

Estabilidade de talude rodoviário com base em geoprocessamento e análise de equilíbrio limite por método probabilístico

Marianne Bayerl Neves Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, mariannebneves@hotmail.com

Leandro Canezin Guideli Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, leandro.guideli@gmail.com

Larissa de Brum Passini Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, larissapassini@hotmail.com

Alessander Christopher Morales Kormann Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, alessander@ufpr.br

Vítor Pereira Faro Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, vitorpereirafaro@gmail.com

RESUMO: A avaliação da estabilidade de taludes localizados próximo a rodovias é de grande importância para manutenção da segurança dos usuários e da população lindeira. As consequências da ocorrência de movimentações envolvem perdas econômicas diretas e indiretas. Dentro deste contexto, realizou-se uma análise de estabilidade em um talude localizado na Rodovia Régis Bittencourt que apresentou movimentações e, atualmente, se encontra estabilizado por meio de uma contenção. O objetivo do trabalho foi verificar se, nas condições atuais do local, o talude se apresenta seguro. Para tanto, utilizou-se uma análise probabilística de estabilidade por meio de um algoritmo que utiliza o método de Monte Carlo em software de geoprocessamento. Em paralelo, realizou-se uma avaliação da probabilidade de ruptura por meio do método de equilíbrio limite em software específico. Os resultados mostraram que as probabilidades de falha se encontram na mesma ordem de grandeza, confirmando a segurança atual do local de interesse.

PALAVRAS-CHAVE: Suscetibilidade geotécnica, probabilidade de ruptura, contenção, modelagem numérica.

1 INTRODUÇÃO

A verificação da estabilidade de taludes é um problema frequente na prática de engenharia. Quando se trata de taludes localizados próximo a rodovias, essa atividade se torna importante para manutenção da segurança dos usuários e da população lindeira. As encostas da Serra do Mar, um sistema de montanhas que se estende por mais de 1500 km ao longo da costa sul e sudeste do Brasil, são regularmente afetadas por movimentação de massa, causando um grande número de vítimas e perdas econômicas. Por isso, deve-se avaliar suas condições de estabilidade no momento de implementação de uma obra (VIEIRA et al, 2018; ALMEIDA e CARNEIRO, 1998).

A estabilidade de um talude envolve vários fatores, que incluem topografia, parâmetros mecânicos do solo, condições hidrológicas e os efeitos da ação antrópica alterando o estado natural do talude (VARNES, 1978).



Neste contexto, insere-se a Rodovia Régis Bittencourt (BR-116 / PR-SP), que liga a cidade de Curitiba a São Paulo e que se localiza dentro de uma área delimitada pela Serra do Mar. A faixa de domínio da rodovia apresenta uma grande quantidade de ocorrências de movimentos de massa, que correspondem a 92% das ocorrências ambientais registrados em toda sua extensão (APRB, 2019).

Ao longo da rodovia, existe um ponto, o qual apresenta um histórico de movimentações bastante extenso. A última tentativa de estabilização desse local consistiu na introdução de uma cortina atirantada para a contenção da encosta na região da rodovia.

Como forma de entender a distribuição espacial dos escorregamentos, elaborou-se um mapa de probabilidade de ruptura do local, por meio de geoprocessamento, com os dados de topografia anteriores à execução da cortina atirantada. Na sequência, foram realizadas análises de estabilidade global por meio de equilíbrio limite no software SVSLOPETM (SOILVISION SYSTEMS, 2019), usando os conceitos probabilísticos da análise para os casos da topografia do terreno antes da contenção, execução da avaliando-se я contribuição da cortina atirantada na estabilidade e melhora do nível de segurança do local de estudo após a realização da última intervenção.

