

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/471

Metodologia para diagnóstico dos taludes adjacentes à correia transportadora de longa distância por meio de classificação de riscos

Cissa Lopes Lanna

Engenheira de Minas, Vale, Nova Lima, Brazil, cissa.lanna@vale.com

Christiano Alves Nogueira

Geólogo, Vale, Nova Lima, Brazil, christiano.nogueira@vale.com

Mariane Martins Ferreira Santa Barbara

Engenheira Civil, Vale, Nova Lima, Brazil, mariane.ferreira@vale.com

Felipe Nascimento Leão

Engenheiro Civil, Vale, Nova Lima, Brazil, felipe.nascimento.leao@vale.com

Flávio Ferreira Brandão

Geólogo, Vale, Nova Lima, Brazil, flavio.brandao@vale.com

RESUMO: A avaliação geotécnica de taludes de obras de infraestrutura lineares, como estradas, ferrovias e correias transportadoras tem sido um grande desafio em função da extensão, por vezes quilométrica, e da variabilidade geológico-geotécnica. Além disso, em sua grande maioria, há uma precariedade na disponibilidade de informações que embasem os estudos como, por exemplo, ensaios geotécnicos, conhecimento da geologia local, informações estruturais e geomecânicas. Dessa forma, faz-se necessária a adoção de uma metodologia para avaliação dos taludes que utilize das informações existentes e não seja puramente qualitativa. Sendo assim, o presente artigo tem como objetivo apresentar um estudo de caso de avaliação dos taludes adjacentes à uma Correia Transportadora de Longa Distância (TCLD), localizada entre duas minas de ferro do Quadrilátero Ferrífero, detalhando a metodologia elaborada para a classificação dos taludes por meio de uma análise de riscos. Essa metodologia possibilitou a redução da subjetividade nas análises dos taludes, permitindo assim uma priorização quanto à criticidade, relacionada à probabilidade de rupturas e/ou erosões, e à severidade, associada ao impacto que os danos nos taludes causariam às pessoas e ao ativo. Foram definidos critérios para a avaliação da probabilidade de ocorrência de instabilizações e a severidade do evento. Dessa forma, características físicas, estruturais e geométricas foram consideradas, bem como foram observados os indicadores geológico-geotécnicos, hidrológicos e de danos. Essa abordagem possui extrema relevância para a geotecnia, possibilitando um diagnóstico semi-qualitativo dos taludes associados a obras lineares, podendo ser replicada para outros ativos, se devidamente adequada para a estrutura em análise.

PALAVRAS-CHAVE: Obras lineares, TCLD, metodologia, classificação de riscos, diagnóstico semi-qualitativo

ABSTRACT: The geotechnical assessment of slopes of linear infrastructure works, such as roads, railways, and conveyor belts, has been a major challenge due to their length, sometimes kilometers, and geological-geotechnical variability. Furthermore, for most of them, there is a precarious availability of information that supports studies, such as, for example, geotechnical tests, knowledge of local geology, structural and geomechanical information. Therefore, it is necessary to adopt a slope assessment methodology that uses existing information and is not purely qualitative. Thus, this article aims to present a case study of the evaluation of slopes adjacent to a Long-Distance Conveyor Belt (TCLD), located between two iron ore mines in the Iron Quadrangle, detailing the methodology developed for the classification of slopes by through a risk analysis. This methodology made it possible to reduce subjectivity in slope analyses, whence allowing prioritization regarding criticality, related to the probability of ruptures and/or erosion, and severity, associated with the impact that damage to slopes would cause to people and the asset. Criteria were defined to assess the

probability of instability occurring and the severity of the event. In this way, physical, structural, and geometric characteristics were considered, as well as geological-geotechnical, hydrological and damage indicators were observed. This approach is extremely relevant for geotechnics, enabling a semi-qualitative diagnosis of slopes associated with linear works, and can be replicated for other assets, if properly adapted to the structure under analysis.

KEYWORDS: linear infrastructure works, conveyor belt, methodology, risk analysis, semi-qualitative diagnosis.

