. O aterro granular foi executado

com uma altura de aproximadamente 6,0 metros sobre uma camada de solo coluvionar com espessura média de 4,0 metros. Posteriormente foi observado a presença de 5,0 metros de solo residual provavelmente maduro, 6,0 metros de solo residual provavelmente jovem e, por fim, a presença de rocha sã, conforme Figura 3.

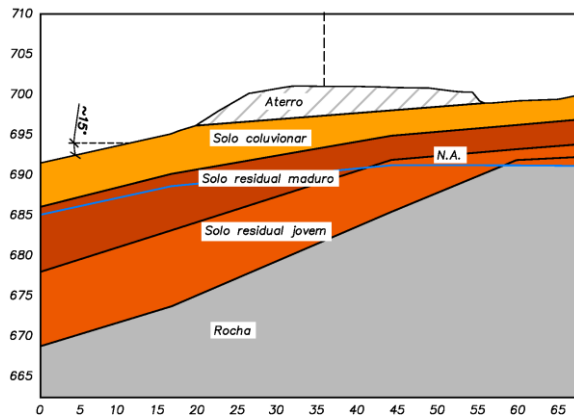


Figura 3: Perfil geotécnico.

Os valores de NSPT para o colúvio apresentam resistência a penetração variável devido a presença de blocos de rochas imersos no solo. Para o solo residual maduro os valores de SPT ficaram em torno de 15, enquanto que para o solo residual jovem os valores ficaram próximos de 25. A partir da campanha de sondagem foi possível identificar a heterogeneidade na resistência dos materiais envolvidos característicos de regiões coluvionares.

Sob ao aterro da rodovia foi observado em bueiro de PVC do tipo *Rib Loc* e diâmetro de 1,0 metro, o mesmo fazia a transposição das águas de montante para jusante da rodovia. Foi possível verificar que aproximadamente na região central do aterro o tubo apresentava grandes deformações e danos estruturais, permitindo o escoamento de água para o interior do aterro. Também foram observadas aberturas na parte superior da tubulação, permitindo a queda de material do aterro para dentro do bueiro. A Figura 4 e a Figura 5 mostram as avarias observadas.



Figura 4: Fissuras na parte inferior e na parte superior do tubo.



Figura 5: Abertura na parte inferior do tubo.

3. ANÁLISE E DEFINIÇÃO DA SOLUÇÃO

O fator de segurança para a solução de estabilização foi definido conforme determina a Norma Brasileira de Estabilidade de Encostas (NBR 11682/2009). Considerando a importância da rodovia, pois a mesma faz a ligação de vários municípios da região dos Campos de Cima da Serra com a região metropolitana de Porto Alegre, o fator de segurança mínimo foi adotado como 1,50.

Em função de haver disponibilidade de espaço lateral, foram priorizadas soluções de mudança da geometria do talude, utilizando o princípio de aliviar as cargas instabilizantes na região da crista e aumentar as cargas estabilizantes na região do pé. Tais soluções apresentam a vantagem de serem de fácil e rápida execução, além de serem relativamente de baixo custo.

Além de ensaios de investigação em campo, foram realizados ensaios de laboratório para se obter parâmetros de resistência dos materiais envolvidos. Devido

a importância do material coluvionar na conjuntura do movimento do talude, foram realizados ensaios de cisalhamento direto inundado em amostras indeformadas retiradas de campo. As tensões normais utilizadas foram de 25kPa, 50kPa e 100kPa. A Figura 6 mostra os resultados obtidos no ensaio de cisalhamento direto para o material coluvionar. Os valores de ângulo de atrito e de coesão foram, respectivamente, de 31° e 9 kPa.