A implementação de análises probabilísticas para a avaliação da melhora das condições de segurança se fez necessário, uma vez que a determinação dos parâmetros mecânicos do solo está repleta de incertezas, como o uso de correlações empíricas, a representatividade dos pontos ensaiados e a delimitação entre tipos de solo distintos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

Conforme supracitado, o local de estudo está inserido dentro do contexto geológico-

geotécnico da Serra do Mar, no entorno da rodovia Regis Bittencourt (BR 116). Devido ao histórico de movimentações no ponto de estudo, fez-se necessário que ocorressem intervenções para estabilizar a massa de solo.

A situação se torna mais crítica pelo fato de não apenas haver a rodovia sofrendo influência dos problemas de estabilidade, como também um viaduto (Figura 1b). Este, devido às movimentações de solo ocorridas, também precisou passar por intervenções para recuperação de sua estrutura. Essas intervenções, entretanto, não foram suficientes para garantir a integridade da superestrutura. Devido a isto, houve a necessidade de se implementar um desvio à jusante do viaduto, por onde hoje circula o tráfego local (Figura 1).



Figura1. Imagem de satélite do local de estudo (Google, 2016): (a) pista de desvio onde atualmente trafegam os veículos, (b) pista do viaduto desativado, e (c) pista de rolamento utilizada anteriormente à execução do viaduto.

As causas de instabilidade na massa de solo local baseiam-se em algumas características geomorfológicas do local. A primeira delas trata-se da grande influência do nível d'água, o qual chegou no passado a ser aflorante, anteriormente à execução de drenos profundos. Outro fator é a presença de um aterro de grande espessura, o qual foi necessário para construção da primeira pista de rolamento, e onde hoje está localizado o desvio. Este aterro está localizado



entre dois planos de um talvegue, conforme ilustrado na Figura 2, sendo este um fator crítico para ocorrência de grandes fluxos de água no local, por se tratar de um caminho de escoamento preferencial. Por fim, o fato do solo deste aterro ter em sua composição fração de mineral micáceo também é um fator que aumenta a sua instabilidade. Este mineral é reconhecidamente como sendo fator de redução da resistência ao cisalhamento do solo (SOUSA PINTO E NADER, 1991; FONSECA et al., 2005).



Figura 2. Localização do aterro entre os planos do talvegue

Atualmente, o desvio por onde ocorre o fluxo de veículos da rodovia está numa condição mais estável devido à cortina atirantada, cuja implementação foi finalizada em 2017. Além disso, foram instalados no talude drenos profundos, com saída na cortina.

Com base em dados topográficos do local, elaborou-se um Modelo Digital do Terreno (MDT), como é possível verificar na Figura 3. Observa-se que existe uma variação de cota igual a 32,4 metros. A área apresentada corresponde ao aterro mais uma região de solo residual, que o circunda. A delimitação entre os tipos de solo se encontra representada pela linha tracejada das Figuras 3 e 4.

As análises de equilíbrio limite foram realizadas na seção AA', ilustrada também nas Figuras 3 e 4, onde se verificam mudanças abruptas de cotas. Essa seção foi escolhida por se localizar no centro da área do aterro, onde a contenção foi construída.



Figura 3. Modelo Digital do Terreno

O mapa de declividades (mostrado na Figura 4) aponta valores de inclinação que chegam a 50°, justamente na região que recebeu posteriormente as obras de contenção. A presença dos valores elevados de declividade na região do aterro se tornou condição desfavorável para sua estabilidade.



Figura 4. Mapa de declividade do terreno

2.2 Caracterização do solo local

O local de estudo está inserido dentro do contexto geológico entre Complexo do Atuba e a Formação Turvo-Cajati. Tendo no primeiro contexto como formação local predominante o Gnaisse bandado do Azeite, e no segundo uma Unidade Paragnáissica (FALEIROS e PAVAN, 2013). Dentro destas áreas, de maneira semelhante ao encontrado no contexto da Serra



do Mar como um todo, estão tipicamente presentes formações de solo residual, ou ainda sedimentar, principalmente colúvios e tálus (FALEIROS, 2008).

