**26º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR)**
**49ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv)**

# ANÁLISE DA ESTABILIDADE DE TALUDES EM MACIÇO ROCHOSO EM TRECHOS DAS RODOVIAS PE-160 E BR-104 COM ENFASE DA SEGURANÇA VIÁRIA

***Shirley Minnell Ferreira de Oliveira[1]; Tallys Celso Mineiro[2]***

**RESUMO**
Estudos de segurança viária são fundamentais para intervenção em rodovias que apresentam níveis elevados de ocorrências de sinistros de trânsito. E nesse sentido, foi verificado vários acidentes ocorridos nos trechos das rodovias PE-160 e BR-104/PE, provocados pelas instabilidades dos taludes na região em questão. É comum em obras rodoviárias o corte de maciços rochosos resultando em encostas, que necessitam de estabilidade para o pleno funcionamento das suas vias geratrizes. Com o intuito de minimizar os níveis de sinistros de trânsito decorrentes das instabilidades dos taludes, este estudo pretende analisar encostas provenientes da duplicação do trecho da PE-160 e BR-104/PE entre os municípios de Santa Cruz do Capibaribe e Toritama, com o objetivo de verificar a estabilidade das mesmas utilizando classificações geomecânicas como ferramentas de quantificação e qualificação. Foi realizado um levantamento dos locais que mais vem sofrendo sinistros de trânsito no trecho devido aos problemas decorrentes das encostas. Posteriormente foi realizada a verificação da estabilidade dos taludes utilizando o RMR (Rock Mass Rating) e SMR (Slope Mass Rating). Com os dados obtidos em campo, calculou-se o RMR dos maciços e este valor foi utilizado para a determinação do SMR que qualifica a condição de estabilidade global do talude. Os resultados obtidos identificaram situações de estabilidade global nos taludes contudo, observou-se instabilizações localizadas, e para tais condições mínimas, metodologias de melhoramento e proteção foram sugeridas. Logo, a utilização de estudos de estabilidade de taludes como este, podem auxiliar na verificação das condições de segurança viária da rodovia assegurando-as ou antevendo incidentes e sinistros de trânsito e, ajudando em tomadas de decisões.

**PALAVRAS-CHAVE:** Segurança viária; geomecânicas; estabilidade de taludes; SMR; RMR.

**ABSTRACT**
Road safety studies are essential for intervention on highways that have high levels of accidents. In this sense, several accidents occurred on the stretches of the PE-160 and BR-104/PE highways, caused by the occurrence of slope instability on this stretch. It is common in road works to cut rock masses resulting in slopes, which require stability for the full functioning of their generating lines. In order to minimize the levels of accidents resulting from slope instabilities, this study intends to analyze slopes resulting from the duplication of the stretch of PE-160 and BR-104/PE between the municipalities of Santa Cruz do Capibaribe and Toritama, with the objective of verify their stability using geomechanical classifications as quantification and qualification tools. A survey was carried out of the places that have suffered the most accidents on the stretch due to problems arising from the slopes. Subsequently, the stability of the slopes was checked using RMR (Rock Mass Rating) and SMR (Slope Mass Rating). With the data obtained in the field, the RMR of the masses was calculated and this value was used to determine the SMR that qualifies the global stability condition of the slope. The results obtained identified situations of global stability in the slopes; however, localized instability was observed, and for such minimal conditions, improvement and protection methodologies were suggested. Therefore, the use of slope stability studies like this one can help verify the road safety conditions of the highway, ensuring them or anticipating incidents and accidents, and helping with decision-making.

**KEY WORDS:** Road safety; geomechanics; slope stabilit; SMR; RMR.

**[1] UFPE, e-mail: shirley.minnell@ufpe.br**
**[2] UFPE, e-mail: tallys.mineiro@ufpe.br**

## INTRODUÇÃO

O transporte rodoviário, no Brasil, é o principal modo de transporte de cargas. Uma rodovia é capaz de alterar os padrões socioeconômicos de determinadas regioes, seja por meio de produtos de importação ou exportação. Devido a isso, as grandes empresas normalmente tendem a se instalar em laterais de rodovias, em função da facilidade de emissão ou recebimento de mercadorias de outros locais (PEREIRA et al., 2015).

