

Retroanálise de ruptura de talude em área urbana e proposta de estabilização.

Antônio Möller Malheiros
PUC Minas, Belo Horizonte, Brasil, antoniomalheiros@gmail.com

Thiago Cruz Bretas
PUC Minas, Belo Horizonte, Brasil, tbretas@gmail.com

RESUMO: Neste estudo é analisada a estabilidade de uma encosta em área urbana na cidade de Belo Horizonte, inserida em um bairro nobre da cidade, onde foi observada a ocorrência de uma ruptura em cunha, o que gerou danos a duas estruturas de contenção na mesma encosta e passou a oferecer risco às residências adjacente e aos pedestres e motoristas que trafegam na via pública abaixo da encosta. Para analisar a estabilidade da encosta foi elaborado um modelo geotécnico elaborado com base em uma campanha de investigação geotécnica, levantamento topográfico e estudos de campo e elaborada através do programa Slide da Rocscience. Este modelo permitiu analisar a estabilidade da encosta através do método de equilíbrio limite e simular soluções para a estabilização. Estas simulações permitiram propor uma solução para estabilizar a encosta e eliminar os riscos aos moradores da região.

PALAVRAS-CHAVE: Rupturas, Estabilidade de talude e Taludes.

1 INTRODUÇÃO

Taludes é a denominação que se dá a qualquer superfície inclinada de um maciço de solo ou rocha. Ele pode ser natural, também denominado encosta, ou construído pelo homem, como, por exemplo, os aterros e cortes. (Gercovich, 2016)

Escorregamentos de taludes, tanto naturais como construídos, são uma importante questão de segurança para a Engenharia Civil, sendo um fator controlador de projetos e até mesmo questão de ordem pública quanto à ocupação do solo urbano.

As rupturas podem ocorrer condicionadas estruturalmente (rupturas planares, em cunha e tombamentos) ou podem ocorrer com padrão estrutural desordenado (rupturas circulares e não circulares).

O método de análise por equilíbrio limite consiste na determinação do equilíbrio de uma massa ativa de solo ou rocha, a qual pode ser delimitada por uma superfície de ruptura circular, poligonal ou de outra geometria qualquer. O método assume que a ruptura se dá ao longo de uma superfície e que todos os elementos ao longo desta superfície atingem a condição de FS, simultaneamente.

Em geral, as análises são realizadas comparando-se as tensões cisalhantes mobilizadas com resistência ao cisalhamento. A precisão destes modelos dependem da qualidade do levantamento topográfico para determinar a correta geometria da encosta analisada e de uma eficiente campanha de sondagens envolvendo diferentes métodos e a coleta de amostras de solo e rocha para permitir a correta determinação dos parâmetros geotécnicos a serem inseridos no modelo.

Este trabalho tem como objetivo criar um modelo geotécnico de uma encosta inserida em área urbana através da análise dos resultados das campanhas de sondagens realizadas na área e do levantamento topográfico, em seguida serão propostas soluções para a estabilização da encosta analisada.

2 METODOLOGIA

Para atingir aos objetivos propostos, será criado um modelo geotécnico através da utilização do software Slide da RocScience, que é hoje uma das ferramentas mais utilizadas na elaboração desse tipo de modelo através da utilização do método de equilíbrio limite de taludes o qual busca a superfície crítica de ruptura para determinar o fator de segurança (FS).

Após a criação do modelo geotécnico será realizada uma retroanálise para determinar a coesão da principal camada de solo do modelo no momento da ruptura. Devido ao fato da forma da cunha de ruptura do modelo a ser analisado estar bem aderente à ruptura real e como o parâmetro coesão tem uma variabilidade intrínseca maior que a do ângulo de atrito, optou-se por analisar no presente estudo apenas a variação dos parâmetros da coesão.

Em seguida, serão realizadas simulações com propostas de solução para estabilizar a encosta até atingir um nível de segurança dentro dos padrões normativos.

3 ESTUDO DE CASO

3.1 Localização Da Área

A área em estudo localiza-se no bairro Mangabeiras, no município de Belo Horizonte em um terreno localizado entre a ruas Bady Salum e rua João Camilo de Oliveira Torres. A Figura 1 apresenta uma imagem de satélite com a localização da região analisada.

A região é uma área residencial de alto padrão da cidade de Belo Horizonte com predominância de casas de luxo construídas em terrenos com grande declividade, em muitos casos sem os devidos cuidados para garantir a estabilidade das edificações, o que gera há anos uma série de eventos de escorregamentos que causam transtornos como obstrução de vias e a danificação de residências. Estes eventos representam um risco à população local.



