

Estabilidade de taludes: Análise da solução geotécnica adotada na rodovia SC 427.

Fábio Krueger da Silva

Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, fabio.krueger@ifsc.edu.br

Mirella Raupp

Prosul Projetos, Supervisão e Planejamento Ltda, Florianópolis, Brasil, mirelaraup@gmail.com

Marciano Maccarini

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, m.maccarini@ufsc.br

Cesar Schmidt Godoi

Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, Brasil, cesar.godoi@unisul.br

Franciely da Silva Espindola

Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, Brasil, franciely.unisul@outlook.com.br

RESUMO: A obra de restauração da rodovia SC-427, trecho Rio do Campo – Passo Manso, entre os km 131+040 a 131+100, apresentava um problema geotécnico, com presença de trincas no pavimento e deslocamento de massa. Com o objetivo de analisar a solução geotécnica adotada foi feita uma coleta de dados de campo, documentações originais da obra, bem como a busca de um referencial bibliográfico. O estudo de caso da solução geotécnica adotada baseia-se na retro análise da estabilidade do talude. Com o uso de técnicas de engenharia geotécnica como alívio de peso do aterro, execução de drenagens e uso de geogrelha, o fator de segurança foi aumentado, retomando as condições de segurança da pista rodoviária.

PALAVRAS-CHAVE: Taludes, Reforço de Solos, Retro análise.

1 INTRODUÇÃO

Para um adequado desenvolvimento do transporte rodoviário, além do planejamento da rede de malha viária, é necessário que haja projetos adequados, onde cada peculiaridade da rodovia, seus trechos e subtrechos sejam analisados cuidadosamente. Um projeto mal elaborado pode acarretar em sérios comprometimentos à pavimentação e aos usuários da via.

A obra de restauração da rodovia SC-427, trecho Rio do Campo-Passo Manso, próximo a cidade de Taió, tem extensão total de 15,5 km, incluindo diversos pontos críticos, envolvendo, entre outros, problemas geotécnicos. Tendo em

vista o tempo transcorrido entre a elaboração, que ocorreu em 2002, e o início da implantação do projeto, que ocorreu em 2013, foi necessário fazer atualizações, uma vez que, durante este período, ocorreu piora no estado do pavimento existente e surgimento de mais pontos de patologias geotécnicas. Um destes pontos críticos foi o de número 11, que se localiza entre os quilômetros 131+040 e 131+100. Este trecho é em declive e apresentava uma fissura, com formato semicircular, iniciando no bordo direito, indo em direção ao eixo da pista, voltando ao bordo direito, tendo 36 metros de comprimento (Consórcio LOGIT/GISTRAN, 2012). Com as observações feitas conclui-se que se tratava de

uma ruptura do tipo circular, porém, a superfície de ruptura apresentava uma pequena espessura.

Em regiões montanhosas, como é o caso da cidade de Taió – SC, o traçado da rodovia é mais sinuoso e rampas com extensão e gradientes elevados. Segundo Oliveira (1998), uma das técnicas rodoviária mais comum é a execução de aterros em meia encosta, onde a plataforma da rodovia fica uma parte em corte e outra em aterro. Esta técnica tem como vantagem a redução dos volumes de terraplanagem, porém, introduz um elemento de fragilidade geotécnica, já que necessita de um engastamento perfeito do aterro com a encosta natural e com projetos de drenagem, sendo essenciais para que não se desenvolva uma linha de fraqueza, sujeita à ruptura.

Uma forma adequada para verificação do fator de segurança (F.S.) deste tipo de taludes é a determinação de parâmetros geotécnicos e aplicação de método de análise com base no equilíbrio limite. Quanto o FS é igual a 1.0 entende-se que o talude encontra-se no limite da estabilidade. Valores inferiores indicam uma provável ruptura e superiores à segurança da encosta (Massad, 2010).

Em casos, de recuperação de rupturas são adotadas técnicas chamada de retro análise de ruptura. Consideram-se as condições originais de geometria, parâmetros geotécnicos determinados ou adotados, as poropressões existentes e, determina-se o fator de segurança atual (que normalmente é inferior a 1), assim, busca-se uma solução geotécnica que permita restabelecer a condição de segurança do talude.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Após identificação, análise e determinação da origem do problema iniciou-se uma coleta de dados de maneira que o número de informações fossem suficientes e relevantes para retro análise da ruptura. Como os investimentos para investigações geotécnicas e coleta de amostras para ensaios laboratoriais eram limitados. A investigação do subsolo foi feita a partir de um furo de sondagem mista. A sondagem foi executada nas proximidades da rodovia e sobre a área abrangida ao escorregamento. Adotou-se

a do tipo mista (STP + Rotativa), devido esta região apresentar muitos matacões e a rocha ser muito fragmentada. O perfil subsolo pode ser visto na Figura 1.

