

Estudo de Caso da Estabilidade de Taludes em Maciços Rochosos num Trecho da Rodovia Ticaco-Candarave

Gina Chambi Tapahuasco

Universidade Federal de Tacna, Tacna, Peru, tapahuasco2@gmail.com

Oscar Antonio Balladares Purizaga

Universidade Federal Pedro Ruiz Gallo, Chiclayo, Peru, balladares_instruments2000@hotmail.com

RESUMO: Em regiões da serra do sul do Peru, devido às condições geológicas estruturais, geomorfológicas e condições topográficas, diversos taludes de maciços rochosos cortadas por rodovias, estão sujeitas a deslizamentos, especialmente em épocas de precipitações. Com base nessa realidade, o objetivo deste trabalho é estudar a instabilidade de maciços rochosos utilizando a análise cinemática. A análise cinemática permite determinar se o maciço rochoso é estável ou instável, além de fornecer os tipos de ruptura prováveis de ocorrerem, tais como planar, cunha e tombamento. O trabalho desenvolvido focou especificamente uma área de instabilidade de taludes, que correspondeu o trecho 126+040 km a 129+000 km da estrada que interliga as cidades Ticaco e Candarave, no estado de Tacna-Peru. Para o desenvolvimento da pesquisa, inicialmente, foram definidas dentro do trecho selecionado sete seções estruturais, isso tomando como parâmetros os números de família das descontinuidades, a direção dos taludes e os tipos de rochas ocorrentes. Seguidamente, utilizando as metodologias de Classificação de GSI e “RMR”, foi realizado em campo o mapeamento geomecânico das seções estruturais, consistindo em medir para o RMR, o espaçamento das descontinuidades, as condições das descontinuidades (persistência, rugosidade, intemperismo, abertura e preenchimento), medição da percolação, estimativa do RQD e resistência da parede do maciço. Além disso, foram medidas as orientações e número de família das descontinuidades. Posteriormente, foram extraídas amostras de rocha sã, as quais foram encaminhadas para laboratório a fim de realizar ensaios de compressão simples. A partir dos dados do mapeamento geomecânico e com base nos valores do ângulo de atrito, foi possível fazer a análise convencional cinemática das seções estruturais. A ferramenta utilizada para a análise cinemática foi o Programa Dips. Finalmente, como resultados deste estudo de caso, os maciços das seções estruturais, foram classificadas pelo RMR como REGULARES e BOM e pelo GSI como BOA, RAZOÁVEIS e POBRE. No entanto, pela análise cinemática, as sete seções estruturais mostraram-se instáveis. Quanto às possíveis rupturas de ocorrerem, uma seção mostrou ruptura em cunha, outra mostrou ruptura de tombamento e, cinco seções estruturais mostraram ruptura planar. Dessa maneira, podemos concluir que para área de estudo, o método de análise cinemática mostrou-se satisfatório, condizendo com a realidade do local.

PALAVRAS-CHAVE: Deslizamentos, Ruptura, Descontinuidades, Talude.

1 INTRODUÇÃO

A falta de previsão, do ponto de vista geotécnico, em zonas instáveis, na rodovia que comunica as cidades de Ticaco e Candarave, ocasiona acidentes envolvendo perdas humanas (em algumas ocasiões) e materiais (devido à

interrupção da rodovia).

Com base nisso, neste estudo se fez necessário realizar as investigações no campo (*in situ*) e ensaios de laboratório, para assim determinar as características geomecânicas do terreno e possíveis mecanismos de ruptura; possibilitando realizar análises cinemáticas.

1.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho é estudar a instabilidade de maciços rochosos utilizando a análise cinemática, num trecho da rodovia Ticaco-Candarave.

1.2 Localização

A rodovia “Ticaco-Candarave”, se encontra localizada entre as Províncias de Tarata e Candarave, no estado de Tacna, Peru.

A zona de estudo se inicia no quilômetro 124+560 da referida rodovia, até o quilômetro 129+000, (Figura 1.1).

2 METODOLOGIA

2.1 Dados Geológicos

A Geologia Regional foi definida e descrita com base no Boletim nº 11 que descreve a

região de Tarata (Wilson e Garcia, 1965).