1 INTRODUÇÃO

A avaliação geotécnica de taludes de obras de infraestrutura lineares, como estradas, ferrovias e correias transportadoras tem sido um grande desafio em função da extensão, por vezes quilométrica, e da variabilidade geológico-geotécnica. Além disso, em sua grande maioria, há uma precariedade na disponibilidade de informações que embasem os estudos como, por exemplo, ensaios geotécnicos, conhecimento da geologia local, informações estruturais e geomecânicas. Dessa forma, faz-se necessária a adoção de uma metodologia para avaliação dos taludes que utilize das informações existentes e não seja puramente qualitativa.

Para avaliar-se geotecnicamente os taludes de interface com uma Correia Transportadora de Longa Distância (TCLD), localizada entre duas minas de ferro do Quadrilátero Ferrífero, de 10.6 km de extensão, desenvolveu-se uma metodologia para classificação e priorização dos taludes críticos a partir da definição da probabilidade e severidade diante a ocorrência de ruptura e/ou erosão.

Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi a classificação mediante priorização conforme os riscos associados aos ativo geotécnico e industrial (taludes de entorno e TCLD) dos 53 pontos identificados que possuíam interface com a correia transportadora, com redução da subjetividade nas análises dos taludes (Figura 1). Além disso, fazia-se necessária uma celeridade na identificação e classificação desses pontos a fim de se obter um diagnóstico preliminar com a definição dos pontos de maior criticidade que necessitariam maiores estudos e intervenções. Outro ponto de suma relevância foi a falta de maiores informações geológico-geotécnicas dos taludes no momento do estudo, não havendo sido realizados mapeamento geológico-geotécnico, furos de sondagem e ensaios nos taludes que pudessem embasar um estudo com maior detalhamento. Sendo assim, este artigo irá apresentar metodologia desenvolvida para a classificação dos 53 pontos ao longo do trecho do TCLD, utilizando-se do ponto 52 para exemplificar-se a aplicabilidade do estudo.



Figura 1. Taludes de interface com o TCLD, com destaque para o Ponto 52.

2 METODOLOGIA

A metodologia consistiu-se na avaliação dos parâmetros de caracterização do local, as características geométricas do talude, os indicadores geológico-geotécnicos e seus aspectos gerais, a fim de diagnosticar-se os elementos de risco e as condicionantes geológico-geotécnicas, definindo assim, a probabilidade de ocorrência de rupturas e/ou erosões nos taludes.

Além disso, atribuiu-se pesos para cada parâmetro considerado, de acordo com a sua relevância como condicionante de ruptura e/ou erosão e, também, notas para cada atributo, penalizando as características que de alguma forma contribuem negativamente na estabilidade dos taludes, conforme exibido na Figura 1.

Em relação às características do local, avaliou-se a presença de cobertura vegetal, atribuindo-se uma maior nota para a inexistência de vegetação, tendo em vista que a ausência de cobertura vegetal contribui para a existência de processos erosivos. Já para as características geométricas, avaliou-se o ângulo de face do talude e o perfil geológico-geotécnico. Como essa classificação dos taludes é visual, adotou-se faixas mais abrangentes para cada parâmetro, de modo a facilitar a seleção do critério que melhor o ponto que está sendo analisado. Sendo assim, taludes com ângulo de face superiores ou iguais a 60° obtiveram maior nota, uma vez que taludes mais íngremes estão mais propensos à ruptura. No que se refere ao perfil geológico-geotécnico, identificou-se como crítico, desfavorável, condicionante ou irrelevante, de acordo com a susceptibilidade à processos erosivos, para os taludes em solo e para taludes rochosos, conforme a orientação das camadas, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Categorização conforme perfil geológico-geotécnico.

Ponderação	Maciço em Solo	Maciço Rochoso
Crítico	Solos friáveis e muito susceptíveis à erosão.	Atitude desfavorável das camadas, presença de fraturas abertas, blocos instáveis ou rocha muito fraturada.
Desfavorável	Solos friáveis e pouco susceptíveis à erosão.	Atitude desfavorável das camadas com rocha muito fraturada.
Condicionante	Solos pouco friáveis e susceptíveis à erosão.	Atitude desfavorável das camadas.
Irrelevante	Solo consolidado não apresentando aspectos erosivos.	Inexistência das feições anteriores.