Neste cenário, o trecho da BR-104 objeto deste estudo está completamente inserido no Estado de Pernambuco, e se inicia no entroncamento da PE-160 (Pão de Açúcar) no município de Taquaritinga do Norte e finaliza no entroncamento da PE-149 (Agrestina) no município de Caruaru.

Dados coletados no posto da Polícia Rodoviária Federal localizado no trecho de estudo no período entre janeiro de 20013 e abril de 20018, mostram que nos 51,4 km abrangidos neste estudo (km 19,8 - 71,2), 77 pessoas perderam a vida e 860 ficaram feridas em 1.072 registros de acidentes de diversas tipologias ocorridos.

Conforme dados da Polícia Rodoviária Federal, os fatores que mais influem os índices de sinistros de trânsito nas rodovias do Brasil são: a falta de conservação das estradas (incluindo os taludes), o sono e a imprudência dos condutores nas ultrapassagens em lugares proibidos. Estes são os maiores responsáveis pelo alto nível de sinistros de trânsito nas estradas. No caso da BR-104, os tipos de acidentes mais freqüentes estão relacionados com atropelamentos de pedestres, colisões, instabilidades dos taludes e atropelamentos de animais causados pelo precário estado de manutenção da cerca que delimita a faixa de domínio, que em alguns trechos, chega a ser inexistente. Ainda são freqüentes os casos de saída da pista, capotagem e outros.

No cenário das possíveis causas dos sinistros de trânsito no trecho da rodovia PE-160 e BR-104/PE, foi realizado um foco na falta da conservação da rodovia quanto a estabilidade dos taludes.

Estas condições de instabilidade intrínsecas são concebidas devido as características morfológicas e geológicas do maciço, assim como, as conformações fisiográficas onde este se encontra. Na existência de interação exterior, a qual pode-se alterar alguns condicionantes estabilizadores e, consequentemente, incidir na ocorrência da alteração do meio físico original é fatídica a aceleração dos processos de desestabilização dos taludes.

Consoante Goodman (1989), instabilizações em taludes rochosos podem acarretar em risco de rupturas e deslizamentos de blocos de rochas, estes fenômenos podem ocorrer de diferentes maneiras, e bastante complexas quando existem múltiplas famílias de descontinuidades em um mesmo maciço. Contudo, estas instabilizações podem ser analisadas de acordo com três tipos de rupturas, sendo elas planas, em cunha e por tombamento.

Essas possibilidades de ruptura quando analisadas cinematicamente ou por meio de classificações geomecânicas podem ter suas estabilidades avaliadas, e pode-se antever padrões de rompimento de taludes a fim de se mitigar os danos materiais causados.

Logo, a avaliação da estabilidade de certas conformações de taludes rochosos, como os encontrados em obras rodoviárias, podem ser executadas por meio de metodologias empíricas como as classificações geomecânicas RMR – Rock Mass Rating e SMR – Slope Mass Rating.

O RMR é um sistema de classificação que leva em consideração fatores geotécnicos físicos do maciço rochoso como a qualidade da rocha constituinte (RQD) e algumas características das

descontinuidades ocorrentes (BIENIAWSKI, 1989). Enquanto, o SMR configura-se como uma adaptação do RMR, mas que engloba fatores que efetuam uma análise cinemática do talude no maciço rochoso (ROMANA, 1993).

Assim sendo, em obras rodoviárias, por serem de extrema importância social, as quais ocorram a presença de taludes rochosos é necessário se estudar e compreender a susceptibilidade de movimentações de blocos de rochas ou rupturas de encostas sobre a pista, a fim de se evitar eventuais interdições para manutenção destas ocorrências ou até mesmo danos aos usuários de tais rodovias. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é analisar as condições de estabilidade de taludes rochosos ao longo de um trecho de duplicação da PE-160 e BR-104 por métodos geomecânicos entre os municípios de Santa Cruz do Capibaribe e Toritama visando a segurança viária da rodovia.

Para alcançar o objetivo proposto foi realizado os pontos críticos de instabilização dos taludes que inviabilizam a segurança viária, Determinação da classificação geomecânica RMR a partir de propriedades físicas e mecânicas do maciço rochoso (resistência da rocha intacta, RQD) e suas descontinuidades (influência da água, persistência, rugosidade, espaçamento, abertura, preenchimento e alteração), aplicação da metodologia de classificação geomecânica SMR para verificar a estabilidade dos taludes de maciço rochoso com probabilidade de ruptura planar e por fim, determinar os possíveis tipos de escorregamentos nos taludes dos maciços rochoso.