2.1.1 Geología Regional

A zona de estudo compreende depósitos que datam da era do Cretáceo Inferior (Formação Hualhuani Ki-hu.), até os depósitos Quaternários, os quais estão dispostos nos leitos de ríos e ravinas, cobrindo as encostas dos afloramentos rochosos dos tipos aluviais, coluviais e fluviais.

2.1.2 Geomorfología Regional

A área de estudo se encontra localizada na folha de Tarata, da unidade geomorfológica denominada como “Flanco Disectado dos Andes”.

Esta unidade tem uma topografia muito particular, devido à aproximação da Cordilheira dos Andes com a Costa, o que origina superfícies acidentadas com fortes declives (Figura 2.1).

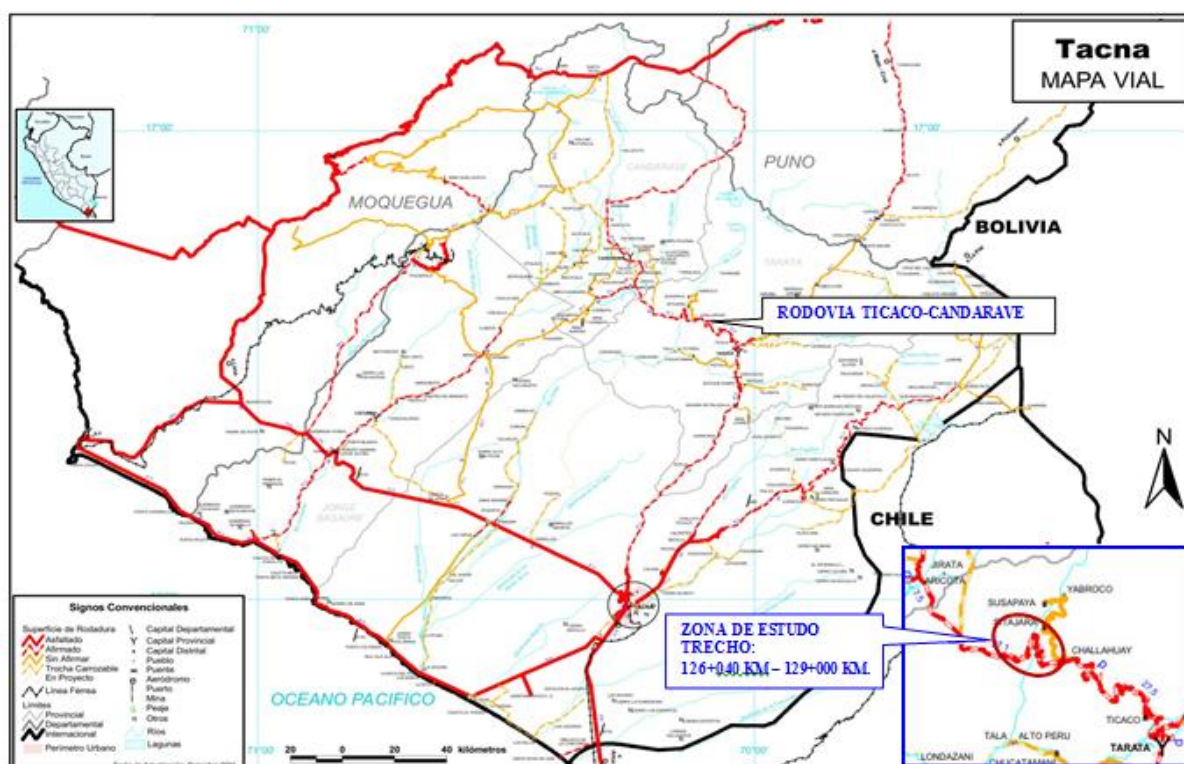


Figura 1. Localização da Zona de estudo no trecho da rodovia Ticaco-candarave (Adaptado de Ministério de Transportes e Comunicações do Peru, 2016).

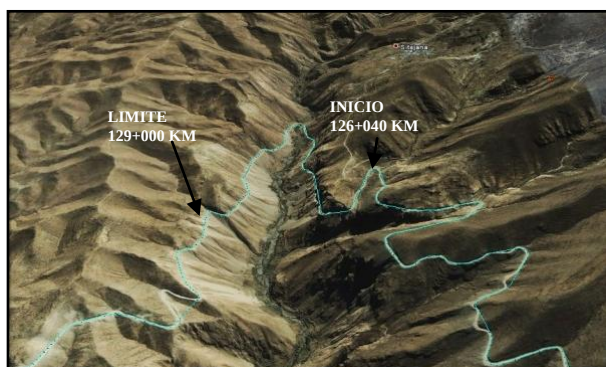


Figura 2. Flanco Disectado dos Andes, superfície acidentada com encostas de forte declive, conformada em sua maioria de afloramentos rochosos.

