CARACTERIZAÇÃO GEOMECÂNICA E ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDES ROCHOSOS

Rafaella Resende Amaral Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais rafaellaresende.rra@gmail.com

Laura Adriele Moura da Silva Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Allan Erlikhman Medeiros Santos Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Guilherme Alzamora Mendonça Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

> Denise de Fátima Santos da Silva Universidade Federal de Minas Gerais

RESUMO

A análise das condições de estabilidade de taludes rochosos é de grande relevância dentro da mineração, de forma a garantir a segurança das operações dentro da mina. Dentro desse contexto, este trabalho teve por objetivo avaliar as condições de estabilidade de três taludes rochosos localizados às margens da rodovia BR-262, propondo possíveis medidas de estabilização e contenção de danos. Para tanto, foi realizado um levantamento em campo dos parâmetros geomecânicos e das condições dos maciços rochosos em estudo, sendo então realizadas análises cinemáticas e de estabilidade. Todos os taludes analisados apresentaram-se estáveis nas condições observadas. Foram propostas medidas de contenção e estabilização, de modo a garantir a estabilidade em caso de variações das condições atuais.

Palavras-chave: classificação geomecânica; maciços rochosos; estabilidade de taludes.

ABSTRACT

The rock slopes stability analysis is very relevant in the context of mining, in order to guarantee the safety of the operations inside the mine site. Within this context, this work aimed to evaluate the stability conditions of three rock slopes located on the BR-262 highway, proposing possible alternatives for stabilization and damage containment. Therefore, a field survey of the geomechanical parameters and the conditions of the rock masses under study was carried out, and then kinematic and stability analyzes were implemented. All the slopes analyzed were stable under the observed conditions. Containment and stabilization measures have been proposed to ensure stability in the event of changes in current conditions.

Keywords: geomechanical classification; rock mass; slope stability.

INTRODUÇÃO

Diversas obras de engenharia são realizadas em maciços rochosos, entre as quais se destacam aquelas ligadas à mineração. A partir da escavação de rochas para construção de acessos e para a extração de bens minerais, muitos maciços rochosos encontram-se expostos, gerando taludes que podem apresentar as mais variadas condições. Desse modo, é fundamental garantir a segurança dessas estruturas, e, para tanto, é necessário analisá-las em função de sua geometria e de suas propriedades geomecânicas.

Dessa forma, o levantamento geológico e geotécnico desses taludes se mostra bastante relevante, a fim de analisar e determinar fatores como sua estabilidade e o seu índice de perigo de queda de blocos. Esta importância advém do fato de que possíveis movimentos de massa podem ocasionar consideráveis perdas, no âmbito da segurança e economia, como danos estruturais ao acesso, danos a bens materiais, ou até mesmo acidentes fatais. A caracterização geológica-geotécnica é necessária para compreender o comportamento do maciço rochoso, determinando possíveis modos de ruptura e possibilitando o estudo de alternativas viáveis de intervenções, com o intuito de reduzir os riscos.

A fim de se efetuar a análise proposta no presente trabalho, se mostra fundamental o bom conhecimento do maciço rochoso em questão. Oliveira e Brito (1998) **[1]** definem maciço rochoso como uma matriz rochosa em conjunto com suas descontinuidades. Jacques (2014) **[2]** apresenta as descontinuidades como estruturas de origem geológica que delimitam e cortam o maciço rochoso, e família de descontinuidades como o conjunto de diversas descontinuidades que apresentam origem e atitudes similares.

As descontinuidades influenciam de forma direta na resistência de um maciço, e em seu comportamento geomêcanico, pois estas podem representar planos de fraqueza, que facilitam o seu rompimento. Outro fator capaz de induzir uma redução na resistência dos maciços rochosos é o seu grau de alteração, muitas vezes relacionado à ação do intemperismo, que altera as condições iniciais e tornando as rochas menos resistentes. ([2])

No que diz respeito às descontinuidades, é importante que se obtenha informações em campo sobre algumas de suas características, como atitude, espaçamento, persistência, rugosidade, grau de alteração e resistência das paredes, abertura, preenchimento e condições de percolação. A partir dessas informações, é possível efetuar a classificação geomecânica do maciço e estimar parâmetros de resistência.