## METODOLOGIA

A área de estudo escolhida para o presente trabalho situa-se no trecho do entroncamento da PE-160 e BR-104, no município de Santa Cruz do Capibaribe/PE. A escolha baseou-se, principalmente, pela importância do trecho que dá acesso ao polo comercial de confecções da região que proporciona um fluxo considerável de veículos durante seu funcionamento e contribui para o escoamento das mercadorias têxteis do estado; bem como pela origem e conformação das encostas que, em sua maioria, são originárias devido ao processo de duplicação do trecho em estudo.

A Figura 1 mostra o trecho estudado, que compreende aproximadamente 16,2 km, e a localização dos 3 taludes analisados.

O posicionamento, em coordenadas, dos taludes ao longo do trecho encontra-se na Tabela 1, enfatizando que a coleta destes dados foi feita mediante uso da aplicação Bússola do iPhone.

Geologicamente, consoante o Serviço Geológico do Brasil – CPRM (2017), a região de estudo situa-se na porção centro-leste da Província Borborema, a qual é compreendida essencialmente por litotipos pré-cambrianos e pequenos percentuais de rochas cenozóicas.

Tabela 1. Coordenadas de latitude e longitude dos taludes analisados. (MINEIRO, 2021)

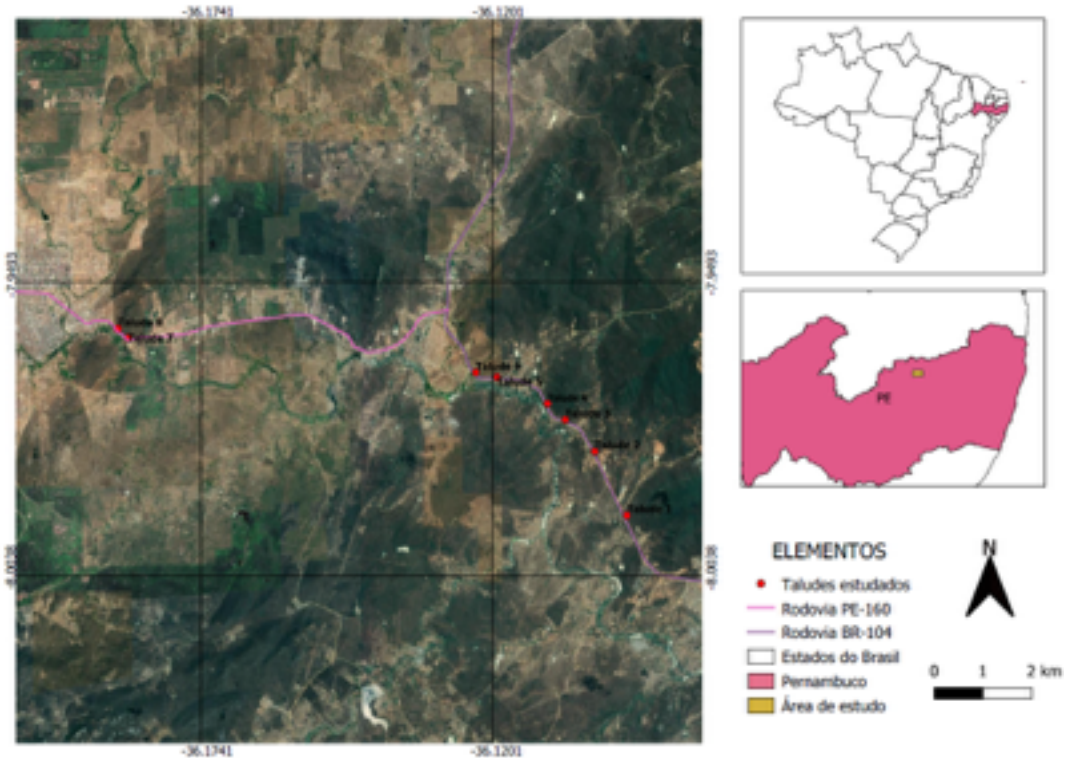


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo. (MINEIRO, 2021)

A geologia foi caracterizada principalmente por ortognaisses migmatitícos e sequências supracrustais agrupadas em diferentes complexos e numerosos plútons neoproterozóicos. Além disso, no subdomínio Rio Capibaribe a maioria dos afloramentos foi evidenciada por ortognaisses de composição granitíca e com metanortositos, caracterizando, portanto, a qualidade e competência dos maciços rochosos da localidade (CPRM, 2017).