Mais especificamente, no local de interesse deste estudo, foram encontradas ocorrências de solo residual, assim como de uma camada de aterro com dimensões expressivas, conforme supracitado.

Estas informações foram refinadas por meio de realização de ensaios de campo, com 12 sondagens mistas (SPT e sondagens rotativas). Estes ensaios indicaram um subsolo caracterizado pela presença de aterro superficial, cujas propriedades apresentam uma grande variabilidade espacial. A constituição da camada de aterro é de silte argiloso pouco arenoso, predominantemente micáceo, com consistência variando de muito mole a duro, e ainda com trechos havendo presença de pedregulhos. A espessura da camada de aterro varia de 4 a 17 m com valores de N_{SPT} variando entre 1/20 (golpe/cm) até 30/15 (golpe/cm).

Abaixo da camada de aterro, encontrou-se uma camada de solo residual, constituído por silte arenoso pouco argiloso. A espessura desta camada teve também grande variabilidade, indo desde 5 até 22 m. Apontaram-se nesta camada valores de N_{SPT} de 10 até 30, novamente indicando grande heterogeneidade do solo local.

A camada rochosa encontrada, constituída predominantemente por gnaisse, mostrou a presença de dois litotipos básicos: gnaisse de textura fina cinza escura e biotita gnaisse. Menos frequentemente, encontrou-se micaxisto e também quartizo. A profundidade rochosa estende-se até o ponto final finais das sondagens (aproximadamente de 35 m a partir da superfície).

O nível d'água, detectado através das sondagens, teve grande variação, sendo detectado desde a superfície, em sondagens localizadas abaixo do talude, até 12 m de profundidade, em sondagens de cotas mais elevadas.

Por meio dos resultados destes ensaios, foi elaborado o perfil geotécnico característico do

local, conforme ilustrado na Figura 5.



Figura 5. Perfil geotécnico obtido por meio dos ensaios de SPT.

Ainda tendo como base os valores de N_{SPT} obtidos nestes ensaios, foi possível realizar uma estimativa do valor de ângulo de atrito para as camadas de solo. Utilizando as equações propostas por De Mello (1971) e Teixeira (1996), obtiveram-se os valores característicos que estão apresentados na Tabela 1. Note-se que para o solo residual, chegou-se a valores muito elevados de ângulo de atrito. Isto se dá devido ao fato de as correlações serem teorizadas para solo sedimentares. Dessa maneira, estes valores foram tratados com a devida cautela.

Tabela 1. Valores de ângulo de atrito obtidos para as camadas de solo por meio de corelações do SPT

Parâmetro	<u>.</u>	Solo	
T drametro		Aterro	Residual
Ângulo de atrito (graus)	Média	28,5	46,1
	Desvio Padrão	5,7	8,6
	Máximo	46,7	52,9
	Mínimo	15.0	21.7

Além dos ensaios de SPT, foram também realizados ensaios de cisalhamento direto em amostras indeformadas provenientes da camada de aterro. Nestes ensaios, obtiveram-se os resultados de parâmetros de resistência ao cisalhamento que estão expostos na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros de resistência do solo da camada de aterro obtidos por ensaio de cisalhamento direto

Condição	Parâmetro		
	Ângulo de atrito (graus)	Coesão (kPa)	
Pico	26,1	9,9	
Residual	13,0	0,37	

Como complemento, foram também realizados ensaios de caracterização física do solo desta camada de aterro, isto é, ensaios de de consistência. limites bem como de granulometria. Estes resultados estão apresentados na Tabela 3 e na Figura 6, respectivamente.

A análise granulométrica resultou nas seguintes frações de material: 13% de pedregulho, 28,5% de areia, 20,5% de silte e 38% de argila. Verifica-se portanto, que o material do aterro possui característica de bem graduado.

