

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA E
CONSTRUÇÃO CIVIL

**ANÁLISE TRIDIMENSIONAL DE ESTABILIDADE
DE TALUDE UTILIZANDO O MÉTODO DE
EQUILÍBRIO LIMITE APERFEIÇOADO**

PEDRO ROGÉRIO RIBEIRO ADRIANO

D0006G09
GOIÂNIA
2009

PEDRO ROGÉRIO RIBEIRO ADRIANO

**ANÁLISE TRIDIMENSIONAL DE ESTABILIDADE
DE TALUDE UTILIZANDO O MÉTODO DE
EQUILÍBRIO LIMITE APERFEIÇADO**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Geotecnia e Construção Civil da Universidade Federal de Goiás para obtenção do título de Mestre.

Área de Concentração: Geotecnia

Orientador: Gilson de Farias Neves Gitirana Júnior,
Ph.D

D0006G09
GOIÂNIA
2009

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado às pessoas que mais me apóiam, meus pais José Langerci Adriano e Elza Maria Ribeiro Adriano.

AGRADECIMENTOS

Registro aqui meus sinceros e imensuráveis agradecimentos às pessoas que contribuíram, direta ou indiretamente, para boa realização desta dissertação.

Agradeço à minha família José, Elza e Walter pelo irrestrito apoio e pelos valiosos ensinamentos ao longo de toda minha vida, os quais contribuíram para minha formação como ser humano.

A minha namorada e grande companheira Alenice, que me incentivou e teve enorme paciência neste período da minha vida.

Aos meus amigos Fernando, José Henrique, Vinícius e Paulo Henrique, que além de serem verdadeiros amigos, me ajudaram diretamente na realização deste trabalho.

Ao professor Gilson que foi meu maior incentivador desde a escolha do tema e que me proporcionou valiosos ensinamentos, imensurável auxílio, além de grande disponibilidade e paciência direcionada a mim. Muito Obrigado!

A todos que foram meus professores no GECON, Carlos, Ademir, Maurício, Lílian e Patrícia, e à secretária Aparecida.

Aos meus colegas de GECON, Rodney, Leonardo, Adrianne, Vinícius, Victor, Ricardo, Matilde, Ana Bárbara, Rosely e Lucas.

Agradeço a CAPES pela bolsa de estudos e a SoilVision Systems pelo financiamento das pesquisas.

RESUMO

Esta dissertação tem por objetivo principal investigar uma técnica de análise tridimensional (3D) de estabilidade de taludes pelo método do equilíbrio limite aperfeiçoado. É também objetivo deste trabalho avaliar a aplicabilidade prática do método de análise 3D, interpretar a significância física do estado de tensões 3D na estabilidade de taludes e determinar a relação entre os fatores de segurança bidimensional e tridimensional. Para tal, foi desenvolvido um programa computacional denominado SAFE3D. O programa permite o cálculo do fator de segurança tridimensional (FS_{3D}), considerando superfícies de ruptura pré-estabelecidas, com formato esférico ou elipsoidal. O programa é baseado no método de análise bidimensional proposto por Kulhawy, sendo proposta aqui uma extensão deste método para condições 3D. O método desenvolvido consiste na determinação dos campos de tensões in-situ por meio de análises tensão-deformação 3D elásticas pelo método dos elementos finitos. Os campos de tensões 3D assim determinados são utilizados para o cálculo das tensões normais e cisalhantes ao longo de uma superfície de ruptura qualquer, pré-determinada, e para a determinação do FS_{3D} . Para validar o programa SAFE3D foram feitas análises de dois problemas amplamente estudados por outros pesquisadores, o primeiro correspondendo a um talude simétrico coesivo e o segundo a um talude não-simétrico com coesão e atrito. Foram obtidos excelentes resultados, que sugerem que o programa SAFE3D é eficiente, estável e robusto para os problemas estudados. Os valores de FS_{3D} obtidos são semelhantes àqueles obtidos por outros autores, utilizando métodos distintos. Foram realizadas também baterias de análises paramétricas, considerando o formato da superfície de ruptura e o formato da face do talude, incluindo taludes côncavos e convexos. Os resultados indicam que o FS_{3D} é sempre superior ao fator de segurança bidimensional (FS_{2D}) da superfície intermediária. O valor de FS_{3D} diminuiu para superfícies de ruptura alongadas transversalmente à direção de ruptura, tendendo ao valor de FS_{2D} . Foi determinado que o coeficiente de Poisson possui importante influência no FS_{3D} , sendo que o FS_{3D} cresce com o aumento do coeficiente de Poisson. Tal influência varia de acordo com a geometria do problema e com o tratamento dado às tensões cisalhantes cinematicamente inadmissíveis. Finalmente, é apresentada uma análise 3D do caso histórico de Lodalen. Os resultados obtidos indicam que o FS_{3D} no momento da ruptura é ligeiramente superior e se aproxima de 1, caso sejam utilizados os parâmetros de resistência menos favoráveis, determinados pelos estudos originais. Neste caso, os valores de FS_{2D} são consideravelmente inferiores a 1, indicando a potencial superioridade da abordagem 3D.

palavras-chave: estabilidade de talude; fator de segurança; análise tridimensional.