Figura 1. Imagem de satélite do terreno onde se localiza a encosta analisada (Google, 2019).

3.2 Histórico

O terreno analisado não possui edificações e engloba dois lotes, sendo um acessado pela rua Engenheiro Bady Salum a montante e o outro acessado pela rua João Camilo de Oliveira Torres a jusante.

O terreno possui uma extensão aproximada de 85 metros de comprimento, largura variável e um desnível total de 40 metros. Há duas estruturas de contenção ao longo da encosta, sendo elas um muro tipo Crib-Wall que divide os dois lotes e um muro de contenção em concreto armado na base do talude. Em junho de 2018 ocorreu uma ruptura em cunha do terreno que danificou significativamente estas duas estruturas conforme ilustrado no croquis sem escala a seguir.

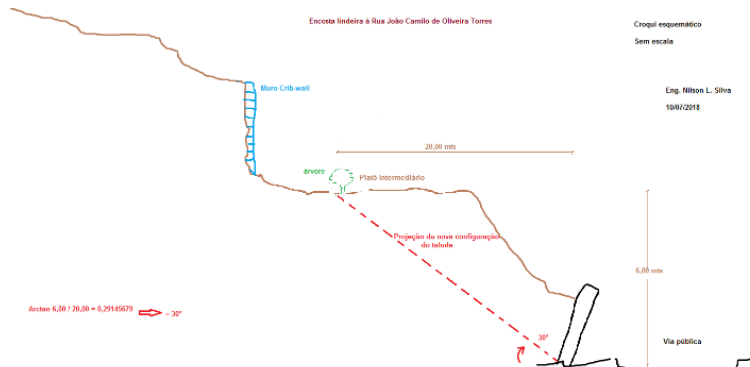


Figura 2. Croquis sem escala de seção do terreno analisado apresentando as estruturas de contenção.

A figura 3 apresenta os danos sofridos em ambas as estruturas de contenção após a ruptura do talude, sendo que na figura 4 percebe-se que na base da estrutura do muro de contenção em concreto armado foi suspensa após a ruptura.



Figura 3. Muro de concreto armado semi-tombado na base da encosta e muro Crib-Wall danificado ao fundo da imagem (O autor, Julho/2018).



Figura 4. Muro de concreto armado semi-tombado na base do talude (O autor, Julho/2018).

As Figuras 5 e 6, apresentam os danos no muro tipo Crib-Wall, sendo que na figura 5 é possível perceber claramente a cunha de ruptura a montante da estrutura ao lado direito da imagem.



Figura 5. Muro tipo Crib-Wall após a ruptura do talude (O autor, Julho/2018).



Figura 6. Muro tipo Crib-Wall após a ruptura do talude (O autor, Julho/2018).

Durante a inspeção foi possível observar claramente os limites da borda da cunha de ruptura. As figuras 7 e 8 evidenciam as trincas que delimitam as bordas da cunha de ruptura na região localizada entre as duas estruturas.



Figura 7. Trinca longitudinal no terreno. (O autor, Julho/2018).



Figura 8. Trinca transversal no terreno. (O autor, Julho/2018).

3.3 Caracterização Geotécnica

Para criar o modelo geotécnico do talude foi realizado um levantamento topográfico de toda a área objeto do estudo e executados sete (7) furos de sondagem, sendo cinco (5) sondagens a percussão tipo SPT localizadas na região menos elevada da encosta, atrás do muro de concreto armado e duas (2) sondagens mistas localizadas a montante das duas estruturas de contenção na área mais elevada da encosta, em seguida foram traçadas duas seções para gerar o modelo geotécnico.

A Figura 9 a seguir apresenta a distribuição dos furos de sondagem no terreno e as duas seções analisadas.