Com relação ao levantamento geológico e geotécnico a obtenção das altitudes dos taludes e descontinuidades foi utilizado uma bússola digital, os demais parâmetros relativos as condições geológico-geotécnicas das descontinuidades foram obtidos com o uso de uma fita métrica e uma régua graduada. É importante salientar que certas especificações se obtém a partir de reconhecimento tátil e visual. As descrições obtidas seguiram as normativas da International Society of Rock Mechanics - ISRM (1981) e foram averiguadas consoante as metodologias e terminologias padronizadas por Bieniwaski (1989) e Romana (2003).

Logo, buscou-se verificar as seguintes condições determinísticas para o processamento do índice RMR, que estão descritos na Tabela 2 com suas respectivas faixas de pesos. Estes pesos são somados gerando, por conseguinte, o RMR. No que concerne a resistência da rocha intacta, a mesma pode ser determinada por meio do uso de um esclerômetro de Schmidt ou por meio do uso de um martelo petrográfico, que foi a metodologia adotada no presente trabalho. As normativas da ISRM (1978) esclarecem como determinar uma faixa de resistência para cada amostra.

Tabela 2 . Parâmetros necessários para o cálculo do RMR. (Adaptado BIENIAWSKI, 1989)

| PARÂMETRO | FAIXA DE PESO |
|---|---|
| Resistência da rocha intacta (UCS) | 0-15 |
| RQD (Rock Quality Designation) | 0-20 |
| Espaçamento das descontinuidades | 0-20 |
| Padrão das descontinuidades | 0-30 |
| Ação da água nas descontinuidades | 0-15 |

Enquanto que para a obtenção do RQD, segundo parâmetro requerido para o RMR e normalmente obtido em ensaio específico de sondagem em rocha, neste caso foi obtido através de correlação. Palmstrom (2005) propôs uma correlação entre o RQD e a densidade volumétrica de descontinuidades por metro cúbico ou densidade volumétrica de juntas (Jv), indicada na Equação 1.

$$RQD\ (\%) = 115 - 3{,}3(Jv) \quad (1)$$

Tal correlação assume valor nulo quando a densidade de juntas é maior que 35 e assume valor total para casos em que a densidade seja menor que 4,5.

A densidade volumétrica de juntas, todavia, concerne na quantidade de juntas que interceptam um metro cúbico e é regida pela soma das frações de quantidade de juntas de uma determinada família de descontinuidades pelo seu comprimeito de análise (Palmstrom, 2005). A Equação (2) mostra o processo de cálculo da densidade volumétrica de juntas (Jv).

$$Jv = 1/S1 + 1/S2 + ... + 1/Sn \quad (2)$$

Sendo S1, S2 e Sn a média dos espaçamento das juntas.

Deere (1967) designou uma classificação de acordo com a desempenho dos maciços rochosos a partir do RQD.

Outro parâmetro analisado é o espaçamento entre as descontinuidades que se agrupam em uma determinada família, tal valor associa-se as dimensões dos blocos formadores do maciço, e foi devidamente averiguado consoante a ISRM (1981).

A persistência corresponde a extensão mensurada de uma descontinuidade em um plano, e caracteriza-se como sendo de grande importância, pois normalmente condiciona o plano de ruptura da encosta rochosa. A ISRM (1981) determinou padrões de classificação para a persistência.

A abertura consiste na distância entre as faces das superficies limitrófes da junta e pode variar durante sua persistência. Novamente, a ISMR determinou as terminologias de classificação para tal requisito.