Os indicadores geológico-geotécnicos avaliados foram os indicadores geotécnicos de campo, como a presença de árvores e/ou postes inclinados e/ou outras evidências de movimento, o material do talude (friável, rochoso ou misto), a situação da drenagem e sua eficiência, a presença de surgências, as condições hidrológicas e a presença de blocos soltos, trincas, erosões ou abatimentos. Nas condições hidrológicas, levou-se em conta a presença de cursos d'água nas proximidades, tendo em vista que no trecho avaliado existem diversos cursos d'água que interferem direta e/ou indiretamente nos taludes. Por fim, foi analisada a condição geral do talude, levando-se em conta a sua integridade.

Dentre os parâmetros avaliados, destacam-se o ângulo de face do talude e a presença de erosões e/ou abatimentos como os que mais influenciam na probabilidade de instabilização do talude por meio de ruptura e erosões, respectivamente. Sendo assim, a esses critérios atribuiu-se maior peso.

Em posse das informações referentes ao talude, fez-se possível definir-se a Classe de Probabilidade (CP) na matriz de risco, categorizando-se a probabilidade de ocorrência de processos instabilizadores no talude como “Muito Remoto”, “Remoto”, “Possível”, “Provável” e “Muito Provável”. A definição da métrica de classificação se deu a partir da identificação e separação dos critérios que estão relacionados à ocorrências de rupturas dos referentes à processos erosivos, bem como daqueles comuns aos dois mecanismos de instabilização. Dessa forma, para os parâmetros condicionantes de ruptura, considerando-se o pior cenário, a somatória da pontuação seria “500” e “600” para os critérios indicadores de erosão e, ainda, “500” para os aspectos comuns aos dois processos (Figura 2). Sendo assim, mesmo com a pontuação máxima possível sendo “1600”, considerou-se como “Possível” os taludes que apresentassem nota menor ou igual a “500” e maior que “300”, de acordo com o apresentado na Tabela 2.

Para a classificação da severidade, avaliou-se os indicadores de danos que são o domínio de influência (DI), ou seja, a extensão da interferência do talude com o seu ativo (TCLD), o alcance dos danos e seus impactos, a proximidade do talude com a correia transportadora, os impactos que uma eventual ruptura ou erosão podem ocasionar na produção, a proximidade com o acesso e, por fim, a altura do talude (H). Isto posto, definiu-se a Classe dos Danos (CD), classificando-se a severidade em “Leve”, “Moderado”, “Significativo”, “Crítico” e “Muito Crítico” (Tabela 2).

A partir da Classe de Probabilidade e da Classe de Danos, fez-se possível a classificação dos taludes na matriz de risco obtendo-se então, a priorização e hierarquização dos problemas detectados (Figura 3).

