

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDES, UTILIZANDO INDICES DE LITERATURA, PARA COMPARATIVO DE SITUAÇÃO DE CONFIGURAÇÃO ATUAL E SITUAÇÃO DE CONFIGURAÇÃO FINAL DE MINA À CÉU ABERTO EM ROCHA BASALTICA NO MUNICÍPIO DE AMERICANA-SP.

Jozias C. S. Bravo¹; Gisele Yamanouth ²; João P. Montecelli ³; Rogério P. Ribeiro ⁴; Mauri Lopes Ferreira ⁵

Resumo – A mineração de agregados se faz muito importante para evolução econômica e social de uma nação, geralmente pelo baixo valor do produto final, precisam ter jazidas próximas ao mercado consumidor e consequentemente áreas urbanas. No presente estudo de casos é avaliada a condição de estabilidade de um talude de mineração, próximo à uma rodovia municipal, e seus impactos em uma possível ampliação de lavra. Onde essa condição final é avaliada, e soluções de reforço são propostas, sendo executadas concomitantemente ao avanço do projeto de lavra, garantindo assim segurança, melhor aproveitamento do estéril e redução de custos.

Palavras-Chave – Mineração de Agregados; Estabilidade de Taludes; Maciço Rochoso.

Abstract – Aggregate mining is very important for the economic and social evolution of a nation, usually due to the low value of the final product, they need to have deposits close to the consumer market and consequently urban areas. In the present case study, the stability condition of a mining slope, close to a municipal highway, and its impacts on a possible mining expansion are evaluated. Where this final condition is evaluated, and reinforcement solutions are proposed, being executed concomitantly with the advance of the mining project, thus ensuring safety, better use of the sterile and cost reduction.

Keywords – Aggregates mining; Slope Stability; Rock Mass.

¹ Geól., Aluno de Especialização Instituto de Geociências - Universidade Federal do Pará e Pós-Graduando em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, joziascaetano@gmail.com

² Geól., MSc, Prof. Colaboradora Instituto de Geociências - Universidade Federal do Pará, giselerby@gmail.com

³ Geól., Pós-Graduando em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, jpmonticeli@gmail.com

⁴ Geól., PhD, Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, rogeriopr@sc.usp.br

⁵ Geól., Diretor Técnico, MLF Geomecânica, mauri.ferreira@mlfgeomecanica.com.br

1. INTRODUÇÃO

Sendo a principal fornecedora de matérias-primas para todos os segmentos industriais, a mineração está no dia a dia da população nos itens mais cotidianos do estilo de vida moderno, mesmo sem ser diretamente notada. Os recursos minerais conhecidos como agregados, utilizados diretamente na indústria da construção civil (areia e brita), ocorrem com certa abundância em diversas partes do mundo.

A relevância deste setor para a sociedade é destacada por estar diretamente relacionado com a qualidade de vida da população, pois permite avaliar melhorias sociais e geração de conforto. Destaca-se que o transporte responde, normalmente, por significativa parcela do custo final dos agregados, que se caracteriza pelo baixo valor e grandes volumes produzidos. A proximidade com o mercado consumidor é, portanto, um fator extremamente relevante. Devido a essa proximidade, as minerações de agregados, necessitam de um controle cada vez mais restritivo em suas etapas de produção.

Portando uma caracterização geomecânica do maciço rochoso, se torna indispensável, pois pode auxiliar desde o melhor dimensionamento das detonações, à geração de menos material particulado durante o processo produtivo, estabilização dos taludes, entre outros fatores, diminuindo assim a geração de incômodos no entorno do site mineiro.

Para ilustrar melhor, na sequência observamos a Figura 1 – Planta de Localização da área de estudos. Nela podemos observar a Pedreira objeto do presente trabalho, entre as zonas Rural e Urbana, destaque também pela proximidade dos Rios Atibaia e Jaguari, e da PCH de Americana.



Figura 1 – Planta de Localização da área de estudo.

2. OBJETIVOS

Trata-se de uma área de Mineração, com taludes próximos à uma Rodovia Municipal, e devido à expansão das atividades de lavra, o presente trabalho tem por objetivo maior, levantar dados bibliográficos de literatura relativa à classificação de maciços e estabilidade de taludes, que possam fornecer um cenário preliminar, e também estimativas do comportamento deste talude em configurações finais, garantindo assim sua estabilidade.