2.1.3 Geología Local

Formação Huaylillas (ts–vhu)

Esta sequência é composta por alternâncias de *tufo* claros de natureza Dacítico e Riolitico, os quais se apresentam em forma compacta.

- *Tufo Dacito*: Presente no quilômetro 127+840 km – 129+000 km. De cor cinza claro a esbranquiçado, textura pórfido afanítica.
- *Tufo Riolitico*: Presente no quilômetro 126+040 km – 126+640 km, de cor rosáceo, textura pórfido afanítica.

Depósitos Quaternarios

Depósitos aluviais (compreendendo pedregulhos com matriz areno siltosa), depósitos coluviais (constituídos por blocos sub angulosos de 10 m. de espessura) e depósitos fluviais (constituídos por blocos rolados, areias e siltes).

2.2 Dados Geotécnicos

Esta fase se iniciou dividindo os maciços em domínios estruturais, denominados estações geomecânicas (EG).

Na tabela 1 é mostrado os trecho das estações geomecânicas.

Tabela 1. Estações geomecânicas com seus respectivos quilômetros (Fonte próprio).

Estação Geomecânica	Quilômetro (km)
EG-01	126+040-126+050
EG-02	126+060-126+070
EG-03	126+080-126+110
EG-04	126+600-126+640
EG-05	127+840-128+000
EG-06	128+000-128+060
EG-07	128+230-128+300
EG-08	128+915-129+000

Os parâmetros de observação e medição em cada uma destas estações são realizados principalmente de acordo com a classificação RMR (Bieniawski,1989) a qual consiste em avaliar tomando em conta os seguintes parâmetros:

- Ensaios manuais para estimar a resistência relativa das massas rochosas.
- Estimativa do RQD.
- Espaçamento entre as descontinuidades.
- Condições das descontinuidades (persistência, rugosidade, grau de alteração, abertura, preenchimento).
- Água subterrânea (percolação).

E com respeito à classificação do GSI (Hoek e Brown, 1994) tem se como parâmetros:

- Estrutura da massa rochosa (tamanho e forma dos blocos).
- Medições das características da condição da superfície das descontinuidades (grau de rugosidade e alteração).

2.3 Dados de Laboratorio

2.3.1 Ensaio de Densidade

É a relação entre a massa de um corpo e sua unidade de volume.

Na tabela 2 é mostrado os dados obtidos para este tipo de ensaio.

Tabela 2. Ensaio de densidade (Fonte próprio, realizado na UNJBG-Tacna).

EG	Peso (kg)	Diâmetro (m)	Altura (m)	Volume (m ³)	Densidade (kg/m ³)	Peso Específico (kN/m ³)
EG-01	0,2108	0,038	0,076	8,619E-5	2450	23,99
EG-02	0,2077	0,038	0,0797	9,039E-5	2300	22,54
EG-03	0,2177	0,038	0,0782	8,869E-5	2450	24,08
EG-04	0,2239	0,038	0,0784	8,891E-5	2,52	24,70
EG-05	0,2169	0,038	0,0796	9,028E-5	2,40	23,57
EG-06	0,2187	0,038	0,0772	8,755E-5	2500	24,50
EG-07	0,2161	0,038	0,077	8,733E-5	2470	24,28
EG-08	0,2111	0,038	0,0774	8,778E-5	2400	23,59

O valor médio para a densidade das amostras testada sé 2.43 g/cm³ e o peso específico médio igual a 23.80 kN/m³.

2.3.2 Ensaio de Compressão Simples

A resistência à compressão simples é expressa como a relação entre a carga de pico “P” e a seção transversal “A”. A qual é calculada a partir da equação 01.

$$\sigma_c = \frac{P}{A} = \frac{4P}{\pi d^2} \quad (1)$$

Tabela 3. Ensaio de compressão simples “σ_c” (Fonte Próprio, realizado na UNJBG-Tacna).

