



ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO NA ESTABILIDADE DE UM TALUDE DE CORTE NA BR-116, TAPES - RS

LENON SILVA DE OLIVEIRA¹; PAOLA BRUNO ARAB²

¹Universidade Federal de Pelotas – lenon-oliveira@hotmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – paola.arab@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

A BR-116 é a principal e maior rodovia pavimentada brasileira. Por tratar-se da principal via de interligação entre o estado do RS e o porto de Rio Grande, sua duplicação foi iniciada no ano de 2012. No entanto, devido ao corte de repasses de verba para a finalização do empreendimento, vários trechos da BR-116 tiveram suas obras paralisadas. O grande problema associado a isto foi a exposição de inúmeros taludes de corte ao intemperismo, tendo em vista que suas faces permaneceram expostas sem enleivamento ou qualquer outro tipo de proteção superficial. Os processos de intemperismo tendem a diminuir a resistência mecânica dos taludes, o que pode ser consequência de diversos fatores, dentre eles as características intrínsecas do próprio maciço. Isto, aliado à falta de proteção superficial, pode gerar instabilidades no talude, causando eventos de deslizamentos. Em geotecnia, é comum o uso do coeficiente de segurança para determinar a estabilidade de taludes. Este é dado pelo quociente entre a resistência ao cisalhamento do solo e a tensão cisalhante atuante ou resistência mobilizada (MASSAD, 2010). O trabalho do engenheiro responsável pela estabilidade de qualquer talude é elaborar o projeto da obra respeitando o coeficiente de segurança necessário para a estabilidade do maciço (DAS, 2007). O valor mínimo deste parâmetro, necessário em cada tipo de obra, é definido pela norma ABNT NBR 11682 (2009), que leva em consideração os danos causados a vidas humanas, perdas materiais e ambientais. Atualmente, devido ao aumento do poder computacional disponível, é possível realizar, em um ambiente virtual, todos os cálculos que antigamente eram feitos de maneira manual. Através de *softwares* geotécnicos é possível realizar um grande número de interações entre materiais geológicos e geometrias de taludes. Com isso, há possibilidade de gerar simulações previamente à obra, adequando-se, se necessário, às condições estabelecidas em norma. Além disso, quando uma obra não obtém sucesso, é possível realizar uma retroanálise, de maneira a identificar as causas potenciais de falha.

Diante do exposto, o presente trabalho busca analisar a influência da resistência ao cisalhamento na estabilidade de um talude de corte presente na BR-116, próximo ao município de Tapes – RS, por meio do software OPTUM G2.

2. METODOLOGIA

Primeiramente, foram consultadas todas as informações disponíveis na bibliografia sobre o talude analisado. Esse estudo foi necessário para a aquisição de dados geotécnicos de campo e laboratório do material que compõe o talude, bem como analisar informações estruturais e processos erosivos observados em campo pelos autores dos trabalhos anteriores.

As análises geomecânicas foram realizadas no *software* OPTUM G2 2020, através do uso de licença acadêmica gratuita. A geometria de talude adotada no