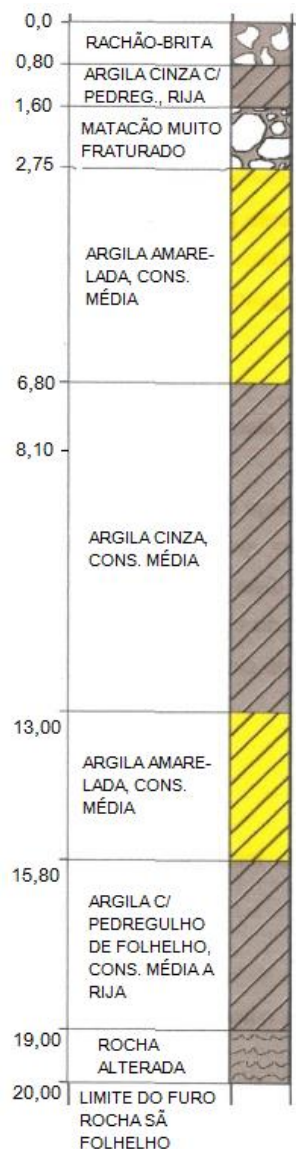


Figura 1. Perfil do subsolo do local.

Com o laudo técnico foi possível verificar a estratigrafia do solo, mostrando as seguintes camadas, em ordem crescente de profundidade: 80 cm de rachão e brita oriundo da construção da pista, sobreposto a uma camada de 80 cm de espessura de argila cinza, arenosa com pedregulho e consistência rija, o próximo estrato trata-se de um matacão pouco ou ligeiramente fraturado, alterando para excessivamente fraturado. Os próximos estratos são constituídos de camadas com espessuras de 4,25 m de argila amarelada com consistência média, de 6,2 m de

argila cinza com consistência média e de 2,80 metros de uma camada de argila amarelada de consistência média. A partir da profundidade de aproximadamente 16 metros encontra-se uma camada de argila com pedregulho de consistência média a rija sobreposta a uma camada de rocha (Folhelho) fraturada aos 20 metros de profundidade é encontrado o impenetrável e a rocha são. O nível de água foi encontrado em 8,10 metros de profundidade.

Destas informações, percebe-se que as camadas iniciais de rachão e brita são partes componentes da base da rodovia implantada. A argila logo abaixo, assim como o matacão, foram os materiais usados como aterro para a meia encosta da rodovia. Este material provavelmente foi proveniente do próprio corte efetuado no talude adjacente. Imediatamente abaixo estão argilas que, por terem consistência média, suportariam o sobrepeso do aterro.

A água que escorre do alto dos morros em direção ao Rio Itajaí do Oeste percorrem as camadas de solo e abastecem o lençol freático, que, por estar próximo à superfície, e juntamente com folhelho fraturado presente em suas camadas, podem ter agravado a situação do local e contribuído para o deslizamento de massa. Porém, estes fatores, por si só, não causariam as trincas e o leve deslizamento. Uma justificativa plausível seria a má compactação do solo do aterro. Uma das características da construção de aterro em meia encosta é que por um lado, é bastante eficiente em reduzir os volumes de terraplenagem, porém, introduz, por outro lado, um elemento de fragilidade geotécnica (GOMES, 2003).

Para que a água presente logo abaixo da rodovia fosse drenada, foi projetada a execução de um dreno longitudinal paralelo à rodovia, no bordo esquerdo próximo ao talude. E três drenos transversais a cada 30 metros, aproximadamente, fazendo com que toda água do entorno da rodovia e abaixo dela fosse captada e lançada no rio próximo.

A partir dos dados de solo obtidos foi possível estimar as propriedades geotécnicas do material. Com informações da geometria do talude partiu-se para análise computacional (software Slide®) de uma solução que permitisse a estabilização da movimentação.