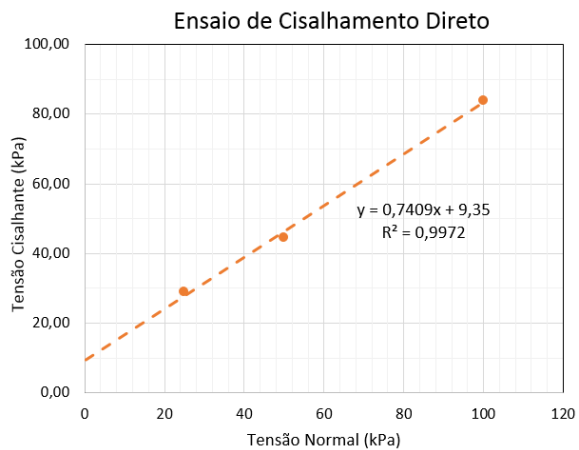


Figura 6: Envolvente de resistência para o solo coluvionar ensaiado.

Como forma de verificar os parâmetros dos materiais e validar o modelo de movimentação do solo, foi realizada uma retroanálise da ruptura. A retroanálise parte do princípio de que no momento da iminência da ruptura as forças estabilizantes foram igualadas às forças instabilizantes. Com a utilização dos parâmetros dos materiais envolvidos no processo, a principal variável da retroanálise consistiu na determinação do nível de água no momento ruptura.

Utilizando informações sobre a posição da trinca e outras informações observadas em campo foi possível validar a retroanálise realizada. A Figura 7 mostra o resultado obtido.

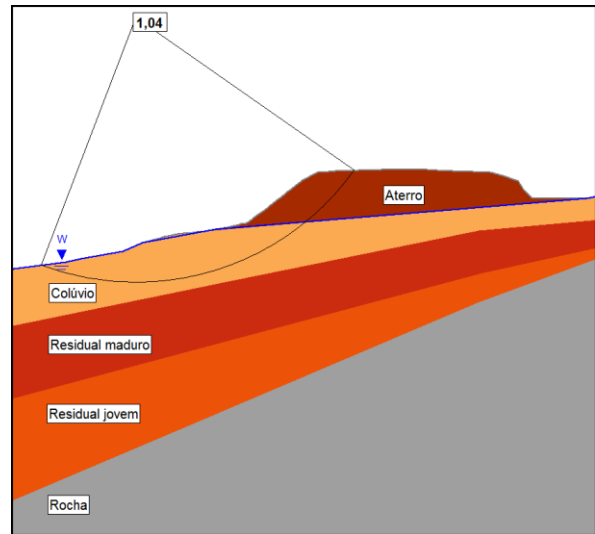


Figura 7: Retroanálise da ruptura.

Os parâmetros dos materiais que foram obtidos na retroanálise e que serão utilizados no dimensionamento da solução são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros dos materiais.

| Material | Peso específico (KN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (KN/m²) |
|----------------------|-------------------------|----------------------|----------------|
| Aterro | 18 | 28 | 4,0 |
| Colúvio | 16 | 26 | 2,0 |
| Solo residual maduro | 16 | 29 | 17 |
| Solo residual jovem | 20 | 29 | 27 |
| Rachão | 20 | 34 | 1 |
| Reaterro | 16 | 26 | 2 |

A definição da geometria da solução foi obtida por meio da análise de equilíbrio limite, com o auxílio do *software Slide*. A solução consiste em uma chave granular profunda, apoiada diretamente na camada de solo residual maduro transpassando a camada de colúvio e posicionada à jusante da rodovia. O material retirado da escavação para a execução da chave granular será aproveitado e compactado na região de jusante da solução empregada. A Figura 8 mostra a verificação da estabilidade para a condição descrita.

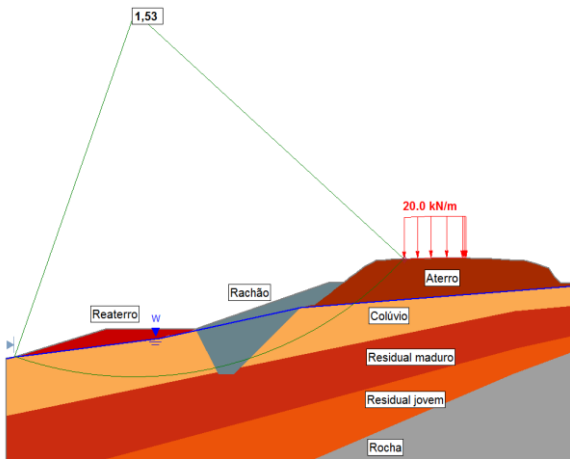


Figura 8: Análise da estabilidade da solução (Morgenstern-Price).