Tabela 3. Valores de limite de consistência e massa específica dos grãos correspondentes ao solo da camada de aterro

Limites de consistência	
Limite de Liquidez (LL, %)	36
Limite de Plasticidade (LP, %)	25
Índice de plasticidade (IP, %)	11
Massa específica dos grãos (g/cm3)	2,664



Figura 6. Curva granulométrica correspondente ao solo da camada de aterro.

2.3 Análise Probabilística



As análises probabilísticas foram desenvolvidas tendo como base as topografias existentes antes e após a construção da cortina atirantada. Na primeira fase (antes da construção da cortina), a seguranca foi avaliada por meio de análise geoprocessamento associado à de equilíbrio limite, enquanto que na segunda fase (após a construção da cortina), a segurança foi avaliada somente por meio de métodos de equilíbrio limite.

2.3.1 Geoprocessamento

A análise por geoprocessamento foi realizada para a obtenção de mapas de fatores de segurança e de probabilidade de ruptura. Os fatores de segurança foram calculados com os valores médios dos parâmetros e a obtenção do mapa de probabilidade de ruptura utilizou o método de Monte Carlo, considerando a variabilidade dos parâmetros mecânicos do solo (ângulo de atrito e intercepto coesivo) por meio de um algoritmo elaborado pelos autores. O algoritmo cria um número pré-definido de cenários gerados com o uso de parâmetros obtidos aleatoriamente dento do intervalo prédefinido, empregando a formulação do talude infinito (Equação 1) apresentada por Fiori e Carmignani (2009), aplicada sobre o mapa de declividade apresentado na Figura 4.

$$FS = \frac{c'}{h\gamma_{nat}sen(i)} + \frac{(\gamma_{sat} - \frac{h_w}{h}\gamma_w)cos(i)tg(\phi')}{\gamma_{nat}sen(i)}$$
(1)

Em que: FS é o fator de segurança; c' é o intercepto coesivo; h é a espessura da camada de solo; h_w é a espessura da camada de solo que se encontra saturado; i é a declividade; γ_{nat} é o peso específico natural; γ_{sat} é o peso específico saturado; γ_w é o peso específico da água; e ϕ ' é o ângulo de atrito do solo.

As análises foram realizadas para espessuras da camada de solo (h) equivales a 1 e 2 metros, com nível de água (h_w) na superfície, na metade da espessura da camada de solo e abaixo da superfície de ruptura. Para a determinação da

probabilidade de falha de cada pixel no mapa, os fatores de segurança calculados por meio da combinação de parâmetros aleatória de cada cenário gerado pelo algoritmo são reclassificados como falha (FS \leq 1) ou não falha (FS > 1). Ao final da simulação, a probabilidade de falha em cada pixel é calculada pela razão do número falhas computadas e o número de cenários gerados.

2.3.2 Equilíbrio Limite

Para a análise probabilística de equilíbrio limite, foram modelados dois perfis geotécnicos. O primeiro corresponde ao perfil geotécnico anteriormente apresentado na Figura 5, e o segundo corresponde a este mesmo perfil, porém após a execução de uma cortina atirantada. Este segundo perfil está ilustrado na Figura 7. Além da introdução desta estrutura de contenção, observa-se também a mudança no nível d'água, que foi rebaixado à montante da cortina. Isto devido a efeito gerado pela instalação de drenos profundos.



Figura 7. Perfil geotécnico utilizado para avalição da segurança após construção da cortina atirantada.

Os modelos computacionais, com as duas seções mencionadas foram desenvolvidos com a utilização do *software SVSLOPE*TM (SOILVISION SYSTEMS, 2019). O método de equilíbrio limite selecionado para esta análise foi o método de Morgenstern e Price (1965), e o método para análise probabilística empregue consistiu do Método de Monte Carlo (HARR, 1989).