DIAGNÓSTICO DOS ELEMENTOS DE RISCO E CONDICIONANTES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS		1600
Local	50	
Cobertura Vegetal	Nota	
Inexistente	10	
Esparsa	6	
Intensa e descontínua	3	
Intensa e contínua ou desnecessária	0	
<i>Peso</i>	5	
Características Geométricas	500	
Ângulo de Face do Talude	Nota	
$\leq 30^\circ$	0	
$30^\circ < \alpha < 45^\circ$	3	
$45^\circ < \alpha < 60^\circ$	6	
$\geq 60^\circ$	10	
<i>Peso</i>	30	
Indicadores Geológico - Geotécnicos	1000	
Indicadores Geotécnicos de Campo	Nota	
Presença de árvores / poste inclinadas ou outros indicadores de movimento	10	
Ausência de árvores inclinadas	0	
<i>Peso</i>	10	
Situação da drenagem	Nota	
Drenagem danificada / interrompida / obstruída	10	
Drenagem natural deficiente	6	
Problemas estruturais no sistema de drenagem	6	
Drenagem mal dimensionada (extravasamento)	6	
Drenagem em boas condições	0	
<i>Peso</i>	20	
Condições Hidrológicas	Nota	
Presença de curso de água nas proximidades	10	
Drenagem pluvial	10	
Sem interferências	0	
<i>Peso</i>	5	
Presença de Trincas	Nota	
Trincas de grande extensão e/ou continuidade	10	
Trincas a mais de 2m da crista	6	
Trincas até 2m da crista	3	
Ausência de trinca	0	
<i>Peso</i>	10	
Características Gerais	50	
Situação Geral	Nota	
Deformações gerais	10	
Deformações locais	6	
Pequenas deformações	3	
Íntegro	0	
<i>Peso</i>	5	
DIAGNÓSTICO DOS INDICADORES DE DANOS	520	
Domínio de Influência	Nota	
DI > 10m - Generalizado	10	
6m < DI < 10m - abrangente	6	
3m < DI < 6m - localizado	3	
DI < 3m - pontual	0	
<i>Peso</i>	6	
Proximidade com Estruturas do TCLD	Nota	
≤ 1 m	10	
1 m < X < 3 m	6	
3 m \leq X < 10 m	3	
≥ 10 m	0	
<i>Peso</i>	10	
Proximidade do Acesso	Nota	
≤ 1 m	10	
1 m < X < 5 m	6	
5 m \leq X < 10 m	3	
≥ 10 m	0	
<i>Peso</i>	6	
Ruptura	500	
Erosão	600	
Comum	500	
Perfil Geológico-Geotécnico	Nota	
Crítico	10	
Desfavorável	10	
Condicionante	6	
Irrelevante	0	
<i>Peso</i>	20	
Material do Talude	Nota	
Solo / Rocha Friável	10	
Misto	6	
Rocha	3	
Não identificado	6	
<i>Peso</i>	5	
Presença de Surgências/ Umidade no talude	Nota	
Surgências / umidade ao longo do talude	10	
Surgências / umidade no pé do talude	6	
Acúmulo de água nas bermas ou platos	3	
Ausência de Surgências / Zonas de Umidade	0	
<i>Peso</i>	10	
Presença de Blocos Soltos	Nota	
Presença de Blocos Soltos de grande extensão	10	
Presença de Blocos Soltos de pequena extensão	6	
Ausência de Blocos Soltos	0	
<i>Peso</i>	10	
Presença de Erosões ou Abatimentos	Nota	
Erosões de grande extensão e/ou continuidade	10	
Erosões ou abatimentos profundos	6	
Erosões superficiais ou abatimento leve	3	
Erosões localizadas nas bermas ou platos	3	
Ausência de erosões ou Abatimento	0	
<i>Peso</i>	30	
Alcance dos Danos	Nota	
Fatal/perda equipamentos e/ou estruturas	10	
Danos a equipamentos e/ou estruturas	6	
Estruturas	3	
Inexistente	0	
<i>Peso</i>	10	
Impactos na Produção	Nota	
Paralisação total da produção	10	
Paralisação parcial	6	
Paralisação pontual	3	
Inexistente	0	
<i>Peso</i>	10	
Altura do Talude	Nota	
≤ 5 m	0	
5 m < H < 10 m	3	
10 m < H < 20 m	6	
≥ 20 m	10	
<i>Peso</i>	10	

Figura 2. Metodologia de classificação dos taludes: aspectos considerados e pesos.

Tabela 2. Métrica de classificação da Matriz de Risco.

CP - CLASSE DE PROBABILIDADE	
$CP \leq 150$	Muito Remoto
$150 < CP \leq 300$	Remoto
$300 < CP \leq 500$	Possível
$500 < CP \leq 700$	Provável
$CP > 700$	Muito Provável
CD - CLASSE DE DANOS	
$CD \leq 100$	Leve
$100 < CD \leq 200$	Moderado
$200 < CD \leq 300$	Significativo
$300 < CD \leq 400$	Crítico
$CD > 400$	Muito Crítico

