

TRANSPOSIÇÃO DE CORDILHEIRAS ESCARPADAS POR RODOVIAS:

DESAFIOS GEOLÓGICOS – GEOTÉCNICOS NA INTER - OCEÂNICA NORTE, PERU

Prof. Dr. Roberto Kochen
Diretor Técnico

GeoCompany

Tecnologia, Engenharia & Meio Ambiente

www.geocompany.com.br

55 11 4195-4435

INTRODUÇÃO

- A Rodovia Inter Oceânica Norte, situada no Peru, no seu Tramo 1, liga a cidade de Yurimaguas (na Amazônia Peruana – Província do Alto Amazonas, Departamento de Loreto) à cidade de Tarapoto (na Cordilheira Escalera – Província de San Martin y Lamas, Departamento de San Martin).
- Tem pouco mais de 100 km de extensão de estrada sem pavimentação e volume de tráfego reduzido.
- Este trecho faz parte do corredor multimodal de transporte, que irá ligar o Brasil ao Oceano Pacífico (pelo Peru), dentro do programa IIRSA (Iniciativa para a Integração Regional Sul Americana).
- Destaque para o trecho entre os km 10 e 57, onde há a transposição da Cordilheira Escalera, uma cordilheira intermediária entre a Planície Amazônica e os Andes, com altitude máxima da ordem de 1.000 m.
- Este projeto é parte do programa de Reabilitação de Transporte do Ministério de Transporte, Comunicação, Habitação e Construção do Peru.

LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

- O trecho rodoviário estudado se localiza na Região conhecida como Selva Alta ou Rupa Rupa.
- Clima quente e úmido durante todo o ano, temperaturas anuais que variam de 22° a 26° C e precipitações entre 3.000 e 8.000 mm/ano, concentrados entre dezembro e maio.
- A zona de estudo é parte das vertentes orientais mais baixas da Cordilheira dos Andes, onde se observam fortes contrastes morfológicos com zonas planas e onduladas até fortes vertentes escarpadas.
- Grande variedade litológica de rochas sedimentares a metassedimentares e com intenso intemperismo de suas rochas.
- Formação de espessas camadas de solos residuais e transportados (coluviões e talus) originando grandes instabilidades dos terrenos ao longo da rodovia.

ASPECTOS GEOLÓGICOS DE INTERESSE

- Dois grandes compartimentos podem ser distintos ao longo deste trecho de cerca 100 km.
 - Primeira unidade com início na cidade de Tarapoto (km 0)até o km 55, constituída pela cadeia Longitudinal Sub-Andina, caracterizada por fortes e extensas vertentes, com altitudes de até 1000 m.
 - A segunda corresponde a Planície Amazônica com zonas semi-planas até a cidade de Yurimaguas.
- O foco está no primeiro trecho, dadas às graves condições de instabilidade de taludes.
- O trecho entre os km 10+000 e 57+000 corresponde a zona morfoestrutural Cadeia Longitudinal Subandina, que é uma zona de fortes contrastes geomorfológicos e com grande deformação estrutural, conformada por rochas Mesozoicas e Cenozoicas.

ASPECTOS GEOLÓGICOS DE INTERESSE

- Regionalmente a seqüência sedimentar é representada pelas rochas Mesozóicas e depósitos quaternários distribuídas desde a Formação Sarayaquillo do Jurássico Superior que constitui o núcleo de um bloco falhado, originando uma estrutura onde ambos os flancos, concordantes, as quais são formados pelas rochas do Grupo Oriente.
- São encontrados diferentes materiais, apresentados no Quadro 1, mostrando a estratigrafia da região e seus respectivos tipos litológicos. Destes, podem ser destacados, por ocorrerem em maior freqüência ao longo da rodovia, os arenitos avermelhados geralmente em boa condição, da Formação Sarayaquillo, os arenitos brancos e quartzosos intercalados com materiais mais finos da Formação Cushabatay, e as lutitas que são argilo-siltitos com elevada expansão quando alterados para solo, pertencentes à Formação Chonta.
- As demais formações tem ocorrência de menor expressão territorial.