O termo "caracterização geológica-geotécnica" está relacionado ao ato de descrever a geologia do maciço rochoso, considerando-se o levantamento de parâmetros geotécnicos dos maciços rochosos (rocha intacta e descontinuidades). Este levantamento se propõe a possibilitar a estimação de parâmetros de resistência e deformabilidade do maciço, assim como estudar os possíveis tipos de ruptura existentes em cada corte, sendo então viável a realização de análises de estabilidade para cada caso onde foi indicada uma possível ruptura.

O presente trabalho tem por objetivo tratar da análise de estabilidade de maciços rochosos localizados na BR 262, próximos às cidades de Nova Serrana e Pará de Minas, no estado de Minas Gerais. A rodovia em questão apresenta grande relevância dentro da malha viária brasileira, conectando quatro diferentes estados, sendo eles Minas Gerais (MG), Espírito Santo (ES), São Paulo (SP) e Mato Grosso (MT). As Figuras 1, 2 e 3 apresentam cada um dos taludes em estudo.



Figura 1: Talude 1



Figura 2: Talude 2



Figura 3: Talude 3

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram efetuadas classificações geomecânicas dos maciços rochosos presentes nos taludes avaliados segundo os critérios *Rock Mass*

Rating (RMR), de Bieniawski (1976) **[3]**, sistema Q (Barton et al., 1974) **[4]** e *Geological Strenght Index* (GSI), de Hoek et al. (1997) **[5]**. Com os resultados da classificação geomecânica e do levantamento dos parâmetros geotécnicos do maciço rochoso, efetuouse a análise da estabilidade dos taludes estudados, para aquelas rupturas relacionadas à presença das descontinuidades.

METODOLOGIA

Para se realizar o levantamento das propriedades do maciço rochoso (rocha intacta e descontinuidades), foi necessário utilizar bússola – para obter o mergulho e a direção de mergulho da descontinuidade e da face do talude, martelo de geólogo – para se estimar a resistência presente no maciço rochoso, trena – para se obter a medida do espaçamento e da persistência em cada descontinuidade. Já na fase de análise dos dados coletados em campo, foram utilizados os softwares *Dips* - versão 7.016, *RocPlane* - versão 4.001, *Swedge* - versão 7.001 e *RocTopple* - versão 2.001. Todos os softwares citados são desenvolvidos pela empresa *Rocscience*. A aplicação dos softwares mencionados se deu na condução de análises cinemáticas (*Dips*) e avaliações do fator de segurança de possíveis rupturas no talude, segundo os mecanismos de ruptura planar (*RocPlane*), ruptura em cunhas (*Swedge*) e tombamento de blocos (*RocTopple*).

Diversas propostas para a classificação de maciços rochosos foram levantadas ao longo do tempo. Entre essas abordagens pode-se destacar a classificação proposta por **[3]**, denominada RMR, na qual se utiliza da somatória de pesos propostos em tabelas para cada uma dos parâmetros físicos relevantes no maciço, resultando em uma pontuação que varia entre 0 e 100, sendo então possível ordenar os maciços rochosos ao longo de cinco classes de resistência. Os parâmetros listados por ele são a persistência, abertura, rugosidade, preenchimento, grau de alteração, espaçamento médio e RQD (*Rock Quality Designation*).

Deere (1988) **[6]** desenvolveu o índice de qualidade de rocha RQD, associando o faturamento da rocha com o seu grau de alteração. Esse índice é proposto a partir de testemunhos de furos de sondas. Quando o estudo não dispõe de sondagem, ou seja, é embasado apenas em afloramentos rochosos nos quais as descontinuidades sejam visíveis, é possível estimar o RQD a partir da seguinte equação:

$$RQD = 115 - 3,3j_v$$

O índice volumétrico J_v , pode ser definido como o somatório do inverso das distâncias de cada família de descontinuidade.

$$Jv = \sum \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_3} + \dots + \frac{1}{n}$$
 Equação 2

Outro sistema de classificação de larga aplicação foi proposto por **[4]**. A partir de estudos de caso da escavação de túneis e cavernas, os autores definiram a equação 3 para se estabelecer a classificação dos maciços rochosos.