Para determinação da superfície crítica de deslizamento, utilizou-se a ferramenta "Slope Search", por meio da qual o algoritmos do software cria diferentes possíveis superfícies circulares ou ainda semi-circulares, com raios e centros diversos. Dentre estas curvas, o *SVSLOPE*TM é capaz de determinar aquela que menor fator de seguranca apresenta o determinístico (FS). Para a análise probabilística, é possível especificar se se probabilidade de deseja obter a falha correspondente a esta superfície com menor FS, ou ainda calcular a probabilidade de falha para todas possíveis superfícies de ruptura, e dentre estas, é indicada a probabilidade crítica (SOILVISION SYSTEMS, 2019). Por motivos de recursos de processamento computacional, foi utilizada neste trabalho a primeira opção, isto é, obtenção da probabilidade de falha para a superfície de ruptura correspondente ao menor FS encontrado no talude.

Em complemento à superfície crítica circular, obtida para a modelagem sem a contenção, foi determinada uma segunda superfície, aproximadamente planar, cuja geometria buscou assemelhar a circular obtida de início.

Para fins de comparação entre os dois métodos de cálculo utilizado (geoprocessamento e equilíbrio limite), os intervalos de valores adotados para os parâmetros de resistência foram os mesmos utilizados na análise para geração de mapas de probabilidade.

A diferença entre resultados gerados nos dois métodos é que para o geoprocessamento são obtidos vários valores de probabilidade de ruptura, um para cada pixel do mapa, ao passo que na análise de equilíbrio limite é determinado apenas um valor de probabilidade de ruptura, característico da seção analisada.

3 RESULTADOS

3.1. Escolha dos parâmetros do solo

Os parâmetros mecânicos do solo do aterro foram definidos após uma análise crítica envolvendo os resultados das correlações dos ensaios de SPT e os resultados de cisalhamento direto. Os resultados obtidos por correlação apresentam parâmetros através do SPT nitidamente superiores aos resultados do ensaio cisalhamento de direto e são pouco representativos do solo micáceo. Dessa forma, os parâmetros de resistência utilizados na obtenção dos resultados estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Intervalos de valores adotados para os parâmetros mecânicos do solo

Tipo de – solo	Parâmetre	Peso	
	Ângulo de atrito (graus)	Coesão (kPa)	natural (kN/m ³)
Aterro	18 - 26	0 - 3	18
Residual	25 - 33	5 - 10	19

3.2. Geoprocessamento

Os resultados das análises do geoprocessamento se encontram nas Figuras 8 e 9. Observa-se que tanto os fatores de segurança (FS) como as probabilidades de ruptura (PR) se tornam mais desfavoráveis para a estabilidade com o aumento da espessura da camada de solo e do nível de água.

O fato de os valores de FS determinísticos apresentarem decréscimo com o aumento da espessura da camada de solo e do nível de água é condizente com a sua definição, conforme a Equação 1. O aumento da espessura da camada de solo causa um aumento da solicitação na superfície de ruptura, enquanto que o aumento do nível de água diminui a tensão efetiva, uma das responsáveis pela resistência do solo.

A partir dos dados de sondagem, conforme fora elucidado no item 2.2, a situação que se apresenta mais próxima do problema em estudo na região onde foi construída a cortina é a de espessura da camada de solo equivalente a 1,0 m e com o nível de água abaixo da superfície de ruptura.



Os valores resumidos de fator de segurança e probabilidades de ruptura para a área da contenção, próxima à seção AA', obtidos por geoprocessamento se encontram na Tabela 4.

Tabela 5. Fator de segurança (FS) e probabilidade de ruptura (PR) obtidos no geoprocessamento

h = 1,0 m	FS	PR
h _w = 0,0 m	0,91	0,70
$h_w = 0,5 m$	0,71	0,84
$h_w = 1,0 m$	0,51	0,95
h = 2,0 m	FS	PR
$h_w = 0,0 m$	0,83	0,76
$h_w = 0,0 m$ $h_w = 1,0 m$	0,83 0,62	0,76 0,89
$h_w = 0,0 m$ $h_w = 1,0 m$ $h_w = 2,0 m$	0,83 0,62 0,41	0,76 0,89 0,97

Observa-se que, em todos os casos, os valores dos fatores de segurança determinísticos se apresentam inferiores a 1, o que indica claramente que o local apresentava problemas de estabilidade antes da construção da cortina. Em complemento, observa-se que as probabilidades de ruptura se encontram acima de 0,5, o que indica, mais uma vez, problemas graves de estabilidade.

