



Jimmy Alexis Vásquez Najarro

**Análise numérica da influência da temperatura na
estabilidade de um talude de rocha**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre pelo Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio.

Orientador: Eurípedes do Amaral Vargas Jr.

Rio de Janeiro, janeiro de 2015.



Jimmy Alexis Vasquez Najarro

**Análise numérica da influência da temperatura na
estabilidade de um talude de rocha**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Eurípedes do Amaral Vargas Júnior

Orientador

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof^a. Raquel Quadros Velloso

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof. Claudio Palmeiro do Amaral

Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do

Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 24 de fevereiro de 2015.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Jimmy Alexis Vásquez Najarro

Graduou-se em Engenharia Geológica na Universidade Nacional de Engenharia (Lima, Perú – 2005). Realizou especializações em Mecânica das Rochas e Geomecânica aplicadas em trabalhos de mineração. Trabalhou em mineração subterrânea na área de Geomecânica, realizou trabalhos como Geólogo de Campo em projetos de centrais hidroelétricas. No ano 2012 ingressou ao curso de Mestrado em Engenharia Civil da Pontifícia Católica do Rio de Janeiro, na área de Geotecnia, desenvolvendo dissertação de mestrado na linha de pesquisa da Mecânica das Rochas.

Ficha Catalográfica

Vásquez Najarro, Jimmy Alexis

Análise numérica da influência da temperatura na estabilidade de um talude de rocha / Jimmy Alexis Vásquez Najarro; orientador: Eurípedes do Amaral Vargas Jr. – 2015.

67 f: il. (color.); 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 2015.

Inclui bibliografia

1. Engenharia civil – Teses. 2. Análise numérica. 3. Temperatura. 4. Estabilidade de talude. I. Vargas Jr., Eurípedes do Amaral. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. III. Título.

CDD: 624

Para Deus e minha família.

Agradecimentos

Em primeiro lugar dou graças a Deus por permitir continuar com meu crescimento profissional, por colocar em meu caminho muitas pessoas que me ajudaram ao longo de meus estudos e no desenvolvimento da minha pesquisa, e porque a promessa que ele me fez se cumpriu em todo o tempo de meus estudos, “Eu mesmo irei na tua frente e aplanarei lugares montanhosos, arrebentarei as portas de bronze, despedaçarei as barras de ferro e dar-te-ei tesouros ocultos e riquezas escondidas, a fim de que saibas que eu sou Iahweh, aquele que te chama pelo teu nome, o Deus de Israel” (Isaías 45, 2-3)

Ao Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio pela oportunidade de poder estudar o mestrado, pela infraestrutura e suporte.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal a Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

À Fundação Geo-Rio na pessoa do Geol. Luiz Brandão pela cessão de dados e informações sobre o evento de instabilidade de talude ocorrido no Condomínio Gama Lobo.

Resumo

Najarro, Jimmy Alexis Vásquez; Vargas Júnior, Eurípedes do Amaral. **Análise numérica da influência da temperatura na estabilidade de um talude de rocha.** Rio de Janeiro, 2015. 67p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Neste trabalho se faz uma análise numérica da influência da temperatura na estabilidade de um talude em rocha. Com esta finalidade, analisou-se um escorregamento de rocha que ocorreu na cidade do Rio de Janeiro, Brasil, no ano 2009. Nos estudos feitos, depois do escorregamento, por parte de Geo-Rio (Geo-Rio, 2009) não se encontrou nenhuma evidência de algum fator desencadeante, como água subterrânea, pluviosidade, sobrecarga na crista do talude, que poderia haver desencadeado o escorregamento; por tal motivo se fez a consideração de que o fator desencadeante poderia ser a flutuação da temperatura na rocha. Chavez (Chavez, 2007) fez um trabalho experimental para avaliar a influência das oscilações térmicas na estabilidade de um maciço rochoso, isto ajudou para determinar as equações de variação da temperatura, e assim poder definir as condições de contorno para a modelagem. A modelagem se faz no software 3DEC (3 Dimensional Distinct Element Code) (Itasca, 2007). O software representa o meio descontínuo através de uma montagem de blocos, esta característica é de utilidade, já que pode representar, de forma aproximada, as geometrias dos blocos que escorregam. O método numérico que utiliza o 3DEC é o método de elementos distintos ou discretos. Na análise foi feita em duas etapas, na primeira a temperatura do modelo se mantém constante, e na segunda a temperatura do modelo varia respeito ao tempo. Dentro destas duas etapas também foi mudado o ângulo de atrito. Os resultados obtidos indicaram que quando se tem flutuação da temperatura, com alta frequência, e um menor valor de ângulo de atrito, se geram as condições para que aconteça o escorregamento do talude.