A rugosidade é uma propriedade, inerente as juntas, que determina o padrão de irregularização das suas superficies e sua importância consiste em afetar diretamente na resistência ao deslizamento das juntas. Neste trabalho, a metodologia adotada para a classificação da rugosidade foi a utilização da

determinação visual por scanline proposta por Barton et al. (1977) através do Joint Roughness Coefficient (JRC), índice tal que determina desde superfície lisa até uma superfície muito rugosa.
O preenchimento concerne no material que integra o espaço entre as paredes adjacentes das descontinuidades. Normalmente originário do intemperismo físico que a rocha foi submetida ou transportado pela água, bem como pode ser inexistente dependendo da mineralogia do maciço. Este conceito com suas propriedades inerentes controla o comportamento da descontinuidade. Neste estudo será utilizada a terminologia descripta na Tabela 3 e proposta por Bieniawski (1989).

Tabela 3**.** Classificação do preenchimento de descontinuidades. (Adaptado BIENIAWSKI, 1989)

| **DESCRIÇÃO DO PREENCHIMENTO** |
|---|
| Nenhum |
| Resistente com espessura < 5mm |
| Resistente com espessura > 5mm |
| Mole com espessura < 5mm |
| Mole com espessura > 5mm |

A última caracterização proposta para definir o padrão da descontinuidade é o grau de alteração da rocha que corresponde as condições de decomposição, desagregação e intemperização da mesma. Existem dois tipos de alteração: desintegração mecânica e decomposição química. Na maioria dos casos, as duas resultantes agem concomitantemente; no entanto, dependendo do regime climático uma delas pode ser dominante. A alteração mecânica resulta na abertura de descontinuidades, na formação de novas juntas pelo fraturamento da rocha e a abertura ou clivagem de regiões mineralizadas. Enquanto a decomposição química resulta na descoloração da rocha e conduz a decomposição de silicatos em materiais argilosos (ISRM, 1978). A terminologia da classificação foi determinada pela ISRM.
Por fim, o parâmetro final analisado é relativo a ação da água na estruturação da descontinuidade. De crucial relevância para a determinação do RMR, pois a mesma é um fator instabilizante e que corresponde a mais simples das caracterizações, uma vez que sua especificação se dar de forma tátil e visual. A classificação adotada é descrita por Bieniawski, (1989).
O processamento dos dados para o cálculo do RMR e SMR foram obtidos através da associação de cada parâmetro classificado com seu respectivo peso na sistemática estipulada por Bieniwaski (1989) para calcular o RMR.
Bieniawski (1973) qualificou os referidos índices de RMR de acordo com a capacidade autoportante do maciço rochoso. Para a determinação do índice SMR, proposto por Romana (1985) como uma contribuição os sistema de classificação de Bieniawski (1989), utiliza-se como base o valor do RMR adicionado de uma multiplicação de fatores que se definem intrinsicamente a conformidade geométrica de estruturação do talude e suas descontinuidades, bem como a adição de um fator relativo a metodologia de corte do maciço.

Após calculados os índices RMR e SMR, os taludes e seus respectivos maciços rochosos foram classificados de acordo com sua estabilidade, bem como analisadas as prováveis e eventuais rupturas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Mediante visita de campo, para cada talude, foram coletados direção e inclinação, direções geológicas e mergulho das respectivas famílias de descontinuidades, e adicionalmente a quantidade de juntas por metro que estavam presente em pontos mais críticos para o cálculo da densidade das mesmas.

A densidade foi obtida pela soma das descontinuidades, uma vez que o volume analisado para o conjunto de famílias foi de 1 m³ e, por conseguinte, obteve-se por correlação o RQD. Os referidos dados podem ser vistos na Tabela 4.

Tendo em vista a heterogeneidade dos maciços e as práticas de corte, os taludes de certa forma não tem uma inclinação definida para sua extensão total, bem como para uma mesma seção pode-se haver irregularidades. Desse modo, a inclinação adotada foi tal que configurasse pela estatística de medida central das inclinações presentes de forma aproximada. Os mergulhos negativos caracterizam descontinuidades que adentram o talude, possibilitando, então, uma ruptura por tombamento.

Em geral, os taludes pela conferência de resistência da rocha intacta ou Ensaio de Compressão Simples (UCS) se mostraram competentes ao ponto de serem necessários vários golpes para a fratura pela metodologia de campo, isto geologicamente, se deve ao fato de tais maciços serem provenientes em sua maioria de ações igneas, uma vez que os mesmos são compostos por granitóides.

No que concerne as descontinuidades, de forma genérica, possuem persitência consideráveis com aberturas que podem variar de 1 mm à maiores que 5 mm sem presença considerável de preenchimento e sob condições secas, variando com significância suas alterações e rugosidades.

