

Integração de dados geológicos e geotécnicos para estudo da estabilidade de taludes na BR-280/SC

João André Martins

UFSC, Florianópolis, Brasil, joaoandregaropaba@hotmail.com

Luana Moreira Florisbal

UFSC, Florianópolis, Brasil, luana.florisbal@ufsc.br

RESUMO: O trabalho apresenta a caracterização geológica-geotécnica dos taludes de corte da BR-280/SC, no trecho entre os municípios de São Bento do Sul, Rio Negrinho e Mafra, porção NE do Estado de Santa Catarina. A metodologia adotada se baseia na análise integrada dos elementos do meio físico, a partir de técnicas de aerofotogeologia, investigações geológicas e ensaios geotécnicos. Baseado nas informações sobre o contexto geológico-estrutural, perfis de alteração, sondagens e ensaios para caracterização de solos, identificaram-se quatro unidades geológico-geotécnicas: arenitos, diamictitos e folhelhos do Grupo Itararé, e gnaisses enderbíticos do Complexo Granulítico de Santa Catarina. A porção argilosa encontrada nas rochas do Grupo Itararé, juntamente com a elevada expansão dos seus solos, aumenta as instabilidades nos taludes. Logo, a partir dos dados levantados, foi elaborado o diagnóstico geológico-geotécnico da BR-280/SC, descrevendo os fatores naturais e estruturais condicionantes no que se refere à estabilidade dos taludes da rodovia.

PALAVRAS-CHAVE: Instabilidade de taludes, geologia, solos, caracterização geológico-geotécnica.

1 INTRODUÇÃO

A BR-280 é a rodovia federal que liga São Francisco do Sul, no Estado de Santa Catarina, ao entroncamento da BR-163, no município de Barracão, no oeste do Paraná. O segmento, entre São Bento do Sul e Mafra, trata-se de parte do principal acesso rodoviário do Planalto Norte ao Porto de São Francisco, contribuindo também ao turismo, já que conecta o planalto ao litoral do Estado.

Estudos de caracterização do meio físico para BR-280 são cruciais, diante das necessidades às restaurações, duplicações, novos contornos e projetos de contenções de escorregamentos na rodovia. Além disso, esta rodovia está localizada na zona de contato entre as rochas da Bacia do Paraná e do Complexo Granulítico de SC, em regiões montanhosas, onde são frequentes os escorregamentos nos taludes, condicionados principalmente por aspectos geológicos e estruturais.

Estes aspectos, associados a altos índices pluviométricos, resultam em alterações nos parâmetros de resistência, alívio de tensões ou carregamentos, aumento da saturação do solo e as variações nas poropressões, dando origens às instabilidades que deterioram a rodovia (Grado, 2014).

Alguns exemplos de instabilidades e danos à rodovia BR-280/SC, associados principalmente a fatores geológicos, podem ser detectados ao longo do trecho. Neste cenário, a caracterização geológica e geotécnica contribui para os estudos de duplicação ou restauração da rodovia, bem como projetos de contenções em taludes.

Devido à grande heterogeneidade das litologias e estruturas encontradas no trecho, as mudanças de resistência dos solos residuais podem ser consideráveis. A descrição de perfis de intemperismo, integrada a geologia e dados de ensaios para caracterização de solos, pode ser muito eficaz, já que gera subsídios para compreensão dos processos de instabilizações.

Assim, o presente estudo integra dados geológicos, estruturais e geotécnicos com intuito de demonstrar a inter-relação destes aspectos no desenvolvimento de escorregamentos nos taludes da rodovia BR-280/SC, trecho São Bento do Sul - Mafra.

2 ÁREA DE ESTUDO

2.1 BR-280

A BR-280 corresponde à rodovia transversal brasileira, que se inicia no Porto de São Francisco do Sul (SC), e termina no entroncamento com a BR-163 e BR-373, no município de Barracão (PR), na fronteira com a Argentina. Sua extensão total aproximada é de 634,1 km (Fig.1).



Figura 1. Mapa de localização da BR-280, ao longo do limite entre os estados de Santa Catarina e Paraná, com início no Litoral Catarinense (São Francisco do Sul) e término na divisa com a Argentina, em Barracão (PR).

O trecho estudado tem início no km 110, em São Bento do Sul (SC) e termina no km 180, no município de Mafra (SC) (extremo norte do Estado). Essa parte da rodovia tem apresentado inúmeros problemas com instabilidades nos cortes em rochas e em solos residuais.