Em toda a região de interface entre o colúvio/aterro com a chave granular foi previsto um filtro de areia grossa envolto em geotêxtil. Na base da solução será instalado um tubo de PVC perfurado com o objetivo de drenar e direcionar corretamente o descarte das águas captadas. A Figura 9 mostra a seção tipo da chave granular.

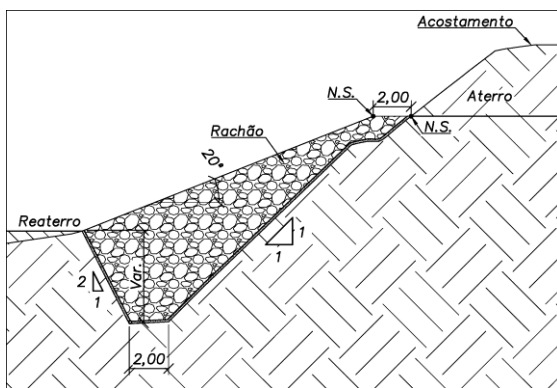


Figura 9: Seção tipo da chave granular.

O reaterro a jusante da solução será executado com o material proveniente da escavação para executar a chave granular e vai funcionar aumentando as forças estabilizadoras. A Figura 10 mostra a seção tipo do reaterro com solo.

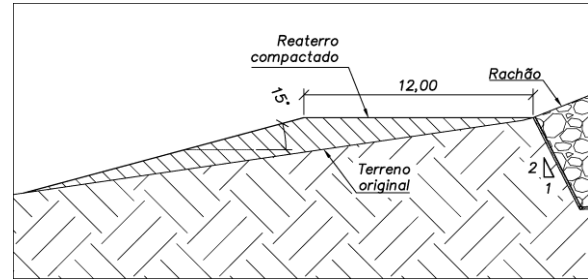


Figura 10: Seção tipo do reaterro.

Para a solução do bueiro danificado foi utilizado em sistema não destrutivo de reabilitação. A solução consiste em fazer a substituição, de jusante para montante, do tubo *Rib Loc* existente por um tubo ARMCO com diâmetro de 1,20 metros, até atingir o local onde foram observadas os danos. No local de encontro entre os dois tubos foi previsto em transpasse de 1,00m e vedação da junta com argamassa de areia e cimento, conforme a Figura 11 e a Figura 12.

O sistema de reabilitação da drenagem utilizando o tubo ARMCO tem a vantagem de ser um método não destrutivo, portanto, não são necessárias aberturas no aterro nem interrupções no trânsito da rodovia para a sua implantação.

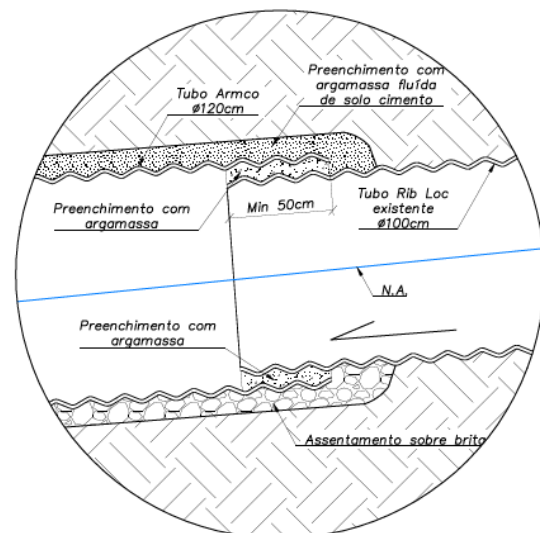


Figura 11: Reabilitação da drenagem com tubo ARMCO.