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} \frac{\mathrm{RQD}}{\mathrm{J_n}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\mathrm{J_r}}{\mathrm{J_a}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\mathrm{J_w}}{\mathrm{SRF}} \end{bmatrix}$$

As variáveis apresentadas na equação 3 são: J_n corresponde ao número de família de juntas; J_r equivale ao grau de rugosidade das paredes da descontinuidade, J_a ao grau de

Equação 1

Equação 3

alteração das paredes da descontinuidade, J_w à presença de água, e o SRF indica o índice das condições de tensões do maciço.

Por fim, pode-se destacar o sistema GSI, proposto por **[5]**. Este sistema de classificação se baseia na observação visual do maciço rochoso, levando em consideração aspectos estruturais e das condições de alteração do maciço em estudo.

A partir dos dados coletados em campo, é possível estimar os parâmetros de resistência das descontinuidades. Entre os vários critérios presentes na literatura, observa-se aquele proposto por Barton e Bandis (1982) **[7]**. Trata-se de uma equação obtida de forma empírica, voltada para a determinação da resistência ao cisalhamento das descontinuidades presentes no maciço rochoso. A equação rege esse critério.

$$\tau = \sigma \tan\left(JRC \log\left(\frac{JCS}{\sigma}\right) + \phi_r\right)$$
Equação 4

As variáveis utilizadas na equação acima são: JRC que representa o coeficiente de rugosidade das juntas (em graus); JCS corresponde à resistência à compressão das juntas; ϕ_r equivale ao ângulo de atrito residual e o σ à resistência à compressão uniaxial das paredes das descontinuidades.

Para elaboração deste trabalho, inicialmente foi realizado levantamento de campo, no qual analisou-se as características geológicas e geotécnicas dos maciços rochosos. Os Taludes 1 e 3 foram setorizados devido aos diferentes graus de fraturamento e de alteração. Para cada talude ou setor do talude, foi realizada uma classificação do maciço rochoso segundo os métodos RMR de [3], Q de [4] e GSI de [5]. Efetuou-se ainda a determinação dos parâmetros de resistência das descontinuidades, segundo o critério de [7], e foi realizada a estimação dos valores de coesão e ângulo de atrito do maciço, a partir da correlação entre as classes definidas pelo RMR proposta por Bieniawski (1989) [8].

Posteriormente, foi realizada uma análise cinemática a fim de distinguir quais mecanismos de ruptura se manifesta nos taludes em estudo, havendo a possibilidade de encontrar, ruptura planar, em cunha, circular, tombamento de blocos e tombamento flexural. Com o resultado da análise cinemática, realizou-se uma análise de estabilidade, na qual se obteve o fator de segurança para cada talude ou setor do talude. Desta forma, medidas de estabilização e contenção de blocos puderam ser propostas. A Figura 4 indica como a ordem destes processos ocorreu.

Não foi realizado levantamento das propriedades geomecânicas do maciço rochoso presente no Talude 3. Desta maneira, as etapas de trabalho para este talude finalizaram com a fase de classificação do maciço rochoso, não tendo sido realizadas as análises cinemáticas e nem de estabilidade.



Figura 4: Etapas da pesquisa.

DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Foi verificado que o Talude 1 é composto por gnaisse, sendo que o bandamento apresentase centimétrico a métrico, além de possuir algumas regiões milonitizadas. O intemperismo atuou de maneira mais intensa na porção superior deste talude. Pode-se observar, neste talude, a existência dos minerais de feldspato rosa, além de anfibólio e biotita. A granulação observada é classificada como fina a grossa. A coloração apresentada por este talude é cinza claro na região inferior e avermelhada na porção superior. A altura do talude vai de 4,5 metros a 8 metros mediante toda a extensão alvo de estudo.

No Talude 2 há gnaisses, contendo bandamentos que variam de centimétricos a métricos. Observa-se também porções máficas e migmatíticas, contendo minerais de feldspato rosa (cuja granulação era centimétrica), anfibólio, biotita e quartzo. A cor apresentada por este talude varia de cinza claro a branco. A altura apresentada do talude é 8,5 metros.