2.2 Aspectos Geológicos Regionais

Afloram na região em estudo, predominantemente rochas sedimentares da Bacia do Paraná, e também gnaisses enderbíticos, do Complexo Granulítico de Santa Catarina (CGSC).

O CGSC foi inicialmente definido por Hartmann *et al.* (1979), consistindo em rochas

metamórficas nas fácies granulito e anfibolito, de idade Arqueana a Paleoproterozóica. Abrange ortognaisses, paragnaisses, rochas máficas e ultramáficas e também metagranitos e granitos. As rochas predominantes no trecho estudado são parte da unidade Gnaisses Granulíticos Luis Alves (CPRM, 2011) e Fornari (1998) destaca que os gnaisses enderbíticos desta unidade são predominantes no Complexo.

Já as rochas sedimentares da Bacia do Paraná estão dispostas discordantemente sobre as rochas do embasamento. De acordo com Guazelli e Feijó (1970), ocorrem na região rochas do Grupo Itararé, de idade Permo-Carbonífera, compartimentadas por França e Potter (1988) nas Formações Lagoa Azul, Campo Mourão e Taciba. O Grupo Itararé abrange folhelhos, siltitos, arenitos e diamictitos, gerados a partir da deposição de sistemas glacio-marinho, fluvial, deltaico-estuarino e marinho (Castro, 1999). No trecho da BR-280 estudado ocorrem siltitos, arenitos e diamictitos da Formação Taciba.

3 METODOLOGIA

Análise de imagens aéreas e mapeamento geológico-geotécnico foram realizados para a caracterização das diferentes litologias ocorrentes na rodovia BR-280/SC (Trecho: São Bento do Sul – Mafra) e verificação de situação da via, relacionando o estado de conservação dos taludes de corte.

As etapas de campo corresponderam à caracterização geológica e geomorfológica, além da descrição dos perfis de alteração associados às litologias definidas com base na fotointerpretação. Para as observações *in situ*, realizou-se uma análise tacto-visual dos solos e rochas expostas nos cortes da rodovia.

Foram realizadas 49 sondagens, bem como ensaios de caracterização completa, obtidas através do DNIT-SC, para BR-280/SC. Os ensaios realizados abrangem granulometria, LL (Limite de Liquidez), IP (Índice de Plasticidade) e Expansão (Ensaio de Proctor Normal).

4 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA

Em uma parte restrita do trecho, no município de São Bento do Sul (km 115 até 117), afloram **gnaisses enderbíticos** do CGSC. Esta unidade abrange rochas bandadas, cuja estruturação se dá pela alternância de bandas quartzo feldspáticas alternadas com bandas máficas (piroxênios e hornblenda) (Fig.2). O bandamento dos gnaisses tem orientação preferencial E-W a NW-SE com mergulhos subverticais (70°-80°).



Figura 2. Gnaiss enderbítico, de cor cinza, e bandamento composicional denotado pela alternância de bandas centimétricas quartzo feldspáticas e porções ricas em minerais máficos.

Já as rochas sedimentares do Grupo Itararé ocorrem numa faixa alongada no sentido norte/sul, aflorando em quase toda área do trecho estudado, que abrange os municípios de São Bento do Sul, Rio Negrinho e Mafra.

Em grande parte do trecho estudado (km 122,2 até 152,0) afloram arenitos cinza escuro, finos a muito finos, com porções mais ricas em silte. Estratificação plana paralela subhorizontal ou com baixo ângulo de mergulho (<25°) é a estrutura mais frequente.

Entre os km 150 e 159 afloram diamictitos de cor cinza, com matriz pelítica a arenosa e seixos de granitoides e rochas metamórficas. Quando alterados, apresentam coloração avermelhada (Fig.3).

Por fim os folhelhos (km 159,0 até 180,0), correspondendo a rochas de coloração escura (Fig.4) e granulometria muito fina. A principal estrutura é a laminação plano-paralela, subhorizontal.



Figura 3. Diamictitos com matriz pelítica a arenosa, não sendo rara a ocorrência de seixos de granitoides e rochas metamórficas.



Figura 4. Horizonte C dos folhelhos, com coloração cinza e com estruturas reliquias plano paralelas preservadas.