Tabela 4. Caracterização dos taludes e suas respectivas famílias. (MINEIRO, 2021)

| TALUDE | DIREÇÃO | INCLINAÇÃO | FAMÍLIA | DIREÇÃO GEOLÓGICA | MERGULHO | $N_{JUNTAS}$/m | $J_V$ | RQD |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 348° N | 75° | F1 | 156° SE | 26° | 5 | 8 | 91 |
| | | | F2 | 148° SE | 90° | 1 | | |
| | | | F3 | 59° NE | 81° | 2 | | |
| 2 | 312° NO | 70° | F4 | 58° NE | 32° | 3 | 9 | 88 |
| | | | F5 | 85° L | -49° | 3 | | |
| | | | F6 | 320° NO | 85° | 3 | | |
| | | | F8 | 28° NE | 90° | 4 | | |
| 3 | 342° NE | 70° | F7 | 125° SE | -22° | 9 | 13 | 76 |
| | | | F8 | 28° NE | 90° | 4 | | |

Os taludes em sua maioria são semelhantes tendo alturas por volta dos 5 metros e extensões de 100 à 200 metros, sendo somente o talude 3 distinto com altura de aproximadamente 20 metros. Pode-se observar nas Figuras de 2 à 4 os taludes ou regiões deles, respectivamente.

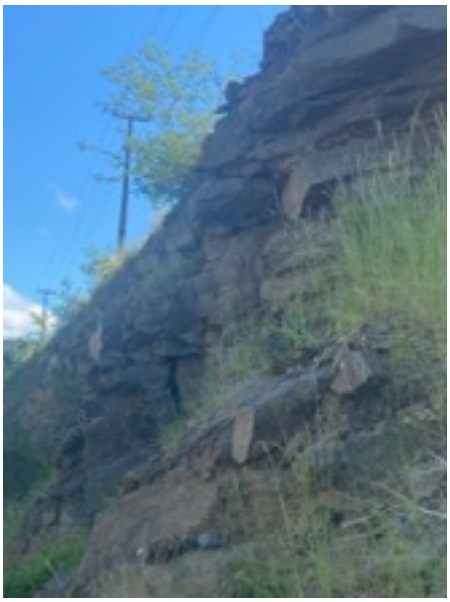

Figura 2. Talude 1. (MINEIRO, 2021)

Figura 3. Talude 2. (MINEIRO, 2021)

Figura 4. Talude 3. (MINEIRO, 2021

Os índices de classificação RMR, foram compilados de acordo com Bieniawski (1973), a partir dos dados coletados em campo, e posteriormente serão base para a determinação do SMR. Este valor corresponde a competência do maciço rochoso e tem amplitude de valores que vai de 0 à 100. A Tabela 5 expõe as condições em que se encontram as descontinuidades e o maciço rochoso de acordo com seus respectivos pesos.

Tabela 5. Determinação dos índices RMR por família de descontinuidade. (MINEIRO, 2021).

| TALUDE | FAMÍLIA | UCS | RQD | ESPAÇAMENTO | PERSISTÊNCIA | ABERTURA | RUGOSIDADE | PREENCHIMENTO | ALTERAÇÃO | ÁGUA | RMR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | F1 | 15 | 20 | 8 | 2 | 0 | 5 | 6 | 3 | 15 | 74 |
| | F2 | 15 | 20 | 15 | 2 | 0 | 5 | 6 | 3 | 15 | 81 |
| | F3 | 15 | 20 | 10 | 2 | 0 | 5 | 6 | 3 | 15 | 76 |
| 2 | F4 | 15 | 17 | 10 | 2 | 1 | 5 | 6 | 3 | 15 | 74 |
| | F5 | 15 | 17 | 10 | 2 | 0 | 5 | 6 | 3 | 15 | 73 |
| | F6 | 15 | 17 | 10 | 2 | 0 | 1 | 6 | 3 | 15 | 69 |
| 3 | F7 | 15 | 13 | 5 | 2 | 1 | 1 | 6 | 1 | 15 | 59 |
| | F8 | 15 | 13 | 8 | 2 | 0 | 1 | 6 | 1 | 15 | 61 |

Em geral, para cada talude, sugere-se o estabelecimento do menor índice encontrado dentre as famílias analisadas a fim de se estar a favor da segurança. Os resultados evidenciam uma boa qualificação e competência dos taludes, com maciços rochosos variando de bom a muito bom, excetuando-se o talude 3 que tem maciço classificado como regular (Classe III).