Além disso, foram incorporados nas análises de estabilidades, elementos de reforços de solos e drenagem sub-superficiais que possibilitaram o desenvolvimento de um projeto que atingisse um fator de segurança satisfatório. Além disso, foi essencial o acompanhamento *in loco* da realização dos serviços geotécnicos para garantia do cumprimento de todas as recomendações de projeto. A seguir serão detalhadas as etapas de verificações e construção do reforço de talude.

3 RESULTADOS OBTIDOS

A primeira etapa do trabalho era a concepção dos projetos geotécnicos de recuperação do talude e de drenagens. Após aprovação, a etapa final era a fiscalização da execução dos serviços.

3.1 Elaboração dos Projetos

Inicialmente, buscou-se resolver o problema de infiltração e fluxo de água no solo de fundação nas marginais e na base e sub-base da pista rodoviária. Sabe-se que em todo talude de corte, de aterro e de encostas naturais, próximos à rodovia, um eficiente sistema de drenagem que dê escoamento rápido à água da chuva, aliado à proteção superficial do solo, impedindo sua infiltração e erosão superficial, melhoram as condições de estabilidade das encostas.

A ideia de rebaixar o lençol freático é para reduzir a pressão neutra, aumentando, assim, a estabilidade do talude com drenos profundos. O processo consiste em instalar tubos, normalmente de PVC, envolvidos com tela fina ou manta geossintética. Assim foi desenvolvido, junto à uma das empresa responsável, um projeto de drenagem sub-superficial. A imagem deste projeto pode ser visto na Figura 2.

Na utilização do software Slide®, para a retro análise da instabilidade do talude, é necessária, além da geometria, a inclusão de dados referentes aos parâmetros geotécnicos do solo. Os parâmetros geotécnicos dos materiais foram estimados com base no tipo de material e N_{SPT} (BERBERIAN, 2010). Os parâmetros adotados podem ser visualizados na Tabela 1.

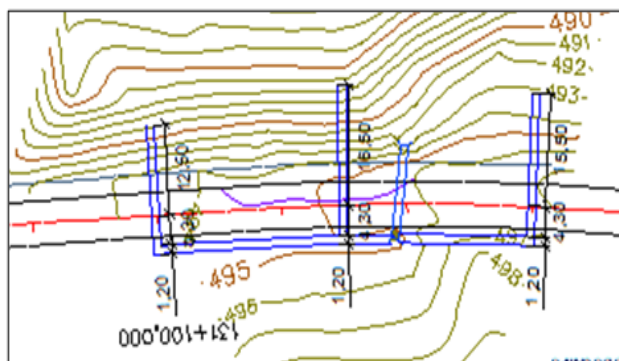


Figura 2. Projeto de drenagem.

Tabela 1. Propriedades dos materiais

Materiais/Camadas	γ (kN/m ³)	Coesão c (kPa)	Angulo de atrito Φ (°)
Folhelho	21	10	30
impermeabilizado			
Solo derivado de folhelho	17	5,5	27
Solo com baixo grau de compactação	19	5,0	29
Solo rachão da pavimentação anterior	21	0	45
Pavimento (antes da restauração)	21	0	38
Sobrecarga		15 kN/m	

Em função do trecho da rodovia fazer a ligação entre duas cidades de pequeno porte e não ser uma via principal de ligação entre outras cidades foi considerado que os maiores veículos que trafegarão na via seriam dotados de eixo isolado com 4 rodas. Este veículos de acordo com a resolução do DNIT(2005) devem apresentar uma carga máxima de operação de 100kN + 5% (tolerância) por eixo. Desta forma, foi adotado uma carga de 15 kN/m distribuída ao longo de 8 metros de rodovia, simulando a passagem de dois eixos simultâneos.

Com as informações coletadas inseridas no Slide, foi admitido que estes valores fossem os existentes no momento de ocorrência do escorregamento (ROCSCIENCE, INC., 2014). A elaboração dos projetos e fiscalização dos serviços contou a participação do Professor Maccarini (2014). O resultado desta primeira análise com as condições originais da encosta podem ser vistos na Figura 3

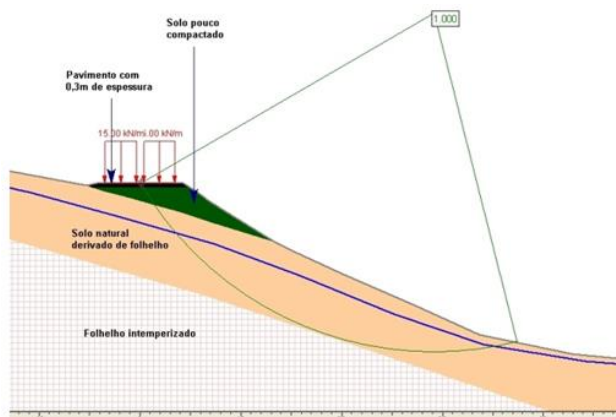


Figura 3. Seção transversal original com resultado retroanálise do Slide.