modelo foi a 1:1, que confere ao corte uma inclinação de 45° , angulação geralmente utilizada em obras desse gênero em solos. Para a geração dos modelos, foi necessária a utilização dos valores da coesão e ângulo de atrito do horizonte C, que foram obtidos em Ziebell (2017) por meio do ensaio de cisalhamento direto. Adotou-se um talude homogêneo, composto apenas por horizonte C, pois este ocorre muito mais espesso em comparação aos horizontes A e B. Portanto, pode ser considerado como o material de sustentação do maciço. Os valores de coesão da amostra indeformada com umidade natural e inundada foram respectivamente 25,1 KPa e 12,3 KPa. Para o ângulo de atrito foi utilizado $45,8^\circ$ para a condição úmida natural e $40,8^\circ$ para a situação inundada. O peso específico seco utilizado no *software* foi variado entre 16, 17 e 18 KN. Para o peso específico saturado foram utilizados os valores 19, 20 e 21 KN. Esses intervalos de peso específico para areias foram extraídos de Godoy (1972, apud CINTRA et al., 2011). Além da análise geomecânica, foi realizada uma análise cinemática do talude com base nas fraturas medidas em campo por Ziebell (2017) e na orientação média do talude, que foi extraída através do Arcmap 10.5. Posteriormente, essas medidas foram inseridas no *software* StereoNet e foi feita a análise da influência das fraturas na instabilidade da obra. Por fim, em ambiente SIG, foi analisada a geomorfologia local, com enfoque na localização de indicadores do nível do lençol freático local, como corpos aquosos naturais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme observado na revisão bibliográfica, o talude localizado nas coordenadas $-30^\circ 43' 11.35''$; $-51^\circ 36' 31.48''$ apresenta como litologia, um monzogranito com pórfiros de feldspato potássico, que faz parte do Complexo Granítico Pinheiro Machado (PHILIPP, 2002). O talude é composto por horizontes gradacionais R, C, B argiloso e A pouco orgânico (ZIEBELL, 2017). A exposição do talude de corte aos processos intempéricos foi fator determinante na ocorrência de extremos processos erosivos, geradores de ravinas e, em alguns casos, voçorocas. Segundo Ziebell (2017), esses processos ocorreram devido à exposição do horizonte saprolítico altamente friável. Pela falta de proteção superficial e através da erosão do horizonte C e, há a maior ocorrência de processos de solapamento do topo do talude de corte. No entanto, a literatura não apresenta modelos representativos deste talude levando-se em consideração análises de estabilidades clássicas. Portanto, através dos parâmetros de resistência disponíveis na bibliografia, foi possível realizar a simulação computacional do talude, utilizando uma inclinação de 45° , padrão geralmente adotado em obras desse gênero.

Os modelos gerados no OPTUM G2 apresentaram coeficientes de segurança variando de 1,551 a 2,346; conforme demonstrado na tabela 1. Percebe-se que o ângulo de atrito apresentou pouca variação da condição de umidade natural para a inundada. No entanto, há uma redução considerável na coesão dos materiais. Essa redução de coesão é determinante em um menor coeficiente de segurança oferecido pelo talude. Porém, em todas as análises, este parâmetro demonstra que as forças atuantes, que são aquelas desfavoráveis à estabilidade, são menores do que as forças de resistência, favoráveis à sustentação. Portanto, o talude apresenta estabilidade, quando analisado no âmbito da resistência ao cisalhamento. Segundo a norma ABNT NBR 11682:2009, a obra em questão se enquadra no grau de segurança médio, portanto, necessita de um fator de segurança de 1.3, que foi atendido em todas as

simulações realizadas. Com base nisso, pode-se assegurar que o condicionante (ou condicionantes) de instabilidade que ocorre na área não é relacionado à baixa resistência ao cisalhamento do solo.

Tabela 1 – Dados utilizados no OPTUM G2 e seus respectivos valores do coeficiente de segurança. Fonte: Os autores.

Tipo de amostra	Ângulo do talude	Coesão (KPa)	Ângulo de atrito	Peso específico seco (KN)	Peso específico saturado (KN)	Coeficiente de segurança
Umidade Natural	45°	25,1	45,8°	16	19	2,3
				17	20	2,2
				18	21	2,2
Inundado	45°	12,3	40,8°	16	19	1,6
				17	20	1,5
				18	21	1,5

Buscando definir quais os parâmetros causadores de instabilidade no talude, foi feita uma investigação geoestrutural do maciço. A análise estrutural dos planos de fratura (figura 1) extraídas em campo por Ziebell (2017), demonstrou que estas apresentam inclinação variando aproximadamente entre 60 e 80°. Sendo assim, apresentam ângulos maiores do que a inclinação do talude, que é de 45°. No âmbito de instabilidade por ruptura planar, fraturas com inclinação superior ao de inclinação do corte não apresentam problemas associados, pois não afloram na face do talude voltada à rodovia. Além disso, outro aspecto importante é a direção das estruturas, sendo problemáticos os casos em que a direção do talude é aproximadamente paralela às fraturas. Na área de estudo, as fraturas, em linhas gerais, apresentam três direções preferenciais: NW, NNE e ENE, sendo assim, não são paralelas à face do talude, que têm direção NE. No entanto, vale ressaltar, que mesmo não havendo padrões problemáticos quanto à orientação estrutural na análise cinemática, estas fraturas servem como caminho preferencial para a percolação de água superficial e subterrânea, o que intensifica os processos de intemperismo e erosão no interior do talude de corte.