Para o cálculo do SMR optou-se somente analisar as famílias de descontinuidades que tinham mais chances de acontecer uma ruptura planar e para isto foram utilizados os índices RMR das respectivas famílias. Consequentemente, foram analisadas as famílias 1 (Talude 1) e 4 (Talude 2); devido aos mergulhos relativos a inclinação dos seus respectivos taludes. Encontrou-se os seguintes resultados para a obtenção do índice SMR, que são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Valores empíricos do fator F4. (MINEIRO, 2021)

| TALUDE ESTUDADO | F1 | F2 | F3 | F4 | RMR | SMR |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Talude 1 | 0,15 | 0,2378 | -29,71 | 0 | 74 | 73 |
| Talude 2 | 0,15 | 0,3904 | -29,57 | 0 | 74 | 72 |

Assim sendo, com os respectivos valores de SMR para cada talude, pode-se determiner a classe do maciço de acordo com as conformidades geométricas em que ele se encontra, a Tabela 7 mostra a qualificação proposta por Romana (2003). Romana ainda determinou a qualidade da estabilidade do maciço, assim como os prováveis tipos de ruptura das encostas.

Tomando como base os valores de SMR encontrados, é fatídico que as famílias analisadas em geral encontram-se estáveis, pois ficaram categorizadas na classe II. Contudo, como previsto por Romana (2003), mínimas rupturas ainda podem ser observadas considerando a metodologia de corte e também o estado em que os taludes se encontram.

Esta seção destina-se aos comentários das eventuais rupturas que possam vir acontecer com o passsar do tempo, o desgaste estrutural do talude e suas possíveis metodologias de melhoramento. Embora os taludes estejam agrupados em classes estáveis, as conformações de suas descontinuidades podem promover instabilidades mínimas e locais em certas partes do talude. Isto provém do fato de o RMR classificar o maciço de forma global sem levar em conta suas conformizações geométricas localmente.

A seguir destacam-se as prováveis rupturas, para cada família de descontinuidade, de acordo com sua classificação na Tabela 7, tais rupturas são antevistas de acordo com a direção e mergulho de cada junta observados em campo.

Tabela 7. Tipo de provável ruptura observada em campo para cada família/ (MINEIRO,2021).

| TALUDE | FAMÍLIA | TIPO DE RUPTURA |
|---|---|---|
| 1 | F1 | Ruptura planar |
| | F2 | Ruptura por tombamento |
| | F3 | Ruptura planar/Ruptura em cunha |
| 2 | F4 | Ruptura planar |
| | F5 | Ruptura por tombamento |
| | F6 | Ruptura em cunha |
| 3 | F7 | Ruptura por tombamento |
| | F8 | Ruptura por tombamento |

Assim sendo, alguns taludes merecem ser destacados devido a algumas irregularidades ou peculiares configurações. O mais crítico deles, o talude 3, devido ao seu mediano RMR e sua alta densidade de juntas apresentará ocorrências frequentes de rupturas por tombamento. Contudo, seu correto distanciamento à valeta da rodovia induz suas instabilidades a serem depositadas no pé do talude sendo, portanto, uma boa prática de engenharia.

Em resumo, constatada a estabilização dos referidos taludes e suas zonas e características de falha é possível deliberar metodologias de correção para as prováveis instabilizações dos mesmos. Romana (2003) propõe que para os taludes com SMR entre 25 e 65 aproximadamente existe a possibilidade da utilização de concreto projetado para a estabilização das pequenas quedas e para os taludes com índices variando de 45 à 75 aproximadamente possam ser aplicadas, alternativamente, telas de contenção metálicas.

No presente caso, as proposições de melhoramento concernem na retirada dos blocos grandes em contrapartida ao atirantamento e a limpeza dos blocos de menor porte nos casos em que sejam viáveis. Para o talude 4, sugere-se o rearranjo da base do mesmo e a verificação da estabilidade nas zonas onde os fenômenos de desgaste ocorrem após a sua reconformação.

## CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho é utilizar os conceitos e metodologias de Mecânica das Rochas na intenção de caracterizar geológico-geotecnicamente os taludes rochosos originados pelo processo da duplicação de trechos da rodovia PE-160 e BR-104, tal caracterização utilizou a metodologia dos índices Rock Mass Rating (RMR) e Slope Mass Rating (SMR) a fim de verificar a estabilidade dos taludes.

Analisou-se 3 taludes, os quais demonstraram condições estáveis com índices RMR de ótimos à regulares e tendências de rupturas planares globais controladas, evidenciando somente prováveis danos mínimos que são em sua maioria contidas pelas valas de drenagem ou espaçamento entre o talude e a rodovia, não causando danos consideráveis.

Por motivo de segurança, é sugerido somente a limpeza e retirada de blocos dos taludes como tática de melhoramento das condições dos taludes, uma vez que os índices definem taludes competentes.
Expressar a qualidade de um maciço rochosos em um único índice sempre tem suas dificuldades, pois de certa forma é impraticável a contagem e catalogação de todas as descontinuidades presentes no maciço, que são diversas. Neste trabalho, analisou-se somente as descontinuidades que favoreciam condições de instabilidade, por observação em campo. Contudo, há descontinuidades que quando analisadas em interação com outras podem promover certas situações de desestabilidade.
Por fim, trabalhos de análise de estabilidade de taludes como este, são fundamentais para verificar as condições estruturais de taludes, e as práticas executivas em obras lineares para cortes em maciços. Portanto, certificando a segurança de estruturas como estas ou antevendo ocorrências danosas e minimizando os riscos à sociedade.
Além de, academicamente, contribuir para a difusão dos conhecimentos de Mecânica das Rochas EDA segurança viária, pouco conhecidos por estudantes de engenharia, bem como, socialmente, apresentando seguridade, melhoramentos alternativos para obras civis como esta e ajudando em futuras tomadas de decisões.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


BARTON, N., CHOUBEY, V. **The shear strengh of rock joints in theory and practice**. Rock Mechanics. Vienna: Springer. P 1-54. 1977.

BIENIAWSKI, Z. T. **Engineering classification of jointed rock masses.** Transactions of South Africa Institute of Civil Engineers. v. 15, p. 355-344. 1973.

BIENIAWSKI, Z. T. **Engineering rock mass classifications**. New York, John Wiley. 251p. 1989.

CPRM . **Geologia e recursos minerais da folha Santa Cruz do Capibaribe – SB.24-Z-D-VI**. Recife. 2017.

DEERE, D. U.; HENDRON, A. J.; PATTON, F. D.; CORDING, E. J. **Design of surface and near-surface construction in rock**. Symposium on Rock Mechanics – American Institute Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers. Mineapolis. p. 237-302. 1967.

GOODMAN, R. E. **Introduction to rock mechanics**. 2nd ed. Willey. New York. 562p. 1989.

ISRM (INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS). **Basic geotechnical description of rock masses**. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & geomechanics Abstracts. v. 18: p. 85-110. 1981

ISRM (INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS). **Suggested Methods for the Quantitative Description od Discontinuities in Rock Masses**. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & geomechanics Abstracts. v. 15: p. 319-368. 1981.

MINEIRO, T. C. Classificação geomecânica e análise da estabilidade de taludes em maciço rochoso em trechos das rodovias PE-160 e BR-104. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Pernambuco. 2021.

PALMSTROM, A. **Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD)**. Tunneling and Underground Space Technology. v. 20: p. 362-377. 2005.

PEREIRA, Flávia Oliveira et al. Logística de transporte: Um estudo de caso dos desafios do transporte rodoviário para as operações de comércio exterior no Sul de Minas Gerais. 12° Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2015, Varginha - MG. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos15/9122283.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2024.

ROMANA, M. **A geomechanics classification for slopes: slope mass rating**. Comprehensive Rock Engineering. London: Pergamon. p. 575-600. 1993.

ROMANA, M. **New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes**. International Symposium on the Role of Rock Mechanics – ISRM. Zacatecas. p. 49-53. 1985.

ROMANA, M.; SERÓN, J. B.; MONTALAR, E. **SMR geomechanics classification: application, experience and validation**. Journal Nielen van der Merwe. 10th Congress of the International Society for Rock Mechanics. Saldton. p. 8-12. 2003.