ASPECTOS GEOLÓGICOS DE INTERESSE

- Um dos grandes condicionantes para a estabilidade dos taludes rochosos neste trecho, são as estruturas do maciço rochoso, principalmente a estratificação que é bastante proeminente.
- Quando se apresenta desfavorável, acarretam sérios problemas para a sua estabilidade em cortes.
- As diversas unidades apresentam uma orientação geral N40°W com mergulhos variando para SW. As falhas principais e as dobras longitudinais seguem a mesma tendência regional.

PRINCIPAIS PROBLEMAS ENCONTRADOS AO LONGO DA RODOVIA

- Os principais problemas associados aos materiais encontrados ao longo do trecho estão diretamente associados às fortes declividades das encostas, ao elevado índice pluviométrico e forma de ocorrência dos materiais (solo, rocha, descontinuidades, etc.) e podem ser identificados como os seguintes:
 - Queda de blocos – representa o principal problema para a estrada e está relacionado aos taludes rochosos que apresentam descontinuidades desfavoráveis (estratificação e fraturamentos).
 - Escorregamentos – estão associados a taludes da rodovia onde ocorrem solos ou associações de solos e rocha em taludes com inclinações incompatíveis. Estão diretamente relacionados à atuação da água, que funciona como elemento detonador do processo.
 - Erosões – ocorrem em superfícies dos solos provocando sulcos de diferentes profundidades e conseqüências.

PRINCIPAIS PROBLEMAS ENCONTRADOS AO LONGO DA RODOVIA

- Rastejos – estão associados a depósitos superficiais (coluviões) onde a ação da água em materiais heterogêneos (solo e blocos) provoca movimentações lentas do terreno.
- Corrida de detritos (Debris Flow ou Huayaco) – podem ser observadas evidências ao longo de alguns talwegues, pois forma-se pela composição de um ou vários escorregamentos na encosta que se juntam e descem pelo talvegue existente. Podem ter dimensão variável em função dos volumes envolvidos.
- Ruptura de aterros – ocorrem devido ao forte declive da encosta ou por ruptura das obras de contenção. Tem pequena dimensão (poucos metros) pelo fato de que a rodovia estar implantada na sua maior parte em cortes.

ASPECTOS METODOLÓGICOS PARA ANÁLISE DOS TALUDES DE CORTE

A definição dos taludes de corte foi fundamentada na classificação do maciço rochoso. Foi utilizada a seguinte classificação:

- Maciço Classe I – rocha sã, sem fraturas;
- Maciço Classe II - rocha sã fraturada;
- Maciço Classe III – rocha sã a alterada fraturada (subdividido em III e III inferior);
- Maciço Classe IV – rocha alterada a muito alterada e muito fraturada;
- Maciço Classe V – solo de alteração de rocha.

ASPECTOS METODOLÓGICOS PARA ANÁLISE DOS TALUDES DE CORTE

A classificação baseou-se na caracterização geológico-geotécnica de campo associada a uma análise de estabilidade utilizando-se métodos estatísticos.

Os parâmetros geológico-geotécnicos de campo foram os seguintes:

➤ *Grau de alteração da rocha*

Trata-se de um parâmetro de avaliação macroscópica, de difícil precisão em condições de campo sendo recomendado à fixação de reduzida classes de alteração, para minimizar subjetivismo na sua determinação. São consideradas as seguintes classes:

- A1 - sã ou praticamente sã
- A2 - alterada
- A3 - muito alterada

ASPECTOS METODOLÓGICOS PARA ANÁLISE DOS TALUDES DE CORTE

➤ *Grau de coerência*

Trata-se de um parâmetro complementar importante para caracterização de rochas sedimentares como é o caso da região de estudo. Baseia-se nas resistências ao impacto e ao risco e na friabilidade.