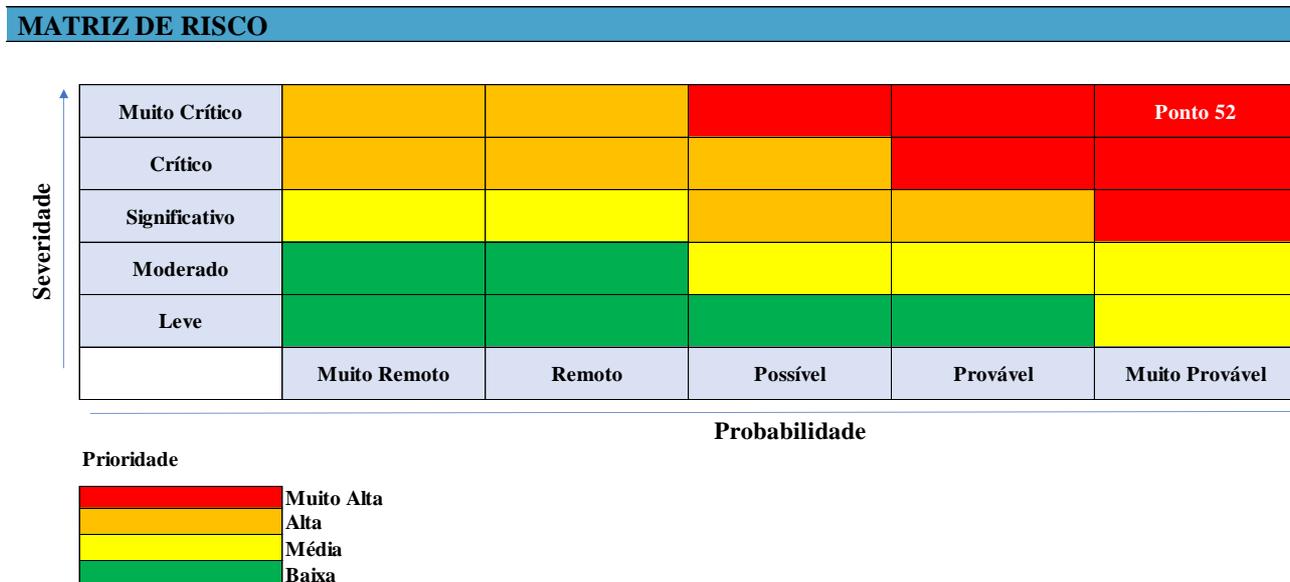


Figura 3. Matriz de Risco utilizada na classificação e priorização dos taludes, com destaque para o ponto 52.

3 ESTUDO DE CASO

Neste tópico será apresentada a aplicação da metodologia no Ponto 52 para a classificação de risco e identificação de sua prioridade. O talude do Ponto 52 apresenta uma erosão de grande porte, associada ao dano do sistema de drenagem pluvial, com ruptura da tubulação de drenagem. Trata-se de um talude com mais de 20 metros de altura, cujo ângulo de face (α) está na faixa de 30° a 45° que apresenta fluxo constante de água em sua face. Além disso, a erosão avança em sentido à uma das bases do TCLD (Figura 4).

A Tabela 3 exemplifica a utilização da metodologia na classificação visual do talude, levando-se em conta suas características e aspectos geológico-geotécnicos.

Como pode-se observar, o talude foi classificado como “Muito Provável”, “Muito Crítico” e, portanto, com prioridade “Muito Alta” (Figura 3).



Figura 4. Exemplo da aplicação da metodologia de classificação dos riscos – Ponto 52.

Tabela 3. Aplicabilidade da metodologia na classificação do Ponto 52.