5 CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA

Com base nas sondagens e atividades de mapeamento geológico-geotécnico, foi possível caracterizar as rochas e solos que ocorrem no trecho, identificando as principais unidades geológicas-geotécnicas.

De acordo com os ensaios de caracterização dos solos (granulometria), bem como descrição de perfis de alteração em campo, a composição siltosa e argilosa é predominante (Tabela 1).

Os solos do horizonte B dos gnaisses (Fig.5) apresentam espessura média de 3m e é caracterizado por elevada alteração da mineralogia original. Não há preservação das estruturas e texturas dos gnaisses. Assim, foi identificado um solo predominantemente silte argiloso, que é menos sensível à erosão. Em contrapartida, o solo do horizonte C, apresenta

espessura de 5 a 15m, ocorrendo logo acima da rocha, e preservam textura e estrutura sub-vertical dos gnaisses. Predomina a composição silte arenosa.

Tabela 1. Solos identificados no trecho, com base no ensaio de granulometria e identificação tátil visual dos perfis de alteração.

Unidade	Hz	Solos
Gnaisses	B	Silte argiloso
	C	Silte arenoso
Arenitos	B	Silte argiloso
	C	Silte argiloso
Diamictitos	B	Silte argiloso
	C	Argila siltosa
Folhelhos	B	Silte argiloso
	C	Argila siltosa

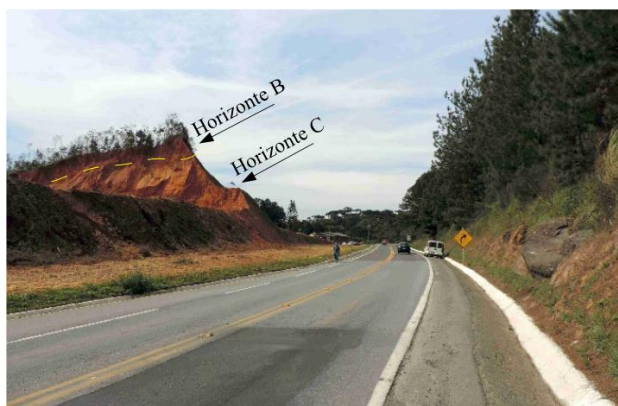


Figura 5. Solo residual dos gnaisses enderbíticos com horizontes B e C indicado.

Quanto aos solos residuais das rochas do Grupo Itararé, o horizonte B dos **arenitos** (Fig.6) são pouco espessos (aprox. 1m), já o horizonte C, mais espesso, pode chegar até 12m. Ambos são geralmente siltosos, com granulometria argilosa subordinada, sendo que o horizonte C é comum preservação parcial das estruturas plano-paralelas.



Figura 6. Corte de estrada em arenito fino a muito fino, siltico com feições de erosão e deslizamento.

Os **diamictitos** formam solos diversificados e heterogêneos, com grande variedade composicional, predominando a siltosa no horizonte B e argilosa no C. O horizonte C, normalmente mantém o arranjo estrutural dos sedimentos.

Nos **folhelhos**, horizonte B a composição tende a ser silte argilosa. Já no horizonte C, predominam solos argilo-siltosos, que preservam laminação plano-paralela e subhorizontal (Fig.7).



Figura 7. Vista em perfil do horizonte C dos folhelhos, com coloração cinza e com estruturas reliquias plano paralelas horizontais preservadas.

O limite de consistência apresentado pelos solos residuais dos gnaisses, devido à composição predominante siltosa, mostram um comportamento não plástico (NP). Em contrapartida, grande maioria dos solos residuais do Grupo Itararé, apresentou comportamento plástico, como apresentado na Tabela 2.

A elevada expansão dos solos residuais do Grupo Itararé (Tabela 2), contribui para os escorregamentos na rodovia.

Tabela 2. Média dos limites de consistência e da expansão dos perfis de solo estudados.

Unidade	LL (%)	IP (%)	Exp. (%)
Gnaisses	NP	NP	0,67
Arenitos	39,84	19,03	1,36
Diamictitos	50,55	25,21	1,42
Folhelho	50,9	19	1,04

Os limites de consistência médio dos solos estudados e expansão refletem a participação dos minerais de argila presentes nos taludes

estudados. A elevada expansão dos solos residuais do Grupo Itararé, bem como a plasticidade das argilas, confere a esses solos, maior instabilização. Estes dados apontam para presença de argilas expansivas, provavelmente do grupo das esmectitas, nos diamictitos e folhelhos.