➤ C1 - Muito coerente (quebra com dificuldade ao golpe do martelo)

➤ C2 - Coerente (quebra com relativa dificuldade ao golpe do martelo)

➤ C3 - Pouco coerente (quebra facilmente com golpe de martelo)

➤ C4 - Friável (esfarela ao golpe do martelo)

ASPECTOS METODOLÓGICOS PARA ANÁLISE DOS TALUDES DE CORTE

➤ *Avaliação estrutural das descontinuidades*

Este parâmetro tem grande importância nos taludes rochosos visto que se trata do elemento determinante na estabilidade do maciço. Para este trabalho foi considerado visualmente as atitudes dessas descontinuidades, quando possível de serem observadas e comparados com as atitudes encontradas nos mapas geológicos regionais, definindo-se a sua periculosidade (favorabilidade ou desfavorabilidade), em função de sua posição com relação ao talude.

O Quadro 2, abaixo, apresenta a conjugação dos parâmetros de tipo de rocha e maciço rochoso, resultando na definição de inclinação de taludes utilizada neste trabalho.

ASPECTOS METODOLÓGICOS PARA ANÁLISE DOS TALUDES DE CORTE

Quadro 2 - Parâmetros de tipo de rocha e classe maciço rochoso

TIPO DE ROCHA	CLASSE DO MACIÇO	INCLINAÇÃO DO TALUDE
A1 C1 C2 pouco fraturado (Rocha sã)	II	10:1
A1 A2 C1 C2 A2 C2 A1 A2 C2 A2 C1 C2 (Rocha sã alterada - Obs: em situação de estratificação totalmente desfavorável, prever chumbadores)	III	5:1
A1 A2 C2 A2 C2 A1 A2 C1 C2 A2 C1 C2 A2 C2 C3 (Com presença de solos na parte superior)	III inf	2:1 (parte superior) 5:1 (parte inferior)
A2 C2 + solo A2 C3 A3 C3 C4 A3 C3 A2 A3 C2 C3 A2 C2 C3 A2 A3 com solos e blocos	IV	2:1
Solo de lutitas e depósito coluvionar	V	1:1

ASPECTOS METODOLÓGICOS PARA ANÁLISE DOS TALUDES DE CORTE

Exemplos da classificação utilizada.



Formação Cushabatay com características geológicas-geotécnicas do tipo A1 C1 C2 (Classe II).

ASPECTOS METODOLÓGICOS PARA ANÁLISE DOS TALUDES DE CORTE

Exemplos da classificação utilizada.



Formação Cushabatay com características geológicas-geotécnicas do tipo A1 C1 C2 (Classe II).

ASPECTOS METODOLÓGICOS PARA ANÁLISE DOS TALUDES DE CORTE

Exemplos da classificação utilizada.



Formação Sarayaquillo com características geológicas-geotécnicas do tipo A1 A2 C1 C2 (Classe III).

ANALISE DE ESTABILIDADE COMO FERRAMENTA INTEGRADA AOS TRABALHOS DE CARACTERIZAÇÃO DE CAMPO

- O maciço rochoso foi mapeado no campo conforme classificação anteriormente apresentada.
- Para as análises de estabilidade foram utilizados os parâmetros obtidos da retro análise de taludes de corte naturais em diversas classes de maciços encontrados ao longo da rodovia.
- A partir da retro análise, e com base no mecanismo de ruptura e propriedades dos materiais, realizaram-se análises de estabilidade com o programa FLAC Slope (www.hcitasca.com), que permite modelar superfícies de ruptura de forma circular e irregular. Considerou-se a classe do maciço rochoso para os 4 cortes de maior altura do Km 40 a 57, situados em formações geológicas de classe III, IV e V.

ANALISE DE ESTABILIDADE COMO FERRAMENTA INTEGRADA AOS TRABALHOS DE CARACTERIZAÇÃO DE CAMPO

- Foram consideradas as condições hidrogeologias locais, e as forças sísmicas mediante métodos pseudo-estáticos.
- O coeficiente sísmico foi obtido da Norma Técnica de Edificación da Republica Del Peru, nº. E 030 – Diseno Sismorresistente, de 02 de abril de 2003 (coeficiente sísmico igual a 0,15 da aceleração da gravidade, recomendada no mapa de sísmicidade do Perú).
- A Tabela 1 apresenta um resumo dos valores encontrados nas retro analises de estabilidade, que permitiram estabelecer os parâmetros de resistência do maciço rochoso. Para os maciços classe III e V, foram retro-analisados cortes de grande altura, críticos, que permitiram estabelecer a coesão e ângulo de atrito do maciço rochoso.