DIAGNÓSTICO DOS ELEMENTOS DE RISCO E CONDICIONANTES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS					
Local		Nota	Peso	Total	
Cobertura vegetal	Inexistente	10	5	50	
Características Geométricas		Nota	Peso	Total	
Ângulo de Face do Talude	$30^\circ < \alpha < 45^\circ$	3	30	90	
Perfil Geológico-Geotécnico	Crítico	10	20	200	
Indicadores Geológico - Geotécnicos		Nota	Peso	Total	
Indicadores Geotécnicos de Campo	Presença de árvores/poste inclinadas ou outros indicadores de movimento	10	10	100	
Material do Talude	Solo/Rocha Friável	10	5	50	
Presença de Trincas	Ausência de trinca	0	10	0	
Presença de Surgências/ Umidade no talude	Surgências/umidade ao longo do talude	10	10	100	
Condições Hidrológicas	Drenagem pluvial	10	5	50	
Presença de Blocos Soltos	Ausência de Blocos Soltos	0	10	0	
Presença de Erosões ou Abatimentos	Erosões ou abatimentos profundos	6	30	180	
Situação da drenagem	Drenagem danificada / interrompida / obstruída	10	20	200	
Características Gerais		Nota	Peso	Total	
Situação Geral	Deformações gerais	10	5	50	
Nota Total	1070 (CP > 700)	Muito Provável			
DIAGNÓSTICO DOS INDICADORES DE DANOS		Nota	Peso	Total	
Domínio de Influência	DI > 10m - Generalizado	10	6	60	
Alcance dos Danos	Danos a equip./estruturas	6	10	60	
Impactos na Produção	Paralisação total da produção	10	10	100	
Proximidade com Estruturas do TCLD	$1\text{ m} < X < 3\text{ m}$	6	10	60	
Proximidade do Acesso	$1\text{ m} < X < 5\text{ m}$	6	6	36	
Altura do Talude	$\geq 20\text{ m}$	10	10	100	
Nota Total	416 (CD > 400)	Muito Crítico			

4. CONCLUSÃO

A metodologia apresentada possibilitou a redução da subjetividade nas análises dos taludes, permitindo assim uma priorização quanto à criticidade, relacionada à probabilidade de rupturas e/ou erosões, e à severidade, associada ao impacto que os danos nos taludes causariam às pessoas e ao ativo. Foram definidos critérios para a avaliação da probabilidade de ocorrência de instabilizações e a severidade do evento. Dessa forma, características físicas, estruturais e geométricas foram consideradas, bem como foram observados os indicadores geológico-geotécnicos, hidrológicos e de danos. Essa abordagem possui extrema relevância para a geotecnia, possibilitando um diagnóstico semi-qualitativo dos taludes associados a obras lineares, podendo ser replicada para outros ativos, se devidamente adequada para a estrutura em análise.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao constante apoio e incentivo dos nossos líderes, colegas da geotecnia da Vale e dos familiares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, S. M. (2014). *Metodologia para análise de riscos geotécnicos em taludes de ferrovias-estudo de caso: Estrada de Ferro Vitória-Minas*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Núcleo de Geotecnia, 109p.
- Carriel, B. R., Gomes, R. C., Ferreira, L. D., Couto, B. D. O. C., Corteletti, R. C. (2014). *A Utilização de Cartas Geotécnicas de Suscetibilidade como Ferramenta de Gestão de Ferrovias–Estudo de Caso: Ferrovia Vitória-Minas*. Congresso Brasileiro de Mecânica de Solos e Engenharia Geotécnica.
- Corteletti, R. C. (2017). *Metodologia para análise de riscos geológico-geotécnicos em ferrovias: Estrada de Ferro Carajás (EFC)*. Editora UFOP, Ouro Preto, 222 p.
- Corteletti, R. C. (2014). *Proposta de metodologia para análise de riscos geológico-geotécnicos em ferrovias estudo de caso: Estrada de Ferro Carajás (EFC)*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Núcleo de Geotecnia, 135p.
- Corteletti, R. C., Gomes, R. C. (2011). *Estudo de Identificação de Trechos com Riscos Geotécnicos com Base na Setorização Geológica Geotécnica em Obras Linerares - Modelo Aplicado Na Estrada De Ferro De Carajás Pará/ Maranhão, Brasil*. 13º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental.
- Kochen, R. (2006). Dutos e obras lineares: condicionantes geológicas-geotécnicas para projeto e construção. *Rev Engenharia*, n. 575, p.80-81.
- Santos, R. N. C. (2006). *Enquadramento das Análises de Risco em Geotecnia*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT-UNL), Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa, 231p.