3.3. Equilíbrio Limite

As análises de equilíbrio limite resultaram nos fatores de segurança (FS) e probabilidade de ruptura (PR) que estão apresentados na Tabela 6. Na Figura 10, apresentam-se as superfícies de ruptura para as quais foram determinados estes indicadores de estabilidade, evidenciando a superfície aproximadamente planar, obtida com embasamento na circular.



Tabela 6. Fator de segurança (FS) e probabilidade de	
ruptura (PR) obtidos nas simulações de equilíbrio limit	e

Modelo		FS	PR
Sem	Circular	0,769	0,878
contenção	Planar	0,835	0,801
Com contenção		1,356	0,070



Figura 8. Mapas de Fator de Segurança





Figura 9. Mapas de Probabilidade de Ruptura



Figura 10. Localização da superfície de ruptura crítica: (a) superfície circular determinada pelo *"Slope Search*", e (b) superfície aproximadamente planar, determinada com base na circular.

Reiteradamente, tanto o FS determinístico quanto a PR indicaram uma condição de instabilidade no talude, para o caso da situação sem a estrutura de contenção. Além disso, verificou-se para a superfície aproximadamente planar a obtenção de FS e PR indicando uma condição menos crítica do que aquela trazida pela superfície circular.

Ainda nesta análise verificou-se que ao se inserir a cortina atirantada na simulação numérica, pôde ser verificado com base no FS e na PR que se passa a ter níveis mais desejáveis de estabilidade.

4. DISCUSSÃO

Os resultados de fatores de segurança determinísticos e as probabilidades de ruptura do talude apresentaram ordem de grandeza semelhantes tanto no geoprocessamento como nas análises de equilíbrio limite, indicando que uso de ferramentas computacionais 0 comerciais e de algoritmos programados para geoprocessamento funcionar com podem resultar em análises similares. Na Tabela 7 é apresentado um comparativo entre a situação de cunha de ruptura planar, obtido no equilíbrio limite, e a situação de superfície planar a h = 1,0 m, para resultados de geoprocessamento.

Tabela 7. Comparaçã	o de resultados entre
geoprocessamento e	equilíbrio limite

geoprocessamento e equinorio minte				
Nível de água	Geoprocessamento		Equilíbrio Limite	
	(h = 1,0 m)		(Cunha Planar)	
	FS	PR	FS	PR
$h_{w} = 0,0 m$	0,91	0,70	0.835	0.801
$h_{\rm w} = 0,5 {\rm m}$	0,71	0,84	0,855	0,801

Salienta-se que as diferenças entre resultados obtidos dos dois métodos podem ser justificadas pelas forças consideradas no momento de se realizar o equilíbrio das lamelas de solo: o talude infinito (usado no geoprocessamento) considera somente as atuantes na superfície de ruptura, enquanto que de Morgenstern e Price (equilíbrio limite) presume também forças entre as lamelas, além de também considerar o equilíbrio de momentos.

Na modelagem sem a contenção, os valores mais altos de probabilidade de ruptura são justificados pelos parâmetros mecânicos baixos do solo do aterro, por se tratar de um material micáceo. Ao se inserir a contenção – condição atual do talude – as condições de estabilidade aumentam consideravelmente devido ao suporte extra conferido pela estrutura. O valor de probabilidade de ruptura da contenção poderia ainda ser otimizado, ao se reduzir as incertezas relacionadas aos parâmetros de resistência do solo, uma vez que eles apresentaram grande dispersão, como um todo.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho trouxe uma comparação de modelagem de estabilidade de taludes utilizando duas metodologias distintas: geoprocessamento e análise de equilíbrio limite bidimensional. O local de estudo foi um talude rodoviário, com localização situada dentro do contexto da Serra do Mar. O talude em questão apresentou em seu histórico situações de instabilização, e o atualmente está contido por uma cortina atirantada.