ANALISE DE ESTABILIDADE COMO FERRAMENTA INTEGRADA AOS TRABALHOS DE CARACTERIZAÇÃO DE CAMPO

- Para o maciço classe IV, de ocorrência mais freqüente no trecho do km 40 a 57, foram analisados 2 taludes de corte de grande altura, e adotou-se para o parâmetro de resistência de coesão a média das 2 retro-análises, que resultaram próximas.
- Para este tipo de taludes, considera-se aceitável um Fator de Segurança mínimo de 1,3 para condições estáticas, e de 1,0 para as análises pseudo-estáticas.

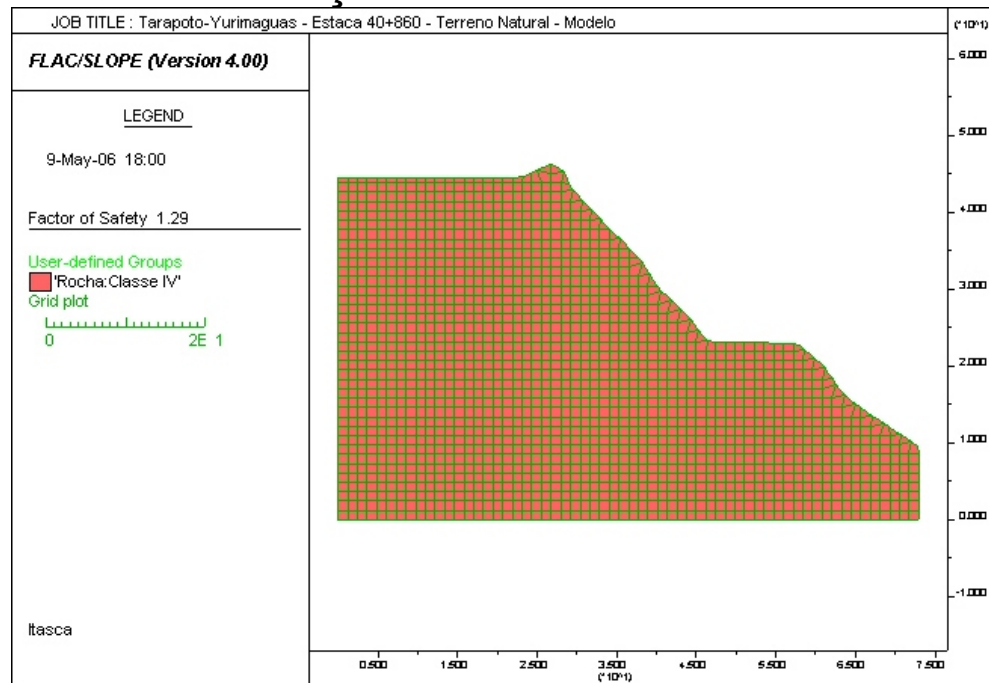
ANALISE DE ESTABILIDADE COMO FERRAMENTA INTEGRADA AOS TRABALHOS DE CARACTERIZAÇÃO DE CAMPO

Tabela 1 – Resumo dos valores encontrados nas retro-análises de estabilidade.