Após este primeiro processamento o programa identificou a provável superfície de ruptura, indicando um fator de segurança baixo, próximo da unidade e, confirmando a instabilidade do talude.

Considerando a fragilidade iminente e as patologias ocorridas no local buscou-se uma solução que aumentasse o fator de segurança, ou seja, fosse garantida a estabilidade da obra.

Os fatores de segurança são definidos em função da classe de risco da obra. Como já citado, a rodovia não é uma via principal nem existem obras significativas na região sendo considerada uma área de baixo risco. Na tabela abaixo (Amaral e Fiori, 2004), são indicados os fatores de segurança de acordo com a classe de risco da obra.

Tabela 2. Definição de classes de estabilidade baseadas no valor de FS (Amaral e Fiori, 2004).

Condição	Classe	Estágio de predição
FS > 1.50	5	Áreas sem risco
1.30 < FS < 1.50	4	Áreas de risco baixo
1.15 < FS < 1.30	3	Áreas de risco médio
1.00 < FS < 1.15	2	Áreas de risco alto
FS < 1.00	1	Áreas na iminência de escorregamento

Assim, foi definido que a solução geotécnica do talude deveria apresentar um fator de segurança entre 1.3 a 1.5, classe 4, para áreas de baixo risco. Elaborou-se um modelo com solo reforçado de forma que fosse aumentado o fator

de segurança, tornando o talude estável. Assim, sugeriu-se a instalação de três camadas de geogrelhas com resistência de 124kN/m em 5% de deformação. Com a solução adotada inserida no software, foi verificado que o fator de segurança passou para 1.3. Como no software a solução foi calculada sem a presença das drenagens transversais e da longitudinal, acredita-se que, na prática, o FS ultrapasse 1.5, deixando a área com a estabilidade garantida. O resultado do processamento do Slide após a introdução de elementos de reforço de solo pode ser visto na Figura 4. Na Figura 5, é mostrado os detalhes da instalação das geogrelhas.

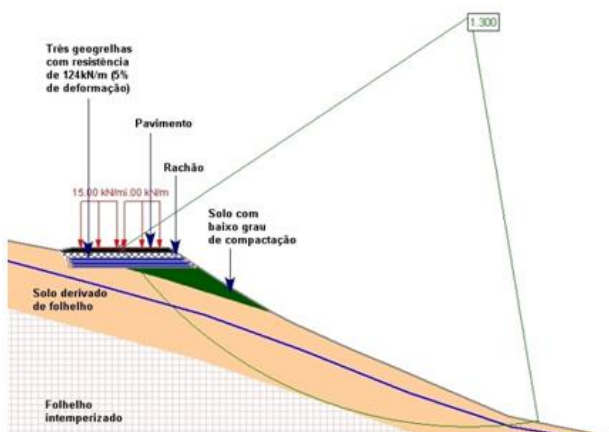


Figura 4. Seção transversal reforçada com resultado retroanálise do Slide.

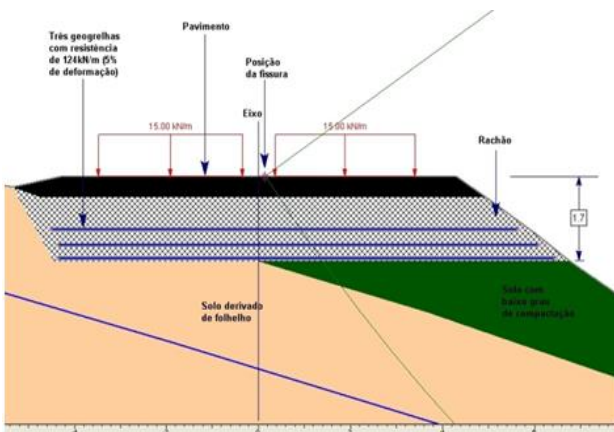


Figura 5. Detalhe dos elementos de reforço de solos.