Há registros, no Talude 3, de gnaisses com bandamentos que variam de centimétricos a métricos. Também foram observados diques félsicos e porções máficas, além de migmatitos. Neste talude existe a presença de quartzo, anfibólio, feldspato e biotita. Este talude apresenta granulação fina. Entre os taludes analisados, o Talude 3 é aquele que apresenta a maior extensão lateral, com sua altura variando entre 4,5 metros e 7,3 metros ao longo da porção em que o estudo foi feito.

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para a classificação geomecânica do Talude 1. Como é possível perceber, o RMR foi avaliado em duas condições, sendo um na qual o talude se apresenta completamente seco, e outra onde se mostra completamente saturado. A Tabela 1 apresenta a classe em que se encontra cada setor do Talude 1, de acordo com o sistema RMR. Em relação ao Q de Barton, todos os setores podem ser considerados como bons, afinal, se enquadram na classe IV. Pode-se perceber como os três sistemas de classificação concordam entre si no que diz respeito ao Talude 1.

Tabela 1: Resultados dos tipos de classificação utilizados para talude 1.

Talude 1	Setor 1	Setor 2	Setor 3

GSI	45.00	65.00	60.00
RMR (sem saturação)	60.00	67.00	67.00
RMR (condição saturada)	45.00	52.00	52.00
Q de Barton	12.90	26.70	11.87
Classe de RMR	ll a lll	ll a lll	ll a lll
Descrição da classe em que se encontram	(rocha boa a razoável)	(rocha boa a razoável)	(rocha boa a razoável)

Para o Talude 2, a Tabela 2 indica os resultados das classificações deste maciço rochoso. O padrão geomecânico do maciço, de acordo com a classificação Q de Barton, é muito bom, pertencendo à classe III. O RMR variou, para este talude, entre as classes I e II. Isto significa qualidade da rocha variando de muito boa a boa.

Tabela 2: Resultado dos tipos de classificações utilizadas no talude 2.

Parâmetros	Valores
Q de Barton	49.80
GSI	65.00
RMR sem presença de água	84.00
RMR com presença de água	69.00

Por fim, a Tabela 3 apresenta a classificação do maciço rochoso do Talude 3. As classes do RMR variaram entre II (qualidade do maciço boa) e III (qualidade do maciço razoável). A classe IV do Q de Barton indica bom padrão geomecânico do maciço rochoso.

Talude 3	Setor 1	Setor 2	Setor 3
GSI	55	60	70
Q de Barton	13,28	13,28	13,28
RMR (Sem a presença de água)	72	70	80
RMR (Com a presença de água)	57	55	65
Classe de RMR	ll a lll	ll a lll	
Classe Q de Barton		IV	

Conforme **[8]**, os dados de RMR foram utilizados para se estimar o ângulo de atrito e a coesão do maciço rochoso de cada talude analisado. Os resultados para o Talude 1, Talude 2 e Talude 3 se encontram nas Tabelas 4, 5 e 6 respectivamente. Importante notar que como regra geral, quanto mais saturado de água o talude estiver, menor o ângulo de atrito, menor a coesão do maciço rochoso e menor o módulo de deformabilidade do talude in situ. Com isto, as chances de ruptura são maiores quando o maciço se encontra saturado de água.

Propriedades do Talude 1	Setor 1	Setor 2	Setor 3
Ângulo de atrito (talude seco)	25°	35°	35°
Ângulo de atrito (talude saturado com água)	25°	25°	25°
Coesão do maciço rochoso (talude seco)	200 kPa	300 kPa	300 kPa
Coesão da maciço rochoso (talude saturado com água)	200 kPa	200 kPa	200 kPa
Módulo de deformabilidade do talude in situ (talude seco)	18 GPa	30 GPa	30 GPa
Módulo de deformabilidade do talude in situ (talude saturado de água)	10 GPa	15 GPa	15 GPa

Tabela 4: Ângulo de atrito, coesão e módulo de deformabilidade - Talude 1.

Tabela 5: Ângulo de atrito, coesão e módulo de deformabilidade - Talude 2.