Os índices de consistência podem ser relacionados aos parâmetros de cisalhamento para solos argilosos. De acordo com Kennedy (1959), quanto maior o teor de argila, menor o valor de ângulo de atrito, diminuindo a resistência dos solos ao escorregamento.

6 ESTABILIDADE DOS TALUDES

De acordo com a observação dos cortes existentes, sua geometria, declinação e altura, estruturas reliqueares, tipos de solos e material rochoso envolvido, foram identificados diferentes escorregamentos ao longo do trecho, que denunciam inúmeros eventos de instabilidades na BR-280, sendo os principais identificados na Tabela 3.

Tabela 3. Principais escorregamentos identificados ao longo da BR-280, posição na rodovia e sua caracterização geológica.

Km	Lado	Características Geológicas
117,0	LE	Arenito fino amarelado
120,2	LE	Folhelho cinza alterado
122,0	LE	Arenito fino amarelado
123,6	LE	Arenito fino amarelado
125,1	LE	Arenito fino, matriz argilosa
156,7	LE	Folhelho cinza alterado

Os principais fatores a serem considerados na estabilidade dos taludes foram: ruptura, erosão e drenagem.

A estrutura do solo, mais desenvolvida no horizonte B, dos solos residuais dos gnaisses, diamictitos e folhelhos tem forte influência na coesão aparente conferida aos agregados e a drenagem interna dos mesmos, principalmente no caso dos solos parcialmente saturados. Este aumento da coesão observado no horizonte B dos solos estudados, pode se dar devido ao processo de argilização mais intenso, formação de óxidos de ferro e alumínio, quando comparados aos do horizonte C.

Uma tendência a diminuição do ângulo de atrito dos solos argilosos, também pode ser observada com o aumento do IP, favorecendo as instabilidades.

No caso do horizonte C dos gnaisses, os taludes são formados por solos siltosos e expansivos, e portanto, mostram-se muito sensíveis à erosão. A instabilidade inicia com a erosão do talude, seguindo o escorregamento. A granulação siltosa do horizonte C é a principal causa de sua susceptibilidade à erosão, que evolui para o escorregamento do talude.

Já as rochas e solos residuais do Grupo Itararé, mostram-se relativamente instáveis, principalmente os arenitos e folhelhos, devido a sua constituição mineralógica, textura e o plano horizontal de estratificação das rochas, associado também a elevada expansividade da fração argilosa. Essas características, principalmente a estratificação, funcionam como planos preferenciais de fraqueza, que atuarão na conformização da superfície dos taludes. Isso foi observado em alguns escorregamentos, como apresentado na Figura 9.



Figura 9. Talude de corte em rocha e solos residuais do folhelho no km 176. Folhelho cinza escuro, com elevada desagregação, além de intenso deslocamento seguindo a orientação da camada.

A quantificação dos parâmetros de cisalhamento para esses solos deve ser feita de forma cuidadosa, já que dificilmente se consegue determiná-los, levando em consideração as estruturas diversas. Desta forma, o levantamento geológico-estrutural, acaba sendo fundamental para compreensão dos fatores que controlam as instabilidades.

7 CONCLUSÕES

O presente trabalho apresenta os aspectos geológicos, geotécnicos e estruturais das rochas e solos, que formam os taludes de corte da BR-280. Com base em investigações geotécnicas *in situ* e de laboratório, bem como considerações baseadas nos perfis de alteração de solo, foi caracterizado o comportamento dos solos e rochas frente aos processos de estabilização da rodovia.

A descrição dos perfis de alteração e rochas, bem como sondagens, caracterizou-se em detalhe a geologia do trecho, possibilitando a identificação de quatro unidades principais: os gnaisses enderbíticos do CGSC; e os arenitos, diamictitos e folhelhos do Grupo Itararé.

O condicionamento geológico-estrutural das rochas sedimentares do Grupo Itararé, está entre as principais causas das instabilizações.