Diante do comparativo das situações obtidas, fatores de segurança serão apresentados, e perante esse cenário as melhores práticas e alternativas para o desenvolvimento seguro e econômico da lavra poderão ser planejados, desde que em acordo com as restrições que a Rodovia contígua à área e demais legislações exigem.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

3.1. Geologia

Localmente, de acordo com os dados geológicos da CPRM (2006), escala 1:750.000, a área de estudo está inserida num contexto dos sedimentos mesozoicos, da bacia Serra Geral, de formações intrusivas básicas tubulares, compostas por soleiras diabásicas, diques básicos em geral, incluindo diabásios e outras rochas de composição semelhante, sendo que a área mais próxima ao rio Jaguari, é caracterizada por sedimentos do Grupo Itararé Indiviso, compostos por arenito, tilito, siltito, folheto, ritmito, conglomerado e raras camadas de carvão.

3.2. Estabilidade de Taludes

A estabilidade de taludes em rocha ou solo é influenciada ou condicionada por diversos fatores. Estes fatores de risco são representados tanto por descontinuidades, contatos entre diferentes rochas, planos de acamamento, foliação, xistosidade e zonas de falhas, quanto por estruturas de segunda ordem, como juntas e fraturas. Desta maneira, um modelo geológico abrangente é essencial para qualquer escavação de talude Hoek., (1972).

3.3. Caracterização geotécnica

Diante da necessidade de avaliar as condições atuais do maciço rochoso e as condições em sua configuração final, foram adotados parâmetros fornecidos pela literatura especializada para materiais de mesma gênese selecionados de Walthan (1999), Rahn (1996), Goodman (1989), Farmer (1968), Jimenez Salas e Justos Alpanes (1975), Solos do Interior de São Paulo e Normas Técnicas Complementares - NC-03 Volume II da Companhia do Metropolitano de São Paulo), encontram-se resumidos a seguir:

Argila Siltosa:

$\phi = 20^\circ$ (ângulo de atrito);

$c = 2,0$ tf/m² (coesão);

$\gamma = 1,8$ tf/m³ (peso específico);

$E = 4.000$ KN/m² (módulo de elasticidade);

$\nu = 0,30$ (coeficiente de Poisson).

Silte arenoso > 8:

$\phi = 26^\circ$ (ângulo de atrito);

$c = 2,0$ tf/m² (coesão);

$\gamma = 1,9$ tf/m³ (peso específico);

$E = 10.000$ KN/m² (módulo de elasticidade);

$\nu = 0,35$ (coeficiente de Poisson).

Aterro Compactado

$\phi = 20^\circ$ (ângulo de atrito);

$c = 1,5$ tf/m² (coesão);

$\gamma = 1,8$ tf/m³ (peso específico);

$E = 8.000$ KN/m² (módulo de elasticidade);

$\nu = 0,35$ (coeficiente de Poisson).

Rocha Basalto:

$\phi = 48^\circ$ (ângulo de atrito);

$c = 20,0$ tf/m² (coesão);

$\gamma = 2,0 \text{ tf/m}^3$ (peso específico);
 $E = 18.000 \text{ KN/m}^2$ (módulo de elasticidade);
 $\nu = 0,30$ (coeficiente de Poisson).

A análise de estabilidade foi efetuada procurando considerar as condições críticas em termos de geometria, de parâmetros da resistência e de pressões neutras. Com apoio de universidades e parceiros, foi utilizado o programa Slide desenvolvido pela Rocscience.

Em face às características geológico-geotécnicas do subsolo local e considerando as suas respectivas condições, a análise de estabilidade realizada inicialmente, apresentou resultado com fator de segurança $FS \geq 1,50$, contudo não atingiu o fator de segurança com os 10% majorados ($FS \geq 1,65$).

Para a realização da simulação das análises de estabilidade foi considerada uma sobrecarga operacional de 20 kPa (semi-infinita), conforme estipula a NBR 11682, e selecionada a seção em local onde os taludes oriundos da ampliação de lavra se encontram mais próximos da Rodovia Americana-Paulínia.

4. SEÇÃO CRÍTICA

A seção crítica é composta por 6 taludes. A cota mais baixa é a 470 m e a cota mais alta considerada foi 555 m, totalizando uma altura total de 91 m. A Figura 2 apresenta o resultado obtido pelo software após a construção dos taludes.

A análise aponta para o fator de segurança maior do que 1,50 ($FS=1,605$), porém menor do que 1,65 que é o fator de segurança com os 10% majorados conforme apresentado na NOTA 1 da Norma NBR 11682.