EG	Diâmetro (m)	Comprimento (m)	Força Aplicada (N)	σ _c Mpa
EG-01	0,038	0,076	72036,46	63,55
EG-02	0,038	0,0797	69984,76	61,74
EG-03	0,038	0,0782	123499,18	108,95
EG-04	0,038	0,0784	82329,01	72,63
EG-05	0,038	0,0772	45284,92	39,95
EG-06	0,038	0,0796	49399,67	43,58
EG-07	0,038	0,077	65870,01	58,11
EG-08	0,038	0,0774	43221,88	38,13

2.3.3 Ensaio Brasileiro

Este ensaio se realiza para determinar a resistência à tração da rocha.

$$\sigma_{tb} = \frac{2P}{\pi dt} \quad (3)$$

Onde:

σ_{t,b}: Resistência à tração a partir do ensaio brasileiro.

P : força de compressão exercida sobre o disco

d : Diâmetro do disco

t : Espessura do disco, ou seja, a altura do cilindro.

A continuação se mostra, na tabela 4, a Força aplicada, as dimensões das mostras e os dados obtidos do ensaio brasileiro.

Tabla 4. Ensaio de tração Brasileiro (Fonte Próprio, realizado na UNJBG-Tacna).

EG	Força Aplicada (N)	Diâmetro (m)	Comprimento (m)	σ _{tb} Mpa
EG-01	16232,29	0,038	0,017	14,32
EG-02	6370,49	0,038	0,0176	5,62
EG-03	7662,73	0,038	0,018	6,76
EG-04	11369,40	0,038	0,0185	10,03
EG-05	11856,82	0,038	0,016	10,46
EG-06	14565,98	0,038	0,0174	12,85
EG-07	17445,18	0,038	0,0173	15,39
EG-08	12378,25	0,038	0,0170	10,92

2.4 Classificações Geomecânicas

Para a classificação de maciços rochosos, se utilizou as metodologias propostas por Bieniawski (1989) e Hoek e Brown (Coates, 1997) para a obtenção do RMR e do GSI respectivamente

2.4.1 Classificação Geomecânica de Bieniawski (RMR₈₉)

A seguir se mostra um quadro resumo das estações geomecânicas com sua classe ou tipo de maciço:

Tabela 5. Quadro resumo da classificação geomecânica RMR (Fonte Próprio).

EG	Tipo de maciço
EG-01	III
EG-02	II
EG-03	II
EG-04	III
EG-05	III
EG-06	III
EG-07	III
EG-08	III

Através do quadro resumo da tabela 5, se obtém uma distribuição de 33% de maciços

rochosos tipo II e 67% de maciços rochosos tipo III.

2.4.2 Classificação Geomecânica de Hoek-Brown (GSI)

A seguir se mostra um quadro resumo das estações geomecânicas com sua classe ou tipo de maciço:

Tabela 6. Quadro resumo da classificação geomecânica GSI (Fonte Próprio).

EG	Estrutura	Condição da superfície
EG-01	Muito fraturada	Razoável
EG-02	Fraturada	Boa
EG-03	Muito fraturada	Boa
EG-04	Muito fraturada	Razoável
EG-05	Muito fraturada	Razoável
EG-06	Fraturada	Pobre
EG-07	Muito fraturada	Pobre
EG-08	Muito fraturada	Razoável

2.5 Análise do Critério de Ruptura

Para as análises de critério de ruptura se aplicou o critério de Mohr-Coulomb e Hoek e Brown de 2002 (Gonzales de Vallejo, 2003).

2.5.1 Critério de Ruptura de Mohr – Coulomb

A seguir se mostra os dados empregados e os resultados obtidos, na tabela 7.

Tabela 7. Quadro de dados utilizados e resultados obtidos para ângulos de atrito e coesão da matriz rochosa (Fonte próprio).

EG	DADOS UTILIZADOS		RESULTADOS OBTIDOS	
	Comp. Simples σ_{ci} (Mpa)	Tração σ_{tb} (Mpa)	Coesão (c) (Mpa)	Ângulo de Atrito (ϕ) (°)
EG-01	63,55	14,32	15,083	39,213
EG-02	61,74	5,62	9,314	56,422
EG-03	108,95	6,76	9,043	56,75
EG-04	72,63	10,03	13,495	49,228
EG-05	39,95	10,46	10,675	37,798
EG-06	43,58	12,85	11,329	30,881
EG-07	58,11	15,39	14,953	35,537
EG-08	38,13	10,92	10,203	33,693

2.5.2 Critério de Ruptura de Hoek – Brown

Para a aplicação deste critério de ruptura, se utilizou os parâmetros da tabela 8.