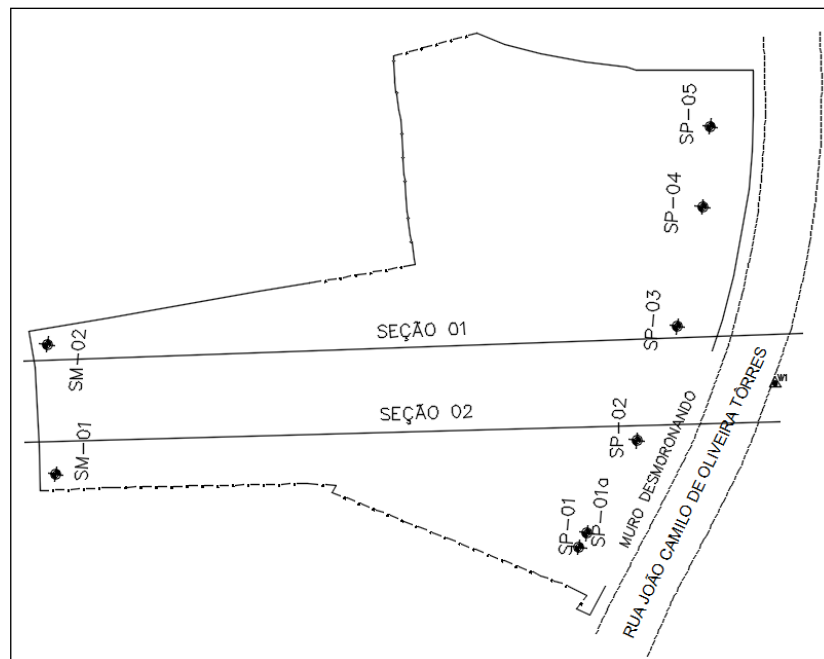


Figura 9. Distribuição das sondagens no terreno.

Percebe-se na Figura 9 que as sondagens foram executadas apenas nas extremidades das seções, de forma que o perfil gerado foi extrapolado na região central, tendo que inferir uma faixa muito extensa de solo, gerando incertezas na caracterização do maciço.

Através da análise das sondagens e do levantamento topográfico realizado na encosta foi possível elaborar o modelo geotécnico apresentado na Figura 10 a seguir.

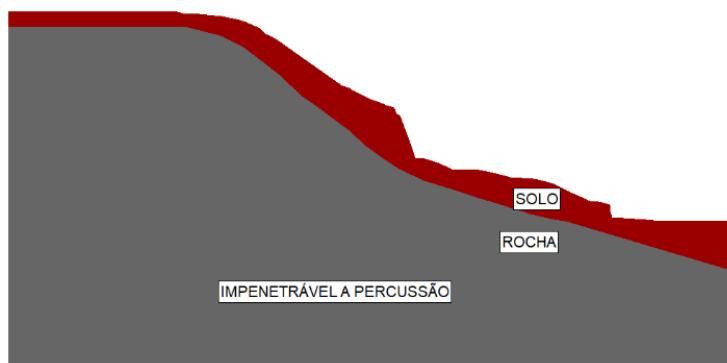


Figura 10. Modelo geotécnico gerado para a Seção 02. (o autor, 2019)

A primeira camada identificada como SOLO tem a predominância de solo com a distribuição granulométrica: areia silto-argilosa. A camada identificada como ROCHA tem a predominância da rocha metamórfica Itabirito.

A tabela 1 a seguir apresenta os parâmetros atribuídos a cada camada do modelo geotécnico, que foram definidos com base na experiência do autor através da avaliação dos resultados da sondagens realizadas.

Tabela 1. Parâmetros adotados no modelo Geotécnico.

Camada	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)
Solo	20	-	30
Rocha	22	50,0	28

3.4 Retroanálise

O objetivo da retroanálise é definir o parâmetro da coesão na camada de solo apresentada na Figura 10. Conforme relatado anteriormente, foram identificadas em campo duas estruturas danificadas devido à ruptura global observada na encosta. A retroanálise foi realizada com foco na região onde se encontra a estrutura remanescente do muro Crib-wall, tendo em vista que esta é a região de maior desnível e portanto de maior instabilidade.

Foram atribuídos os parâmetros apresentados na Tabela 1, os cálculos foram realizados utilizando o software Slide 6.0 da rocscience através do método GLE / Morgenstern-Price.

O resultado da retroanálise indicou que a coesão da camada de solo no momento da ruptura era $c=14,25$ kPa.

A Figura 11 a seguir apresenta o resultado da análise de estabilidade realizada com os parâmetros informados na Tabela 1 acrescentados da coesão encontrada na retroanálise, ou seja, os parâmetros do momento da ruptura da encosta.

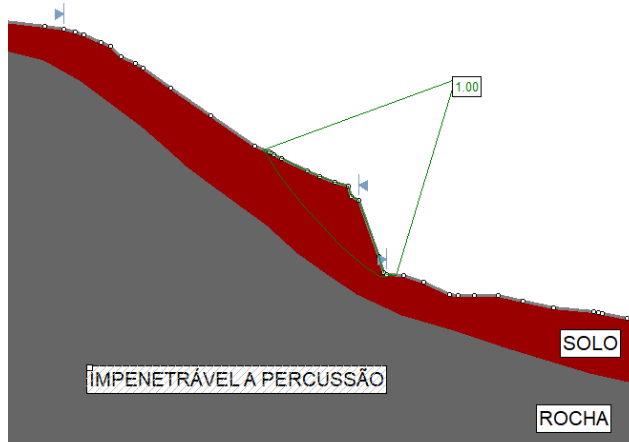


Figura 11. Modelo geotécnico gerado para a Seção 02. (o autor, 2019)

4 PROPOSTA DE SOLUÇÃO

Com o objetivo de propor uma solução para estabilizar a encosta foram simuladas duas intervenções que propõem uma alteração da geometria do talude. Sendo que na primeira são propostos cortes que suavizam a declividade da encosta. Neste cenário todo o material escavado seria removido definitivamente da encosta.