3.2 Execução do serviço

Inicialmente, foram efetuados os serviços de rebaixamento do greide da pista em 1,5 metros, diminuindo assim o peso do talude. Para que o tráfego local fosse mantido, a execução do

rebaixo do greide foi realizada em duas etapas, uma pista de cada vez (Figura 6).

Posteriormente, para a execução dos drenos foram escavadas trincheiras transversais ao longo da rodovia. As trincheiras foram projetadas com 1,5 metros de profundidade. Essas trincheiras foram revestidas por uma manta de geotêxtil para evitar a percolação de finos e, consequente colmatção do material, perdendo a função drenante. A imagem deste serviço pode ser visto na Figura 7.

A atenção especial quanto a fiscalização dos serviços foi importante para garantir que nenhuma etapa fosse negligenciada.



Figura 6. Rebaixo do greide em meia pista.



Figura 7. Construção de dreno transversal.

Por exemplo, quanto a colocação do geotêxtil e tubos de drenagem. O geotêxtil é uma manta fina que pode ser rasgada se não forem tomados cuidados especiais. Para que não fosse rasgado durante a colocação do material drenante composto de macadame seco (rachão),

tampouco furasse o tubo da drenagem, fez-se uma fina camada de brita $\frac{3}{4}$ na superfície e envolvendo o dreno. Acima da brita, colocou-se um agregado de maior dimensão (rachão) até completar a profundidade da vala. Então, a manta foi fechada para evitar que o solo infiltre por entre os agregados e colmate os orifícios do dreno.

Os drenos adotados foram tubos de PEAD (Polietileno de Alta Densidade), de seção circular, destinados a coletar e escoar o excesso de líquido infiltrado no solo, propiciando melhores condições de drenagem e, consequentemente contribuindo para segurança da obra. Os detalhes da instalação dos tubos para drenagem podem ser vistos na Figura 8.



Figura 8. Detalhe da instalação do tubo de drenagem.

Após a conclusão dos serviços de drenagem transversais foram executadas as camadas de solo reforçado com geogrelha, alternadas com brita $\frac{3}{4}$. A geogrelha utilizada foi a Miragrid® 24XT, que é uma geogrelha de alto peso molecular, composta por multifilamentos de poliéster de alta tenacidade, a qual é tecida sob tensão e coberta com proteção em PVC. Esta geogrelha é inerte à degradação biológica e resistente a composições químicas, álcalis e ácidos. A resistência a tração da mesma é de 420 KN/m e de 128,7 KN/m a 5 % de deformação. Durante a colocação a geogrelha para desenvolvimento da maior resistência à tração ela foi ancorada na drenagem longitudinal, no bordo esquerdo da pista, que foi finalizada após esta etapa. A ancoragem foi garantida colocando a geogrelha dentro da valeta de drenagem e, posteriormente uma parte

do material drenante (sobrecarga) de maneira que a geogrelha pudesse ser bem esticada, atingindo sua resistência máxima. Os procedimentos de execução desta etapa podem ser visto nas Figuras 9 e 10.

Estes serviços de instalação, ancoragem, compactação do solo entre as geogrelhas são fundamentais para o sucesso da solução geotécnica proposta. Após o transpasse, foi colocado rachão até chegar a altura do greide para preparar o solo para a pavimentação. O rachão em toda profundidade teve também o objetivo de formar uma camada drenante no solo. Atualmente, a pavimentação asfáltica já foi concluída e pista encontra-se recuperada e sem sinais de novas fissuras.



Figura 9. Ancoragem da geogrelha no dreno longitudinal.



Figura 10. Detalhe da geogrelha bem esticada.

4 CONCLUSÕES

Analisando o caso solução geotécnica da instabilidade de talude ocorrida na Rodovia SC-427, trecho Rio do Campo – Passo Manso podem-se destacar alguns aspectos importantíssimos em construção e restauração de pistas rodoviárias.

Primeiramente, no caso da construção original sabe-se que aterro em meia encosta tem grandes vantagens construtivas decorrentes do reaproveitamento de material do corte e, posterior utilização como aterro. Contudo, a preparação da área de aterros com denteamentos da bancada da pista deve ser sempre realizada para evitar que seja desenvolvida nesta região uma linha de fraqueza. Na construção do aterro todos os cuidados com umidade e energia de compactação, especificados em projeto, devem ser garantidos para qualidade dos serviços. Na obra estudada estes aspectos foram negligenciados durante a sua construção e, pode ser comprovado que o aterro estava mal compactado durante os serviços de restauração da pista.