Trecho	Tipo de Rocha	Classe do Maciço	H (m)	Talude	γ (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ (°)	FS (Estático)	FS (Dinâmico) 0,15
40+860 a 40+890	A3 A2 C2	IV	22	2:1	23	40	32	1,42	1,12
42+930 a 42+950	A2 A3 C2 C3 e solo	V	17	1:1	20	30	30	1,85	1,42
45+210 a 45+240	A2 C2	III	30	5:1	24	100	35	1,40	1,13
49+790 a 49+850	A2 C2 C3	IV	24	2:1	23	40	32	1,40	1,10

ANALISE DE ESTABILIDADE COMO FERRAMENTA INTEGRADA AOS TRABALHOS DE CARACTERIZAÇÃO DE CAMPO

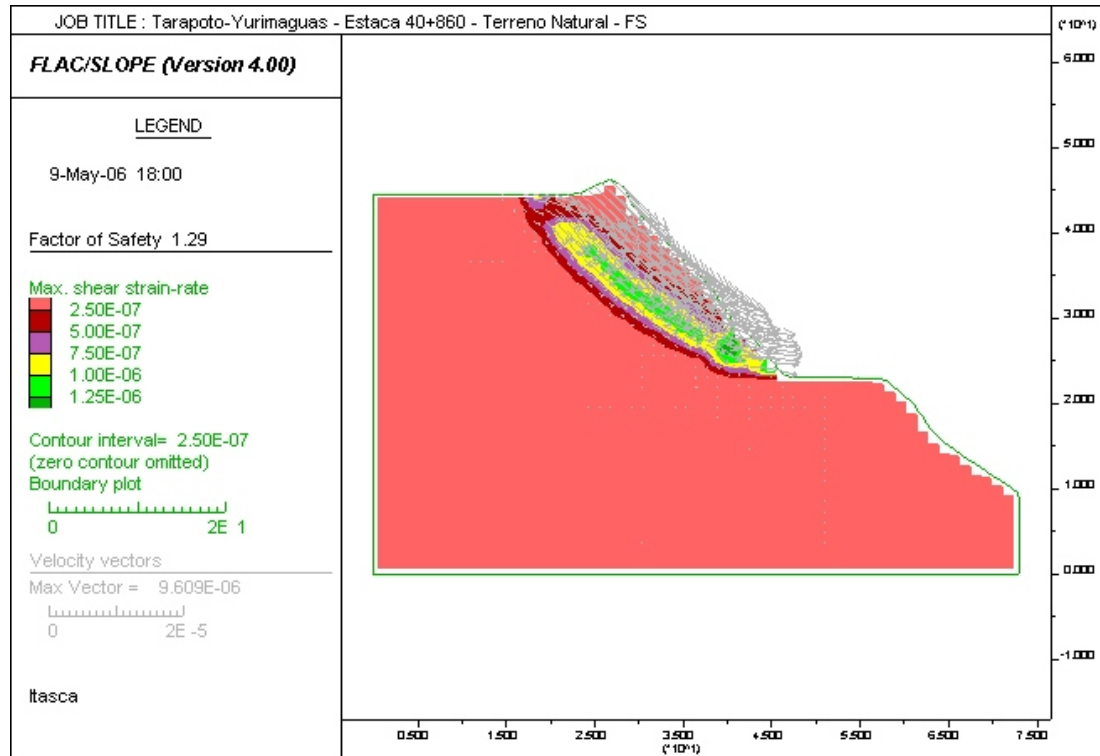
Exemplos de resultados da análise numérica pelo FLAC Slope, mostrando, além do Fator de Segurança calculado nas retro-análises, e nas análises estáticas e dinâmicas, o padrão de deformação do talude.



(Estaca 40+860) Grid para modelagem numérica de estabilidade (terreno natural).