Palavras-chave

Análise numérica; temperatura; estabilidade de talude.

Abstract

Najarro, Jimmy Alexis Vásquez; Vargas Júnior, Eurípedes do Amaral (Advisor). **Numerical analysis of the influence of temperature on the stability of a rock slope.** Rio de Janeiro, 2015. 67p. MCs. Dissertation-Department of Civil Engineering, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This research made a numerical analysis of the influence of the temperature on the stability of the rock slope. For this purpose, it analyzed a landslide of rock that occurred in the Rio de Janeiro, Brasil, in 2009. The studies made by Geo-Rio (Geo-Rio, 2009) after the landslide, did not find any evidence of a triggering factor, such as underground water, rainfall, overload on the top of the slope, which could be triggered the slipping; therefore was done the consideration that the triggering factor could be the fluctuation of the rock temperature. Chavez (Chavez, 2007) made an experimental study to evaluate the influence of the temperature fluctuation on the stability of the rock mass; this helped to determine the equations of the variation of the temperature, and be able to define the boundary conditions for the numerical model. The modeling was done in 3DEC software (3 Dimensional Distinct Element Code) (Itasca, 2007). The software represents the discontinuous medium such as assemblage of discrete blocks; this feature is useful because it can represent, approximately, the geometries of the slide blocks. The numerical method that 3DEC uses is the discrete element method. The analysis was done in two stages, the first stage the temperature model keeps constant, and in the second stage the temperature of the model varies with respect to time. In these two stages was also changed the angle of friction. The results indicated that when one has fluctuation of the temperature, with high frequency, and slow value of the angle friction are generated the conditions for that the slope slipping.

Keywords

Numerical analysis; temperature; slope stability.

Sumário

1	Introdução	10
1.1.	Definição do problema	10
1.2.	Objetivo do trabalho	11
1.3.	Escopo	11
2	Influência da temperatura na estabilidade de talude em rocha	12
2.1.	Estudos dos mecanismos de fissuramento	13
2.1.1.	Propagação de fraturas não persistentes	13
2.1.2.	Intemperismo gradual das fraturas	15
2.1.3.	Deformação da rocha em profundidade	15
3	Termomecânica da rocha	18
3.1.	Tensão térmica	18
3.2.	Equações gerais	19
3.3.	Transferência de calor	20
3.3.1.	Condução de calor	20
3.4.	Propriedades térmicas das rochas	22
3.4.1.	Condutividade térmica	22
3.4.2.	Calor específico	23
4	Metodologia	24
4.1.	Método de elementos distintos/discretos	24
4.2.	Descrição do programa 3DEC	25
4.3.	Descrição da Análise Térmica no 3DEC	27
4.3.1.	Condução de Calor	28
4.3.2.	Acoplamento da tensão térmica	29

5	Escorregamento no Rio de Janeiro, Brasil	31
5.1.	Introdução	31
5.2.	Caracterização Geológica	35
5.2.1.	Caracterização Litológica	35
5.2.2.	Mapeamento Estrutural	35
5.3.	Análise cinemática	36
6	Modelagem numérica	38
6.1.	Geometria do modelo	38
6.2.	Condições de Contorno	40
6.3.	Propriedades do maciço rochoso no modelo	44
6.4.	Análise Numérica	47
6.4.1.	Etapa 1: Análise com temperatura constante	48
6.4.2.	Etapa 2: Análise com variação da temperatura	53
7	Conclusões	60
8	Referências bibliográficas	62