No que se refere a escoamento das águas também se percebeu que não foram tomadas as medidas preventivas tanto discutidas na engenharia. A água no interior do solo (pressão neutra) atua como um agente que diminui a resistência ao cisalhamento do solo. Este aspecto aliado a sua movimentação (percolação) é um dos principais fatores que provocam instabilidade e, conseqüente ruptura de encostas. Para garantir que não houvesse excesso de pressão neutra no interior do solo de fundação foi projetado um sistema de drenos longitudinais e transversais em PVC envoltos com material drenante e manta geotêxtil. Atualmente, nota-se um bom volume de água saindo dos drenos.

No que se refere às investigações geotécnicas citam-se que já deveriam ter sido realizada no processo preliminar de caracterização do subsolo para implantação da pista original. Aspectos como a ocorrência de uma camada de matacos muito fraturado localizado abaixo da camada de sub-base. Com certeza, este estrato drenante contribuiu bastante para a movimentação do aterro. Os investimetntos em

investigação de subsolo ainda são escassos. Por exemplo, o perfil das camadas e estimativas dos parâmetros geotécnicos de cada material foram baseados em apenas um furo de sondagem. A coleta de amostras para determinação de parâmetros geotécnicos através de ensaios de laboratório levaria a um entendimento mais completo do perfil geotécnico levando a otimização do projeto, com maior segurança na análise de estabilidade dos taludes. Podendo até influenciar na quantidade de camadas de geogrelha implantadas na construção.

A colocação de elementos de reforço de solo foi fundamental para restabelecimento da segurança da encosta. Contudo, o principal aspecto que se destaca é boa prática na construção aliada a fiscalização dos serviços. O acompanhamento *in loco* foi fundamental para dirimir sobre aspectos executivos das drenagens e aspectos estruturais de instalação da geogrelha. Como por exemplo, declividade das drenagens, engastamento do reforço no dreno longitudinal, espessura das camadas e compactação eficiente de modo a reproduzir um perfeito entrosamento entre geogrelha + solo.

O software computacional utilizado para retro análise da estabilidade (Slide®) mostrou-se adequado ao estudo do solo em questão, reproduzindo o estado do solo no momento da ruptura do talude, bem como a linha de ruptura formada, e, ainda, apresentou o fator de segurança da solução adotada, indicando sua estabilidade ao final da execução do serviço.

Conclui-se, portanto, que a solução foi adequada ao problema que existia no local. O aumento do fator de segurança foi satisfatório, garantindo a estabilidade do solo. Recomenda-se, a manutenção da proteção superficial, da drenagem e o acompanhamento do estado do pavimento restaurado a fim de servir como indicativo da estabilidade do talude.

REFERÊNCIAS

- Amaral, C. e Fiori, A. P. (2004). Grau de Estabilidade das Vertentes da Serra do Paruã, nas Proximidades do Falso Túnel. In: 5º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, São Carlos. São Paulo, p. 164 – 172.
- Berberian, D. (2012). Sondagens e Ensaios in situ para engenharia. 8ª Edição. Rio de Janeiro.

- Consórcio LOGIT/GISTRAN (2012) Projeto de reavaliação de estimativas e metas do PNLT: relatório final. Brasília: Ministério dos Transportes.
- DNIT - Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes (2005) Manual de conservação rodoviária. Departamento Nacional de Estradas de Infraestrutura de Transporte. Rio de Janeiro/RJ: IPR-710, 2. ed. 564p.
- Gomes, C. L. R (2003) Retroanálise em Estabilidade de Taludes em Solo: Metodologia para Obtenção dos Parâmetros de Resistência ao Cisalhamento, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, Campinas, 140p.
- Maccarini, M. (2014) Relatório geotécnico do trecho Passo Manso a Rio do Campo. Florianópolis, 2014. 23p.
- Massad, F. (2010) Obras de terra: curso básico de geotecnia. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos.
- Oliveira, A. M. S.; Brito, S. N. A. (1998) Geologia de engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia.
- Rocscience, Inc. (2014) Tutorial Manual. Slide v.6.0.