Propriedades do Talude 2	Valores
Ângulo de atrito (talude seco)	>45°
Ângulo de atrito (talude saturado com água)	35°
Coesão da maciço rochoso (talude seco)	>400 kPa
Coesão da maciço	300 kPa

rochoso (talude saturado com água)	
Módulo de deformabilidade do talude in situ (talude seco)	64 GPa
Módulo de deformabilidade do talude in situ (talude saturado de água)	28 GPa

Tabela 6: Ângulo de atrito, coesão e módulo de deformabilidade - Talude 3.

Propriedades do Talude 3	Setor 1	Setor 2	Setor 3
Ângulo de atrito (talude seco)	35°	35°	35°
Ângulo de atrito (talude saturado com água)	25°	25°	35°
Coesão da maciço rochoso (talude seco)	300 kPa	300 kPa	300 kPa
Coesão da maciço rochoso (talude saturado com água)	200 kPa	200 kPa	300 kPa
Módulo de deformabilidade do talude in situ (talude seco)	28 GB	29 GB	55 GB
Módulo de deformabilidade do talude in situ (talude saturado de água)	14 GB	14 GB	21 GB

A estabilidade de todos os taludes foi analisada segundo o critério de Barton-Bandis, assumindo-se JRC como apresentando o valor 8, devido à rugosidade observada nas descontinuidades. O ângulo de atrito adotado foi equivalente a 35°, possibilitando uma análise mais conservadora. O valor de JCS é de 250 MPa. Estes dados foram aplicados na análise de possíveis rupturas em cunha e planar. Já para análise de tombamento de blocos, utilizou-se um valor de ângulo de atrito igual a 25°. Em todas as análises o talude apresentava 30% de saturação média.

A Tabela 7 apresenta a probabilidade de ocorrência de rupturas nos Taludes 1 e 2, a partir de análise cinemática efetuada no software *Dips*. Em relação ao Talude 1, pode-se perceber que o setor 1 apresenta probabilidade apenas de ruptura em cunha (9,67% na porção superior e 1,67% na porção inferior). O setor 2 deste mesmo talude apresenta chances de ocorrência de ruptura planar (11,11%), ruptura em cunha (50%), além de chances de tombamento de blocos (19,44%). Para o setor 3, há probabilidade de ocorrência de ruptura planar (8%), assim como ruptura em cunha (31%) e chances de tombamento dos blocos (11,33%). No que diz respeito ao Talude 2, os resultados apontam probabilidade de ocorrência de rupturas em cunha (12,86%) e por tombamento de blocos (36,67%).

Taludes	Setores	Ruptur	a Planar	Rupt Cu	ura em ınha	Tombai Blocos	mento de s Direto	Tombai Blocos	mento de Oblíquo
Condição	do talude:	Seco	Saturado	Seco	Saturado	Seco	Saturado	Seco	Saturado
	1 superior	0.00%	0.00%	9.17%	9.17%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	1 inferior	0.00%	0.00%	1.67%	1.67%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Talude 1	2 superior	11.11%	11.11%	47.22%	50.00%	2.78%	2.78%	13.89%	2.78%
	2 inferior	11.11%	11.11%	44.44%	47.22%	2.78%	2.78%	19.44%	13.89%
	3 superior	8.00%	8.00%	30.00%	31.00%	2.00%	2.00%	10.67%	8.33%
	3 inferior	8.00%	8.00%	27.33%	30.00%	2.00%	2.00%	11.33%	10.67%
Talude 2	-	0.00%	0.00%	11.90%	12.86%	36.67%	36.67%	2.38%	2.38%

Tabela 7: Probabilidades dos tipos de ruptura para taludes 1, 2 e 3.

De acordo com a Tabela 7, observa-se situações nas quais a análise cinemática apresentou probabilidade de ruptura maior nos casos em que o talude se encontra saturado de água. Mesmo a análise cinemática envolvendo basicamente aspectos relacionados à disposição espacial dos taludes e das descontinuidades, essa variação é encontrada devido ao ângulo de atrito reduzir o seu valor quando o talude se mostra saturado.