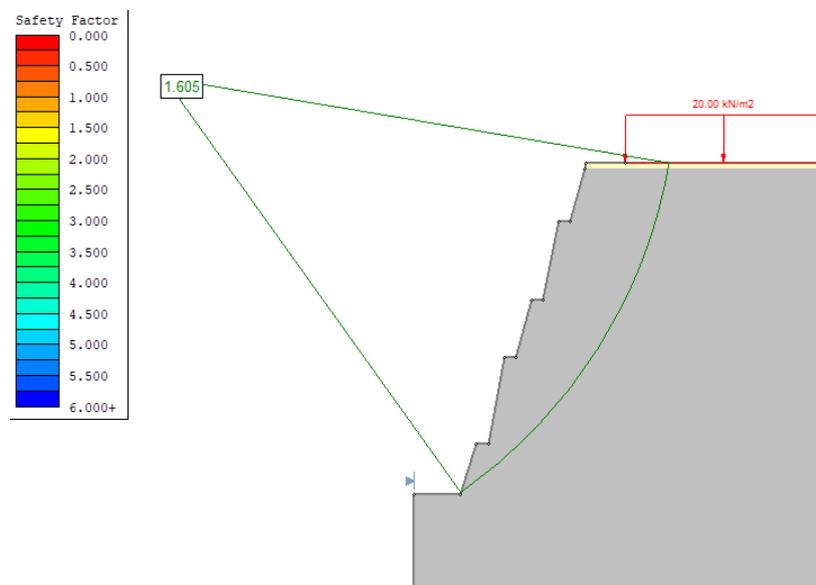


Figura 2 - Análise da seção crítica após a ampliação da lavra.

5. SISTEMA DE REFORÇO PARA OS TALUDES – CONTRA-PILHAMENTO

Em função dos resultados obtidos para fatores de segurança inferiores aos recomendados pela norma ABNT NBR 11.682/2009 (Estabilidade de encostas), para o setor da Cava mais próximo da Rodovia, nos trabalhos realizados em primeira etapa, com valor de 1.605, após visitas

em campo, é recomendada a implantação de sistema de suporte para esta área. Foi definida a colocação de um contra pilhamento com material estéril, neste local, com altura de 25.0m e comprimento de cerca de 100.0m, na região de pé dos taludes, conforme apresentado nas figuras a seguir, que mostram o local de execução de reforço e seções tipo.

O objetivo deste sistema de reforço conforme proposto, é adequar as condições de estabilidade dos taludes à exigência da norma técnica da ABNT, de acordo com essa norma, o Fator de Segurança (FS) de estabilidade global na situação final deve ser igual ou maior do que 1,50 ($FS \geq 1,50$), para locais de alto nível de segurança contra danos habitacionais e médio nível de segurança contra danos materiais e ambientais.

É apresentada na referida norma, a NOTA 1: “No caso de grande variabilidade dos resultados dos ensaios geotécnicos, os fatores de segurança da tabela acima devem ser majorados em 10%.”, ou seja, o Fator de Segurança que o projeto em questão deve atingir é 1,65. Também sobre essa norma, a sobrecarga nos exercícios de simulação deve ser igual a 20 kPa.

Para a verificação da efetividade do sistema de reforço proposto, foram executadas avaliações e análises de estabilidade para os taludes na região de implantação do sistema, utilizando-se da mesma metodologia adotada na fase preliminar, inclusive os mesmos parâmetros de resistência e índices geotécnicos adotados nestas simulações; utilizou-se também do mesmo software, o Slide 2, os resultados obtidos estão apresentados na sequência:

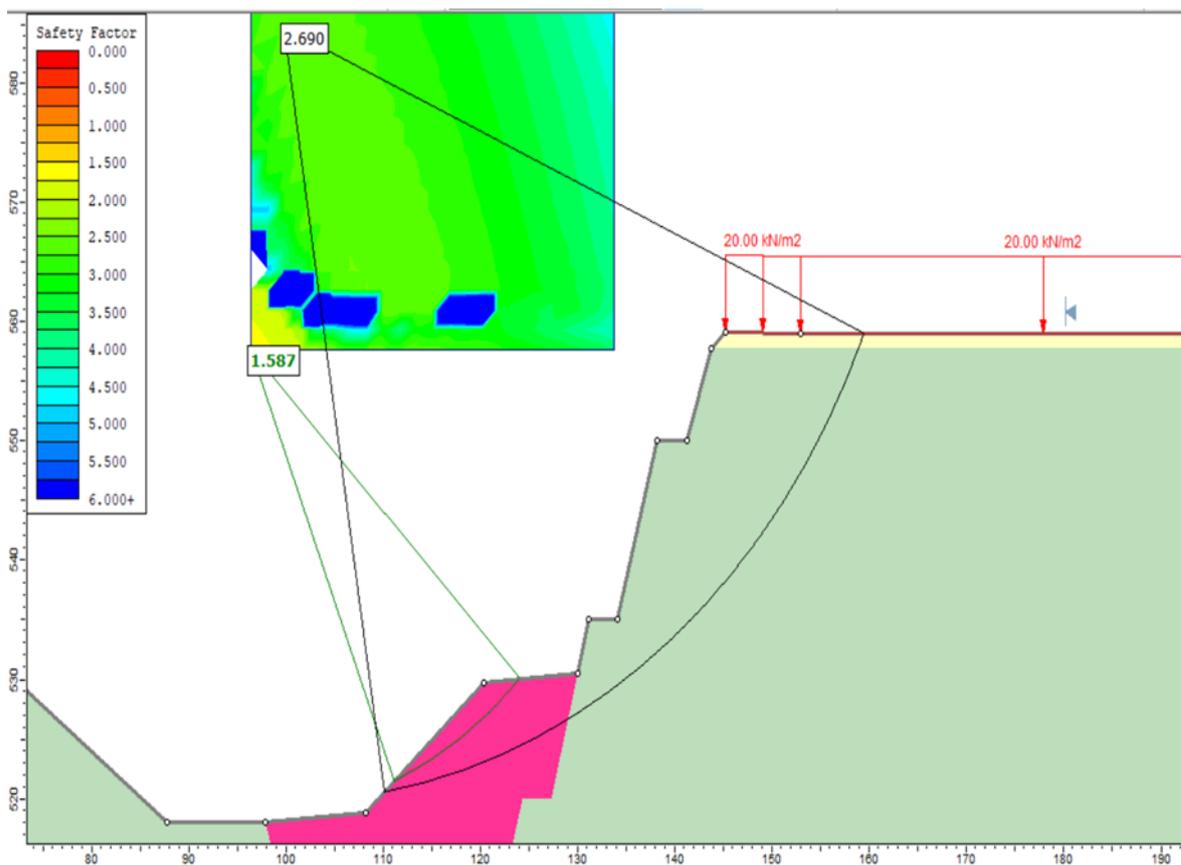


Figura 3 – Fatores de segurança para toda região do talude na Seção Crítica com reforço estrutural.

6. CONCLUSÕES

Os resultados de todos os trabalhos executados para definição de sistema de reforço para melhoria das condições de estabilidade dos taludes da Cava de um pedreira localizada no município de Americana, em um setor em que estes taludes apresentam maior proximidade em

relação à Rodovia municipal que liga as cidades de Americana e Paulínia, com adequação de fatores de segurança para atendimento à norma ABNT NBR 11.682/2009.

Os resultados finais obtidos para simulação de comportamento esperado para os taludes da Cava no setor próximo da Rodovia, mostraram que o sistema de reforço recomendado, nas dimensões e geometria propostas, efetivamente proporcionam uma acentuada melhoria nas condições de estabilidade para os taludes.

Finalmente, os resultados encontrados apontam para uma condição adequada de estabilidade dos taludes em sua conformação final prevista, em relação à condição de proximidade da Rodovia, após implantação do sistema de reforço estrutural; outras medidas adicionais para a preservação desta condição, logicamente deverão ser adotadas, principalmente aquelas relacionadas a gerenciamento de águas pluviais.

Diante das grandes dificuldades impostas pela pandemia nos últimos tempos, com dados obtidos na bibliografia, atividades de reconhecimento de campo, que possibilitaram uma interpretação mais adequada dos resultados obtidos em softwares. Sendo assim, diante de um cenário possivelmente instável na configuração final da área de lavra em estudo, foi proposto um “reforço” feito com o próprio rejeito da mineração, e construído ao longo do desenvolvimento das atividades, minimizando assim custos e impactos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Grupo Estrutural, à Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará e ao Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo, Campus São Carlos pelo apoio e a MLF Geomecânica pelo apoio técnico.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR-11682 - Estabilidade de encostas, editada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas em 2009.

COMPANHIA METROPOLITANO DE SÃO PAULO. Revisão 1980. Normas Técnicas complementares: NC-03, 1980.

CPRM (COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS) - 2006 - Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:750.000, versão 1.0.

FARMER, I. W. Engineering properties of rock. London: E. and F.N. Spon Ltd., 1968. 180 p.

GOODMAN, R. E. Introduction to Rock Mechanics. 2ª. ed. Nova York: John Wiley & Sons, Inc., 1989.

HOEK, E. 1972. Estimando a estabilidade de taludes escavados em minas a céu aberto. São Paulo: Associação Paulista de Geologia Aplicada, 41p.

RAHN, P. H. Engineering geology. Principles of engineering geology. John Wiley & Sons Inc. New York. 1996.

SALAS, J. A. J.; ALPAÑES, J. L. J. Geotecnia y cimientos I: Propiedades de los suelos y de las rocas. 2º. ed. [S. l.: s. n.], 1975.

WALTHAM, T.; FORSTER, A. Man as geological agent. [S. l.: s. n.], 1999.