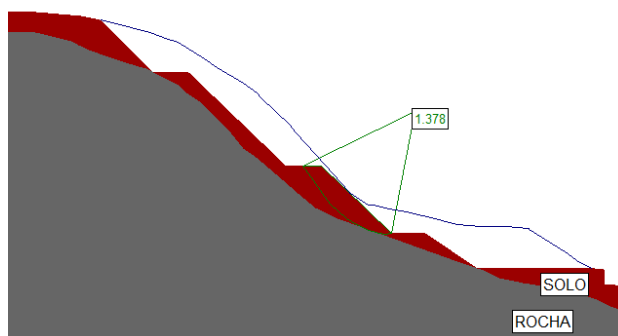


Figura 12. Proposta de solução com alteração da geometria da encosta (o autor, 2019)

Esta proposta é suficiente para estabilizar o talude, porém não atinge o fator de segurança mínimo exigido pela norma NBR 11682/2019, de 1,5. Portanto, foi analisada uma nova proposta onde parte do material escavado seria compactado e assim seria formada uma nova camada de aterro compactado.

O material desta camada de aterro compactado deve atingir os parâmetros apresentados na tabela 2. Assim como no modelo anterior, a coesão adotada na camada de solo foi a encontrada na retroanálise.

Tabela 2. Parâmetros adotados na solução.

Camada	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)
Solo	20	14,25	30
Aterro Compactado	20	15	30
Rocha	22	50	28

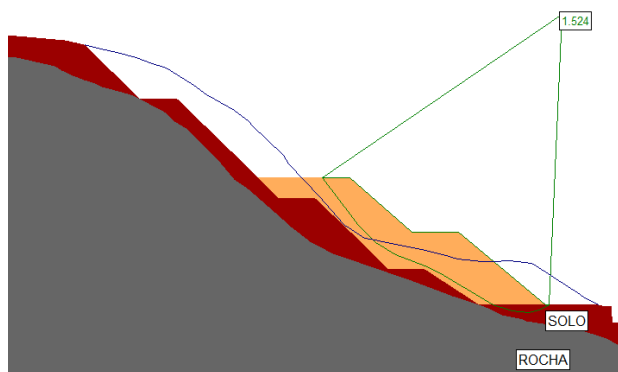


Figura 13. Proposta de solução com alteração da geometria da encosta e aplicação de camada de aterro compactado (o autor, 2019)

O êxito desta solução dependerá da correta seleção e compactação do material de aterro de modo a atingir os parâmetros especificados. Esta nova proposta de solução garante a estabilidade da encosta atingindo um valor superior ao fator de segurança de 1,5 exigido na norma NBR 11682/2009 para casos em que há riscos de comprometer a segurança de vidas humanas, que se aplica à encosta analisada por esta estar localizada a montante de residências.

5 CONCLUSÃO

O resultado das análises de estabilidade realizadas através do modelo geotécnico elaborado com base na investigação geotécnica realizada, no levantamento topográfico e nas visitas de campo realizadas pelo autor, mostram que a solução de alterar a geometria da encosta somada à aplicação de uma camada de aterro compactado proveniente da própria encosta é suficiente para garantir a estabilidade da encosta.

No entanto, é importante ressaltar as limitações do modelo, tendo em vista o fato de que não foram realizados ensaios de caracterização do solo, o que limita a qualidade na determinação dos parâmetros geotécnicos e a falta de investigação geotécnica na área central da encosta analisada reduz a precisão da geometria das camadas do modelo.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Infanti JR. N. e Fornasari Filho, N. (1998) - *Processos de Dinâmica Superficial*. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. de. Geologia de Engenharia. ABGE-CNPq-FAPESP. São Paulo. 140p.

Gerscovich, D M. S. (2016) *Estabilidade de Taludes*, Oficina de Textos, Cubatão, 192 p.

Fiori, Alberto Pio. (2016) *Estabilidade de Taludes – exercícios práticos*, Oficina de Textos, São Paulo, 175p.

NBR 11682: *Estabilidade de encostas*. Rio de Janeiro 2009 ABNT

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11682: *Estabilidade de encostas*. Rio de Janeiro 33 p.