No caso de ruptura planar, apenas o setor 2 do Talude 1 foi analisado devido a interpretações dos resultados plotados no software *Dips*. Estas interpretações se referem ao fato de que uma quantidade de polos insuficiente (pequena em relação ao total de polos) para o setor 3 do Talude 1 caiu na região de ruptura planar. Para os outros setores e taludes, não foi feita a análise porque a análise cinemática indicou 0% de chance de ruptura planar. Para o setor 2 do Talude 1, considerando o talude seco, o fator de segurança obtido em caso de ruptura planar foi 1,238, como indica a Figura 5. Foi realizada ainda uma análise de sensibilidade para avaliar o efeito da presença de água no talude. A Figura 6 apresenta os resultados dessa análise, indicando que o talude em questão apenas consegue se manter estável com um nível de saturação inferior a aproximadamente 25%. Essas análises foram efetuadas a partir do software *RocPlane*.



Figura 5: Análise de estabilidade do setor 2 do talude 1.



Figura 6: Fator de segurança em relação ao porcentagem saturada do setor 2 do talude 1.

Nos casos de ruptura em cunha, o fator de segurança obtido para o setor 3 do Talude 1 (Figura 7) foi de 1,759 aproximadamente, o que indica boas condições de estabilidade. Apenas este setor foi analisado para ruptura em cunha porque, para o Talude 2, poucas interseções de famílias de descontinuidades caíram na região que apontava ruptura em cunha. Além disso, definiu-se unicamente uma família de descontinuidade para os setores 1 e 2 do Talude 1. Foi realizada, também uma análise de sensibilidade para avaliar o efeito do nível de água no talude, indicando estabilidade da estrutura para até 47% de saturação de água (Figura 8). Essas análises foram efetuadas através do software *Swedge*.



Figura 7: Fator de segurança para ruptura em cunha do setor 3 do primeiro talude.



Factor of Safety vs. Water Percent Filled

Figura 8: Fator de segurança em relação a porcentagem saturada do setor 3 do talude 1.

O fator de segurança do setor 2 do Talude 1, para casos de tombamento de blocos, foi equivalente a 1,193 (Figura 9 e 10). No Talude 2, para análise de tombamento de blocos, o fator de segurança é de 1,301. As análises foram efetuadas a partir do software *RocTopple*.



Figura 9: Fator de segurança para tombamento de blocos do setor 2 do talude 1.



Figura 10: Fator de segurança para tombamento de blocos no talude 2.

Logo, pode-se perceber que, apesar da análise cinemática indicar alguns setores com possibilidades de ocorrência de determinados tipos de rupturas, todos os taludes se encontram estáveis. O talude que apresenta maior risco é o Talude 1, no setor 2, por apresentar fator de segurança mais próximo ao valor limite de 1, tanto na análise de ruptura planar como de tombamento de blocos. O setor que indicou maior estabilidade foi o setor 3 do Talude 1, com fator de segurança equivalente a 1,76 na análise de ruptura em cunha.

A partir dos resultados obtidos nas análises de estabilidade, pode-se tomar decisões relacionadas à contenção de possíveis blocos que se desloquem em caso de ruptura, além de medidas visando evitar que essas rupturas ocorram. A Tabela 8 apresenta as soluções propostas para cada talude analisado.

Talude	Princípio de estabilização/ obra de contenção	Justificativa
1	Retaludamento/drenagem	A partir da análise de sensibilidade, observa-se que o talude se apresenta estável na condição seca, porém a

Tabela 8: Obras de contenção para taludes 1, 2 e 3 e justificativa para uso.