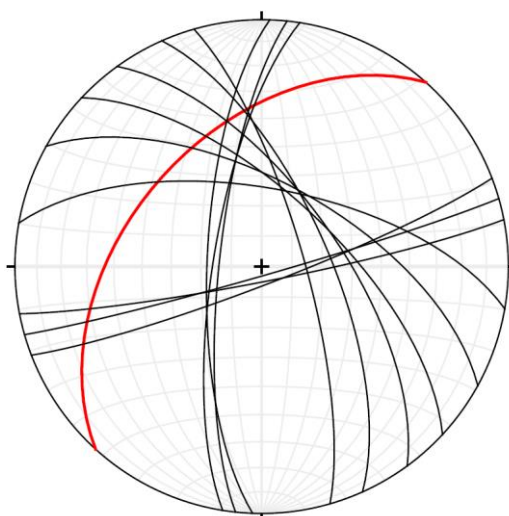


Figura 1 – Estereograma contendo orientação das fraturas (linhas pretas) e do talude (linha vermelha). Fonte: modificado de Ziebell (2017).



A análise da geomorfologia local demonstrou que próximo ao talude de corte, em sua porção posterior, há um corpo aquoso não artificial, evidenciando que a área em questão apresenta nível do lençol freático local raso. Isto sugere a possibilidade de influência de forças de percolação d'água consideráveis no interior do talude, podendo levar à intensificação da remoção de partículas de solo não somente em porções superficiais, mas também no interior do maciço, culminando no fenômeno conhecido como erosão interna. Logo, além da proteção superficial, torna-se necessária a execução de um sistema de drenagem adequado no talude estudado, visando o redirecionamento do fluxo hídrico para evitar novos eventos de instabilidade. No entanto, atualmente existe apenas um sistema de drenagem superficial localizado e simples na área, o que não é adequado. Atualmente, mesmo após obras de retaludamento feitas no ano de 2017, processos erosivos intensos voltaram a ocorrer no local, notando-se, inclusive, a presença de matacões expostos na face do talude, os quais podem culminar em outros tipos de instabilidade futuramente, como rolamento.

4. CONCLUSÕES

Conclui-se que o condicionante gerador de instabilidade do talude não possui relação com a resistência ao cisalhamento do solo, assim como não há influências significativas do padrão de fraturas quanto à análise cinemática. Porém, estas fraturas servem como caminho preferencial para a percolação de água, causando processos erosivos intensificados. Há a necessidade de estudos complementares de campo referentes a essa obra, visando um maior conhecimento da dinâmica de percolação de água no interior do talude.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11682: Estabilidade de encostas**. Rio de Janeiro, p. 18. 2009.

DAS, B. M. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. São Paulo, SP: Thomson Learning, 2007.

GODOY, N. S. **Fundações: Notas de Aula, Curso de Graduação**. São Carlos, SP: Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade Federal de São Paulo, 1972.

MASSAD, F. Análise de instabilidade de taludes. **Obras de terra: curso básico de geotecnia**. Oficina de textos, 2010. Cap.3, p.63-81.

PHILIPP, R.P.; MACHADO, R.; NARDI, L.V.S; LAFON J.M. O magmatismo granítico Neoproterozóico do Batólito Pelotas no sul do Brasil: novos dados e revisão da geocronologia regional. **Brazilian Journal of Geology**, v. 32, n. 2, p. 277-290, 2002.

ZIEBELL, A. **Mapeamento Geotécnico dos principais condicionantes de ruptura de taludes de corte da duplicação da BR-116 entre São Lourenço do Sul e Barra do Ribeiro (RS)**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.