ANALISE DE ESTABILIDADE COMO FERRAMENTA INTEGRADA AOS TRABALHOS DE CARACTERIZAÇÃO DE CAMPO

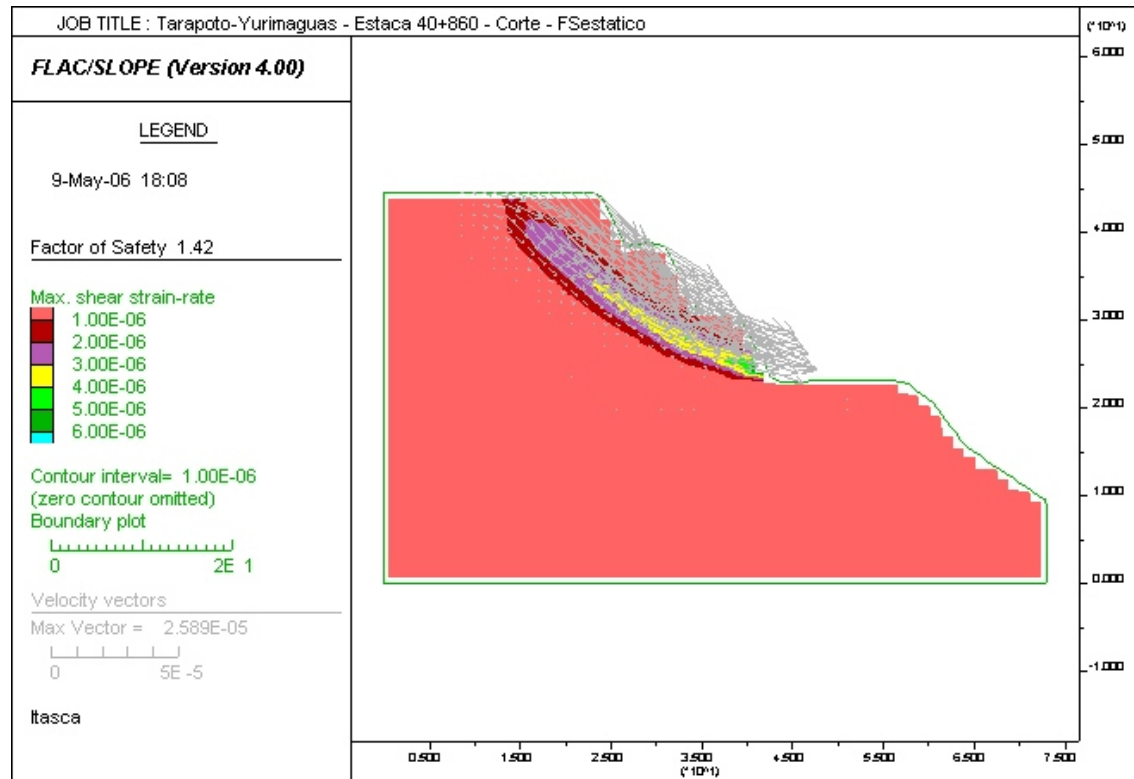
Exemplos de resultados da análise numérica pelo FLAC Slope.



(Estaca 40+860) Deformações cisalhantes na superfície de ruptura e fator de segurança.