		depender do nível de saturação essa estabilidade pode ser comprometida. Assim, a instalação de um sistema de drenagem poderia evitar a ocorrência de rupturas.
		Este talude ainda apresentou, na análise cinemática, as maiores probabilidades de ruptura em cunha e planar dentre os taludes analisados. Dessa forma, a execução de um retaludamento pode se mostrar eficaz a fim de inviabilizar a formação desses blocos passíveis de deslizamento.
2	Drenagem/tela metálica	De modo similar ao Talude 1, a partir da análise de sensibilidade, observa-se que o talude se apresenta estável na condição seca, porém a depender do nível de saturação essa estabilidade pode ser comprometida. Assim, a instalação de um sistema de drenagem poderia evitar a ocorrência de rupturas.
		Devido à elevada probabilidade de ocorrência de tombamento de blocos, o uso de tela é importante para impedir que blocos, que porventura se desprendam do maciço, atinjam a rodovia.
3	Drenagem/tela metálica.	Como não foram coletados dados relacionados às descontinuidades presentes neste talude, as medidas propostas são aquelas mais generalizadas. Propõe-se a instalação de sistema de drenagem, visando a elevação do Fator de Segurança da estrutura e a instalação de telas metálicas, com o objetivo de conter possíveis materiais provenientes de rupturas.

CONCLUSÃO

O Talude 1 foi dividido em três setores, com todos eles apresentando valores de RMR entre as classes II e III. Enquanto o Talude 2 apresentou classes de RMR de I a III. O Talude 3 também foi segmentado em três setores, nos quais o setor 1 apresentou classes de RMR entre II e III, o setor 2 entre II e III e setor três apenas classe II. Com relação ao índice Q de Barton, os Taludes 1 e 3 se enquadraram na classe IV, enquanto o Talude 2 apresentou classe II. No que diz respeito ao GSI, o Talude 1 apresentou valores de 45 para o setor 1, 65 para o setor 2 e 60 para o setor 3. O Talude 2 apresentou GSI equivalente a 65 e, para o Talude 3, o setor 1 apresentou GSI igual a 55, o setor 2 apontou GSI equivalente a 60 e por fim o setor 3 indicou o valor de 70. Na análise de Barton-Bandis, o JRC encontrado foi 8,

devido a rugosidade observada nas descontinuidades, o ângulo de atrito é de 35° (exceto para tombamento de blocos, que foi de 25°) e o JCS é de 250 MPa.

Os resultados da análise cinemática indicaram maior probabilidade de ocorrência dos modos de ruptura planar e em cunha,para o setor 1 e 2 do Talude 1, respectivamente, enquanto o Talude 2 apresentou maiores probabilidades de tombamento direto de blocos. Todos os taludes apresentam-se estáveis para os modos de ruptura analisados considerando um nível de saturação inferior a 30%. Os fatores de segurança para ruptura planar no setor 2 e ruptura em cunha para setor 3 do Talude 1 foram de 1,24 e 1,76 respectivamente.

A partir dos resultados das análises, e da compreensão dos possíveis mecanismos de ruptura nesses taludes, é possível propor como formas de contenção em caso de rupturas a instalação de drenagem e retaludamento para o Talude 1 e para os Taludes 2 e 3 sugere-se drenagem e tela de contenção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Oliveira; Brito. (1998) Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE. 586 p.

[2] Jaques, D. S. (2014) Caracterização e classificação de maciços rochosos da mina de volta grande, nazareno, minas gerais. 2014. Tese (MagisterScientiae) – Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa.

[3] Bieniawski, Z. T. (1976) Rock Mass Classification in Rock Engineering. In: Bieniawski, Z.T., Ed., Symposium Proceedings of Exploration for Rock Engineering, 1, 97-106.

[4] Barton, NICK & LIEN, R. & LUNDE, J. (1974). Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support. Rock Mechanics Felsmechanik Mecanique des Roches. 6. 189-236.

[5] Hoek, E.; Brown, E.T. (1997) Practical estimates of rock mass strength. International Journal Of Rock Mechanics And Mining Sciences, [s.l.], v. 34, n. 8, p.1165-1186.

[6] Deere, D. U. & Deere, D. W. (1988) The rock quality designation (RQD) index in practice. Rock classification systems for engineering purposes, Ed. L. Kirkaldie, ASTM Special.

[7] BARTON, N.; BANDIS, S. (1982). Effects of Block Size on the Shear Behaviour of Jointed Rock. Issues in Rock Mechanics. In Proceedings of 23 rd US Symposium of Rock Mechanics (eds RE Goodman & F.E. Heuze), Berkeley, California, pp 739-760.

[8] BIENIAWSKI Z. T. (1989). Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering. John Wiley & Sons, New York, 251 p.