Tabela 8. Quadro de dados para obtenção da coesão e ângulo de atrito do maciço rochoso (Fonte próprio).

EG	Comp. Simples σ_{ci} (Mpa)	Peso Específico (MN/m ³)	Altura do Talude (m)	GSI	mi
EG-01	63,55	0,0239	76	42	8
EG-02	61,74	0,0225	76	56	8
EG-03	108,95	0,0240	78	57	8
EG-04	72,63	0,0247	38	42	8
EG-05	39,95	0,0235	44	39	8
EG-06	43,58	0,0245	46	37	8
EG-07	58,11	0,0243	38	38	8
EG-08	38,13	0,0222	38	39	8

Utilizando como ferramenta de cálculo o software Rocdata, se obteve os seguintes resultados:

Tabela 9. Quadro de dados utilizados e resultados obtidos (Fonte próprio).

Quilômetro	Coesão (c) Mpa	Ângulo de atrito (ϕ)
126+040-126+050	0,261	28,54
126+060-126+070	0,45	36,89
126+080-126+110	0,699	40,74
126+600-126+640	0,198	34,29
127+840-128+000	0,142	28,2
128+000-128+060	0,133	25,62
128+230-128+300	0,148	30,27
128+915-129+000	0,115	27,84

2.6 Análise Cinemática

Após processar as informações de mergulho e direção obtidas no campo, obteve-se os planos máximos sendo possível definir esse tipo de ruptura como cinematicamente provável.

Em cada estação geomecânica se realizou as análises estereográficas, as quais são mostradas na figura 3 até a figura 10. Para a análise estereográfica do tipo planar, se aplicou a metodologia de Hoek e Bray (1981) e para a análise do tipo cunha se utilizou as condições sugeridas por Tune e Schuster (Oyanguren e Monge, 2004).

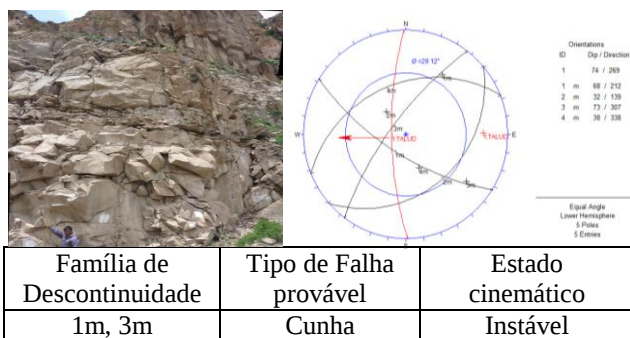


Figura 3. Estação geomecanica nº 01, localizada no quilometro 126+040 km ate 126+050 km, mostrando seu estado cinemático.

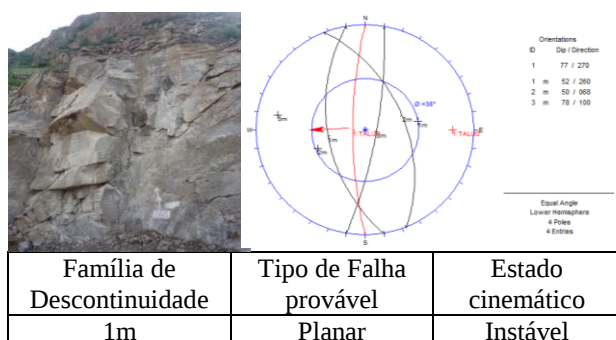


Figura 4. Estação geomecanica nº 02, localizada no quilometro 126+060 km ate 126+070 km, mostrando seu respectivo estado cinemático.