ANALISE DE ESTABILIDADE COMO FERRAMENTA INTEGRADA AOS TRABALHOS DE CARACTERIZAÇÃO DE CAMPO

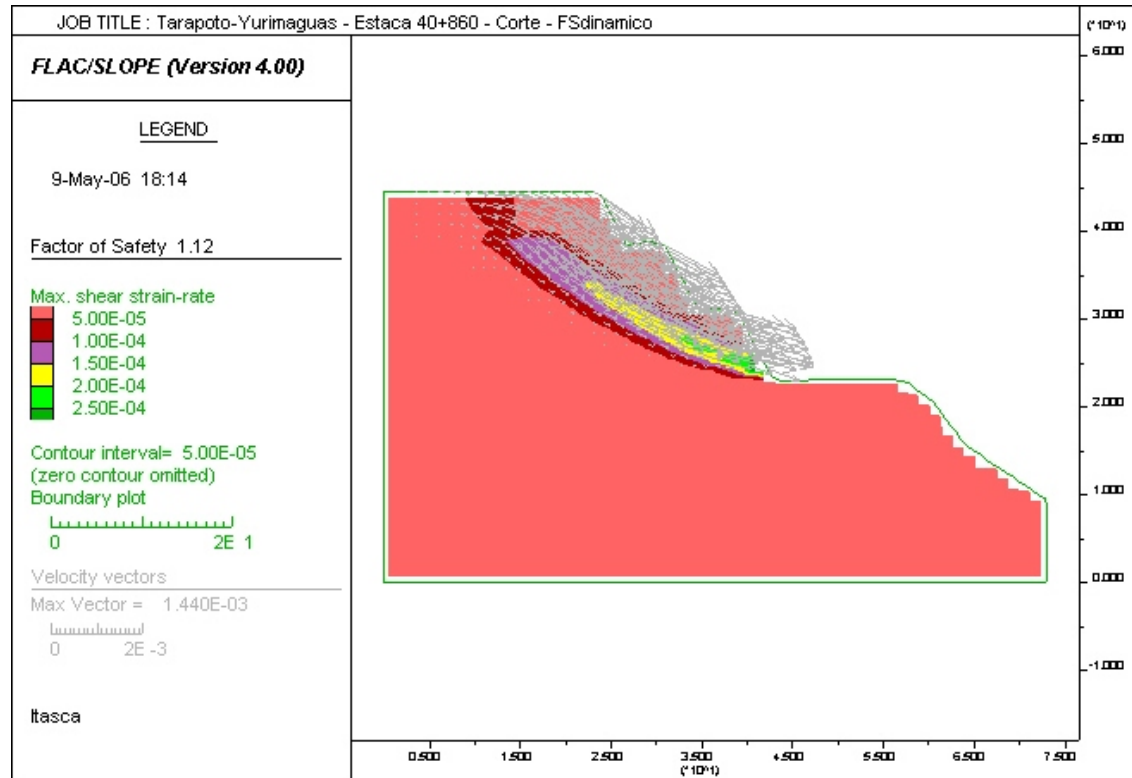
Exemplos de resultados da análise numérica pelo FLAC Slope.



st. 40+860) Deformações cisalhantes na superfície de ruptura e fator de segurança estático

ANALISE DE ESTABILIDADE COMO FERRAMENTA INTEGRADA AOS TRABALHOS DE CARACTERIZAÇÃO DE CAMPO

Exemplos de resultados da análise numérica pelo FLAC Slope.



st. 40+860) Deformações cisalhantes na superfície de ruptura e fator de segurança dinâmico

ANÁLISE DE ESTABILIDADE COMO FERRAMENTA INTEGRADA AOS TRABALHOS DE CARACTERIZAÇÃO DE CAMPO

- A análise de estabilidade global foi realizada pelo programa FLAC/Slope, e mostrou que as diversas seções estudadas encontravam-se estáveis na situação natural.
- O terreno natural apresentou fator de segurança entre $FS = 1,29$ e $1,32$.
- Nos diversos cortes projetados para as diversas classes de maciço, fatores de segurança estáticos atingiram valores entre $FS = 1,40$ e $1,85$.
- Para uma situação dinâmica, com aceleração sísmica de $0,148$, os valores passaram a apresentar fator de segurança acima de 1 (FS entre $1,10$ e $1,42$).
- Destaca-se que o importante condicionamento estrutural encontrado nos maciços ao longo do trecho (planos de estratificação e fraturamento) implicou na definição ou não da utilização de ancoragem, ou chumbamentos de áreas consideradas instáveis, previstos na fase de projeto.

CONCLUSÕES

- Os resultados dos trabalhos foram apresentados para os trechos compartimentados com características geológico-geotécnicas semelhantes e definidas as diretrizes de soluções para cada local.
- Nesses locais foram definidas como solução as seguintes possibilidades:
 - inclinação dos taludes de corte;
 - orientação para tratamento de escorregamentos;
 - relocação de eixo para evitar cortes em trechos críticos;
 - análise da implantação da alternativa em meio túnel em substituição a corte;
 - indicação de aterros reforçados com geogrelhas.
- Para alguns destes locais, por se tratar de situações mais complexas, foi necessário a elaboração de projeto mais detalhado com investigações complementares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- HOEK E.; BRAY J. W. (1981) – *Rock Slope Engineering*. Institution of Mining and Metallurgy, London, 3th edition, 358 p.

- FLAC (2006) – User's Guide. Itasca Consulting Group, Minneapolis, Minnesota, USA.