No desenvolvimento do trabalho foi possível, por meio do geoprocessamento, a obtenção de uma mapa de probabilidade de ruptura (PR), assim como de fatores de segurança (FS). Neste mapa, ficou nítida a condição de alto risco na região situada onde posteriormente se executou a contenção. Além disso, com o uso do equilíbrio limite foram obtidas PR e FS, cujas ordens de grandeza estão indicadas próximas àquelas no geoprocessamento. Simulou-se também а condição com a cortina de contenção, na qual verificou-se uma elevação significativa da segurança do talude.

Os dois métodos, com suas diferentes considerações e resultados apresentam suas vantagens e desvantagens. Para o caso do geoprocessamento, a principal vantagem é a possibilidade de elaboração de um mapa, indicando visualmente o risco geotécnico específico de uma determinada área. Entretanto, por meio deste método não foi possível a realização de modelagem da estrutura de contenção e avaliação de seu risco, o que foi realizado com utilização da ferramenta de equilíbrio limite. Dessa maneira, conclui-se que as metodologias são complementares entre si, e comparativa dos resultados avaliação a fornecidos é uma prática recomendada.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam agradecer à ANTT -Agência Nacional de Transportes Terrestres, à Autopista Régis Bittencourt - Grupo Arteris, à Capes - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior e à UFPR -Universidade Federal do Paraná pelo apoio para viabilizar estudo apresentado neste trabalho. REFERÊNCIAS

- Almeida, F. F. M, e Carneiro, C. D. R. (1998) Origem e evolução da Serra do Mar. Revista Brasileira de Geociências, 28, 135-150.
- Faleiros, F. M. Evolução de Terrenos Tectono-Metamórficos da Serrania do Ribeira e Planalto Alto Turvo (SP, PR). Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociência, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.



- Faleiros, F. M.; Pavan, M. Geologia e recursos minerais da folha Eldorado Paulista SG.22-X-B-VI: escala 1:100.000: estados de São Paulo e Paraná. São Paulo: CPRM, 2013. Programa Geologia do Brasil (PGB).
- Fonseca, A. P. et al. (2005). Influência do teor de mica na resistência ao cisalhamento residual em taludes de solos saprolíticos de gnaisse. IV COBRAE -Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas. Anais...Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas,
- Fiori, A. P. and Carmignani, L. (2009). Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes. Editora da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil.
- Harr, M. E. Probabilistic estimates for multivariate analyses. Applied Mathematical Modelling, v. 13, n. 5, p. 313-318, 1989.
- Morgenstern, N. R. & Price, V. E. (1965), The Analysis of The Stability of General Slip Surface, *Geotechnique*, v.15, n.1, p. 79-93.
- SoilVision Systems. (2018). SVOFFICE Help Manual. Sakatoon, Canada. Dispoível em: <htps://soilvision.com/support/software-manuals>. Acesso em: 18 mai. 2019.
- Pinto, C. S.; Nader, J. J. (1991). Ensaios de laboratório em solos residuais. Sefe II: Anais.
- Varnes, D.J. (1978). Slope movement types and processes. Landslides: Analysis and Control. Special report 176 (Eds: Schuster, R. L. & Krizek, R. J.). Transportation and Road Research Board, National Academy of Science, Washington D. C, U.S.
- Vieira, B. C., Fernandes, N. F., Filho, O. A., Martins, T. D., Montgomery, D. R. (2018). Assessing shallow landslide hazards using the TRIGRS and SHALSTAB models, Serra do Mar, Brazil. Environmental Earth Sciences, 77, 260.
- Prevention, 2014. Disponível em: http://www.cdc.gov/epiinfo>. Acesso em: 15 out. 2014.