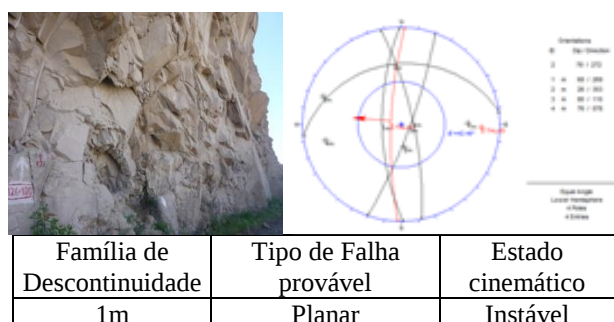


Figura 5. Estação geomecanica nº 03, localizada no quilometro 126+080 km ate 126+110 km, mostrando seu respectivo estado cinemático.

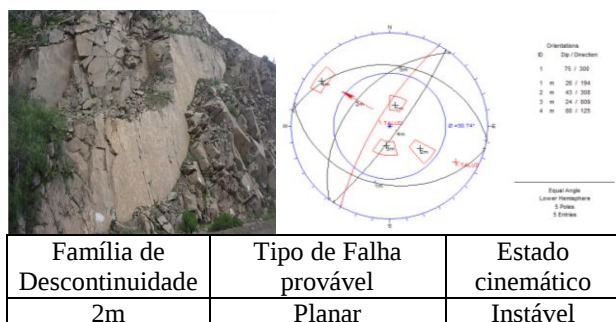


Figura 6. Estação geomecanica nº 04, localizada no quilometro 126+600 km ate 126+640 km.

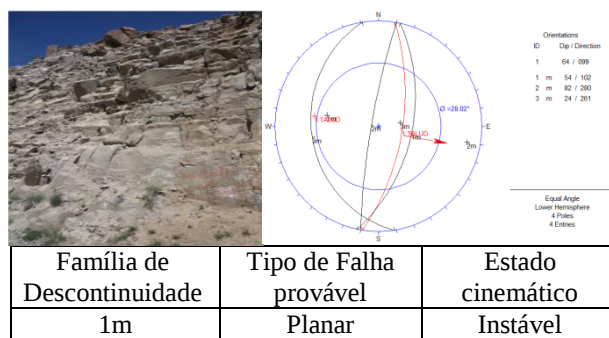


Figura 7. Estação geomecanica nº 05, localizada no quilometro 127+840 km ate 128+000 km, mostrando seu respectivo estado cinemático.

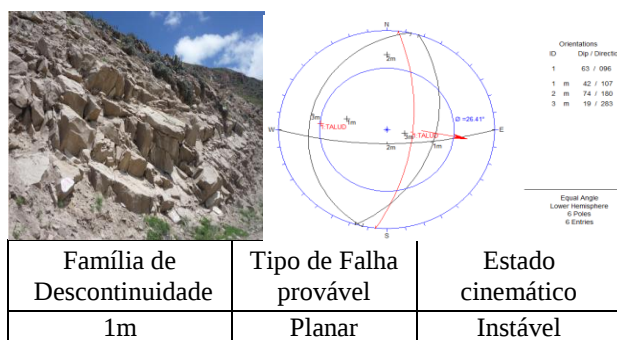


Figura 8. Estação geomecanica nº 06, localizada no quilometro 128+000 km ate 128+060 km, mostrando seu respectivo estado cinemático.

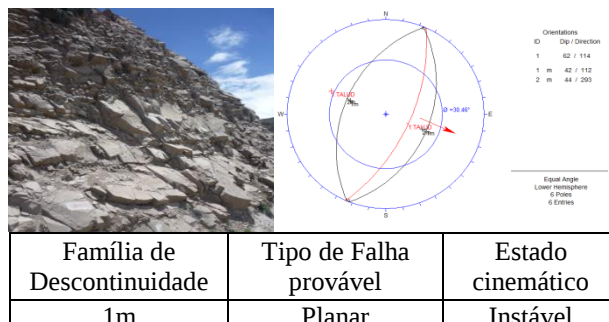


Figura 9. Estação geomecanica nº 07, localizada no quilometro 128+230 km ate 128+300 km, mostrando seu respectivo estado cinemático.