A granulometria muito fina, argilosa a argilo siltosa nos arenitos e folhelhos, resulta em elevada plasticidade e expansão dos solos gerados nestas unidades. Isso, somado a estratificação plano paralela horizontal a subhorizontal, permite o deslocamento em folhas, o que aumenta a instabilidade dos taludes e leva a deslizamentos. Por outro lado, o arranjo estrutural desordenado dos diamictitos, bem como sua matriz argilosa, acaba conferindo aos solos residuais desta unidade elevada expansão. Contudo, devido a ausência de estratificações ou superfícies planares, acabam sofrendo pouco com os processos de instalações, se mantendo mais estáveis, se comparados com os arenitos e folhelhos.

Já nos gnaisses enderbíticos do CGSC, a granulometria siltosa dos solos residuais, bem como seu bandamento subvertical, colaboram para o deslocamento das bandas e erosão dos taludes, o que leva, posteriormente, aos escorregamentos.

Os ensaios realizados nas quatro unidades geológicas identificadas apresentaram valores típicos de solos residuais, e contribuem para definição de novos cortes, classificação de terraplanagem e caracterização do meio físico. Foi verificado também, que os escorregamentos na rodovia e definição de novos cortes, para projetos futuros, normalmente podem ser

previstos mediante a análise da estabilidade dos taludes, utilizando-se alguns dos parâmetros geotécnicos dos materiais aqui apresentados.

Portanto, mesmo que a resistência ao cisalhamento seja o fator mais importante na estabilidade dos taludes, descrições de perfis de solo, integrando mineralogia, textura e estrutura da rocha e reliquias em solos residuais, bem como granulometria, índices de consistência e expansão, podem contribuir para determinação dos horizontes mais estáveis, e na definição das inclinações adotadas para os taludes de corte. Esse tipo de estudo, quando integrado a parâmetros de cisalhamento, podem também auxiliar no dimensionamento e análise de estabilidade de soluções geotécnicas projetadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao DNIT e a Empresa PROSUL – Projetos, Supervisão e Planejamento Ltda, além dos seguintes colegas: Victor Hugo Texeira, Rafael Fabiano Cordeiro, Gisele Pereira Reginatto e Mariana Salvan Franco, pelo apoio e contribuição técnica e científica.

REFERÊNCIAS

- Castro, J. C. (1999) *Estratigrafia de seqüências das formações Campo Mourão (parte superior) e Taciba, Grupo Itararé, e do Membro Triunfo, Formação Rio Bonito, no leste da Bacia do Paraná*. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, Tese de Livre Docência, 64p.
- Chermale JR, F.; Hartmann, L.A. e Silva, L.C. (1995). *Stratigraphy and Tectonism of Precambrian to Early Paleozoic units in Southern Brasil and Uruguay – Excursion Guide Book, Acta Geológica Leopoldensia*, XVIII (42), p. 5-117.
- CPRM. (2011) Mapeamento geológico 1:250000 da folha SG-22-Z-B-Joinville. Programa Geologia do Brasil. http://geobank.sa.cprm.gov.br/pls/publico/geobank.do?cuments.download?id_sessao=20160301111758&usuario=1&file=joinville.zip.
- DNIT. (2010). *Projeto Executivo de Engenharia para Restauração de Rodovia - CREMA. 2ª Etapa. BR-280/SC*, Florianópolis, Tomo III, p. 95-107.
- Hartmann, L.A.; Silva, L.C. e Orlandi, V. (1979). *Complexo Granulítico de Santa Catarina, Acta Geológica Leopoldensia*, Vol. 6, p. 94-112.
- França A.B. e Potter P.E. (1988). *Estratigrafia, ambiente deposicional e análise de reservatório do Grupo*

- Itararé (Permocarbonífero), Bacia do Paraná (Parte 1), *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 2:147-191.
- Fornari, A. (1998) *Geologia e metagênese da porção meridional do Cráton Luís Alves – SC*, Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 136 p.
- Grado, A.; Cordeiro, R.F.; Teixeira, V.H.; Reginatto, G.M.P.; Santos, G.I.T. e Maccarini, M. (2014). Análise geológica e geotécnica da instabilidade de um talude. Estudo de caso da BR-476/PR, *Anais... Cobramseg*, Goiânia.
- Güazelli, W. e Feuo, F.L. (1970). Mapa geológico de semi-detalhe do Centro-Leste e Sudeste de Santa Catarina. *DESUL*, Petrobrás, Rei. 369 p.
- Kennedy, T.C. (1959). Discussion: Proceedings, *ASCE*, V. 85, n. SM3, p. 67-97.