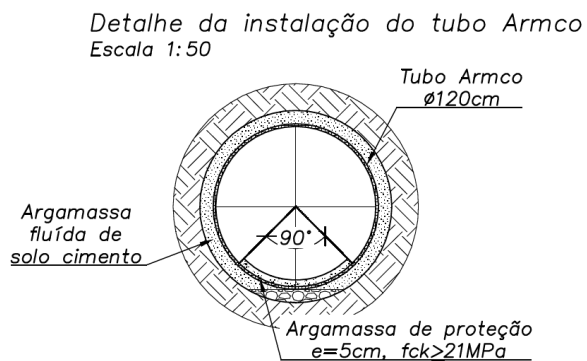


Figura 12: Detalhe da instalação do tubo ARMCO.

4. MONITORAMENTO

Para monitorar e avaliar as condições de cálculos, foram medidos os valores de poropressão no interior do solo, através da instalação de 3 piezômetros do tipo Casagrande aproveitando os furos de sondagens existentes.

Até o momento foram realizadas duas leituras dos valores, mais a verificação do nível da água durante a execução das sondagens. A Figura 13 mostra a posição dos piezômetros em relação ao talude.

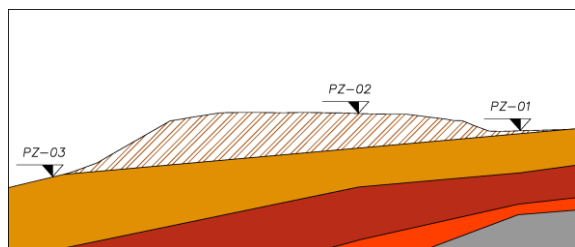


Figura 13: Posição dos piezômetros.

A Tabela 2 mostra os valores piezométricos medidos em campo. Os primeiros valores correspondem ao nível de água realizadas no dia da execução das sondagens. Enquanto que as outras duas medidas foram realizadas após a instalação dos equipamentos. Todas as leituras foram intervalos de tempo seco, sem eventos chuvosos significativos.

Tabela 2: Valores piezométricos medidos.

| Data | PZ-01 (m) | PZ-02 (m) | PZ-03 (m) |
|----------|-----------|-----------|-----------|
| 08/08/18 | 8,33 | 9,66 | 6,52 |
| 23/08/18 | 4,99 | 10,12 | 5,33 |
| 14/04/19 | 5,54 | 11,42 | 6,00 |

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho abordou o estudo de estabilização de um talude rodoviário, da ERS-020, no município de São Francisco de Paula.

A solução proposta se constitui da execução de uma chave granular profunda, composta por rachão, aliada à um reaterro com o material proveniente da escavação para elevação dos fatores de segurança globais e a recuperação e nova drenagem de águas superficiais e internas da região. A solução atendeu as recomendações da Norma Brasileira de Estabilidade de Encostas (NBR 11682/2009).

As soluções de estabilização utilizando a chave granular e o reaterro com solo são intervenções que apresentam rapidez e facilidade executiva, enquanto que a reabilitação do sistema de drenagem utilizando tubos ARMCO não interfere no tráfego da rodovia e não exige aberturas no aterro existente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 11682/2009 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS Estabilidade de Encostas, Rio de Janeiro, 2009.

BISHOP, A. W. & MORGENSTERN, N. Stability coefficients for earth slopes. Géotechnique, P. 129-150, 1960.

FGS Engenharia Geotécnica e Ambiental, Projeto básico de estabilização e contenção do km 82+000 da ERS 020, Porto Alegre, 2018.

MATTOS, K. C. A. Processos de instabilização em taludes rodoviários em solos residuais arenosos: Estudo na rodovia Castello Branco (SP 280), km 305 a 313, Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos/SP, 2009.

PERAZZOLO, L. Estudo geotécnico de dois taludes da formação Serra Geral, RS. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

PINTO, C. S. Curso Básico de Mecânica dos Solos. São Paulo: Oficina de Textos. 2000.

RODRIGUES, R. Massas coluviais: velocidade de deslocamento nas encostas da Serra do Mar. 1º COBRAE, P 357-369, Rio de Janeiro, 1992.