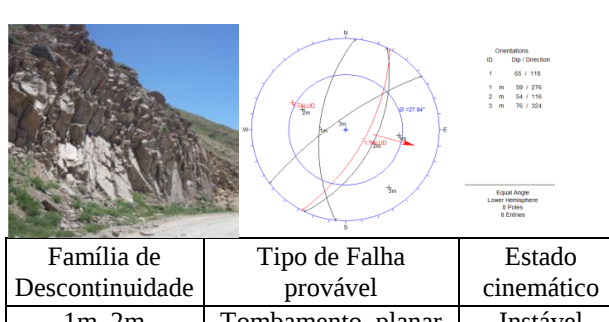


Figura 10. Estação geomecanica nº 08, localizada no quilometro 128+915 km ate 129+000 km.

3 CONCLUSÕES

Se conclui que realizando a comparação entre o critério de Mohr-Coulomb e o critério de Hoek-Brown, esse último se ajusta melhor às faixas estabelecidas por Bieniawski 1989.

Ostrechos das estações geomecânicas EG-02 e EG-03 são taludes avaliados com a qualidade de maciço rochoso, Classe II (Rocha Competente), sendo maciços que apresentam valores de RQD bons a moderados, mostrando fraturamento pouco persistente.

As estações geomecânicas EG-01, EG-04, EG-05, EG-06, EG-07 y EG-08, são representam taludes avaliados com a qualidade Regular, classe III (Rocha Solta), representando maciços que apresentam valores moderados de RQD que indicam persistência alta (10-20m) de fraturamento.

Conclui-se que os trechos das zonas avaliadas são cinematicamente instáveis.

Mediante as análises cinemáticas se determinou os tipos de rupturas presentes na zona de estudo que foram: ruptura em cunha, tombamento e planar, sendo este último predominante.

4 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se para os maciços rochosos de classe II, para que por atrito se evite o deslizamento:

- No trecho de quilômetros 126+060 – 126+070 (EG-02); se recomenda abater a face do talude até um ângulo igual ou menor a 52° ou colocar tirante no bloco.
- No trecho de quilômetros 126+080 – 126+110 (EG-03); se recomenda abater a face do talude até um ângulo igual ou menor a 68°.

Recomenda-se para os maciços rochosos de classe III, para que por atrito se evite o deslizamento:

- No trecho de quilômetros 126+040 – 126+050 (EG-01), considerando a orientação das interseções dos planos que formam a cunha com respeito ao talude, se recomenda um ângulo de 63°.
- No trecho de quilômetros 126+600 – 126+640 (EG-04); se recomenda abater a face do talude até um ângulo igual ou menor a 43°.
- No trecho de quilômetros 127+840 – 128+000 (EG-05); se recomenda abater a face do talude até um ângulo igual ou menor a 54°.
- No trecho de quilômetros 128+000 – 128+060 (EG-06); se recomenda abater a face do talude até um ângulo igual ou menor a 42°.
- No trecho de quilômetros 128+230 – 128+300 (EG-07); se recomenda abater a face do talude até um ângulo igual ou menor a 42°.
- No trecho de quilômetros 128+915 – 129+000 (EG-12); se recomenda retirar a carga da parte superior do talude e colocar tela presa.

Propõe-se complementar o atual estudo com o método de equilíbrio limite para a obtenção do Fator de Segurança e assim ter mais certeza quanto ao ângulo ótimo de talude.

Sugere-se realizar ensaios triaxiais, para determinar o ângulo de atrito e coesão da rocha, e por sua vez determinar a constante de resistência do material (mi).

Recomenda-se aplicar a norma técnica de construção civil do Peru referente à construção de bancadas para taludes maiores que 10 m de altura.

Recomenda-se realizar inspeções periódicas nos taludes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal Jorge Basadre Grohmann de Tacna, Peru.

REFERÊNCIAS

- Bieniawski, Z.T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications*.
- Coates, D.F.(1997). *Fundamentos de la Mecánica de rocas*.
- Gonzales de Vallejo, L.I. (2003). *Ingeniería geológica*.
- Hoek, E e Bray, J.W. (1981). *Rock Slope Engineering*. London: Institution of Mining and Metallurgy, 358 P.
- Ministério de Transportes e Comunicações do Peru (2016). Disponível em: <http://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/mapas_viales.html>. Acesso em: 05 de março de 2016.
- OyangureN, P. R e Monge, L.A.(2004). Mecánica de rocas; *Fundamentos e ingeniería de taludes*.
- Wilson, J e Garcia,W. (1965) Quadrilátero de Tarata, *Boletim n° 11*, Comissão Carta Geológica Nacional, INGEMET.