ABSTRACT

The main objective of this research is to investigate a three-dimensional (3D) slope stability analysis technique using the enhanced limit equilibrium method. The other objectives are to evaluate the practical applicability of the 3D analysis method, to interpret the physical significance of 3D stress states to the stability of a slope, and to determine the relationship between two-dimensional and three-dimensional factors of safety. For that, a computer program called SAFE3D was developed. The computer program is used to calculate the three-dimensional factor of safety (FS_{3D}) for pre-established slip surfaces with spherical or ellipsoidal shape. The computer program is based on the two-dimensional analysis method proposed by Kulhawy, combined with an extension of this theory to 3D conditions that is proposed herein. The method developed consists in determining the in-situ stress fields by means of an elastic 3D stress-strain analysis using the finite element method. The 3D stress fields are then used to calculate the normal and shear stresses along any pre-determined slip surface and to determine the value of FS_{3D} . Two slope stability problems widely studied by other researchers were analyzed in order to validate the program SAFE3D. The first problem corresponds to a symmetric cohesive slope and the second problem corresponds to a non-symmetric slope with cohesion and friction. Excellent results were obtained, suggesting that the program SAFE3D is efficient, stable, and robust for the problems studied. The values of FS_{3D} obtained herein are similar to the values presented by other authors using distinct methods of analysis. A parametric study was carried out considering the shape of the slip surface and the shape of the face of the slope, including concave and convex slopes. The results indicate that the values of FS_{3D} are always higher than the two-dimensional factor of safety (FS_{2D}) of the intermediate surface. The value of FS_{3D} decreased for slip surfaces extended across the sliding direction and approached the value of FS_{2D} . It was determined that the Poisson's ratio has an important influence on the FS_{3D} . The value of FS_{3D} increases with the increase of Poisson's ratio. This influence varies with the geometry of the problem and the treatment given to the cinematically inadmissible shear stresses. Finally, a 3D analysis of the historic case of Lodalen is presented. The results indicate that the FS_{3D} at the time of the slide is slightly higher and approaches 1 if the less favorable shear strength parameters determined by previous studies are used. In this case, the values obtained for FS_{2D} are considerably smaller than 1, thereby indicating the potential superiority of the 3D approach.

keywords: slope stability; factors of safety; three-dimensional analysis.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1 – Talude e terminologia: a) vista tridimensional; b) vista do corte transversal do talude.
- Figura 2.1 – a) Geometria tridimensional e superfície de ruptura esférica. b) Geometria bidimensional e superfície de ruptura circular.
- Figura 2.2 – Forças atuantes em uma fatia (FREDLUND; KRAHN, 1977).
- Figura 2.3 – Massa de solo deslizante tridimensional (CHEN; CHAMEAU, 1982).
- Figura 2.4 – Diagrama de corpo livre de uma coluna (LAM; FREDLUND, 1993)
- Figura 2.5 – Sistema de blocos 3D (CHANG, 2002).
- Figura 3.1 – Tensor de estado de tensões atuantes em um elemento representativo de volume de solo.
- Figura 3.2 – Tensor de estado de deformações atuantes em um elemento representativo de volume de solo.
- Figura 3.3 – Elemento representativo de volume de solo, com as tensões e variações diferenciais.
- Figura 3.4 – Talude tridimensional com suas condições de fronteira.
- Figura 3.5 – a) Talude tridimensional com a superfície de ruptura e tensões; b) projeção do talude no plano horizontal e possíveis direções de escorregamento.
- Figura 3.6 – Fluxograma do procedimento do cálculo do fator de segurança
- Figura 3.7 – Grid de pontos na base da superfície de ruptura.
- Figura 3.8 – a) Talude tridimensional com a superfície de ruptura e direção de escorregamento; b) projeção da superfície de ruptura no plano e cossenos diretores.
- Figura 3.9 – Talude tridimensional com a superfície de ruptura esférica.
- Figura 3.10 – a) Superfície de ruptura elipsoidal e seus parâmetros; b) Elipse no plano x-y; c) Elipse no plano x-z; d) Elipse no plano y-z.
- Figuras 4.1 – Componentes de análise e programas utilizados
- Figura 4.2 – Fluxograma de funcionamento do SAFE3D
- Figura 4.3 – Arquivo flexdata
- Figura 4.4 – Célula e a convenção de numeração dos nós.
- Figura 4.5 – Alternativas de intercepção entre um elipsóide e uma célula tetraédrica: a) célula não interceptada pela superfície de ruptura; b) célula interceptada pela superfície de ruptura em três arestas; e c) célula interceptada pela superfície de ruptura em quatro arestas.

Figura 4.6 – a) ordem dos vértices se A_1 for maior que A_2 e A_3 ; b) ordem dos vértices se A_2 for maior que A_1 e A_3 ; e c) ordem dos vértices se A_3 for maior que A_1 e A_2

Figura 4.7 – Intersecção entre um elipsóide e uma reta.

Figura 4.8 – Pontos de integração pela quadratura de Gauss-Legendre: a) Um ponto de integração (polinomial linear) e b) Três pontos de integração (polinomial quadrático).

Figura 4.9 – Coordenadas naturais de um elemento tetraédrico quadrático.

Figura 5.1 – Talude simétrico coesivo, geometria e condições de fronteira: a) tridimensional original; b) corte transversal original; c) tridimensional estendido; d) corte transversal estendido.

Figura 5.2 – Malha de elementos finitos para diferentes valores de *ngrid*: a) *ngrid* igual a 5; b) *ngrid* igual a 10; c) *ngrid* igual a 20; e c) *ngrid* igual a 30.

Figura 5.3 – Fator de segurança versus *ngrid* para coeficiente de Poisson de 0,4 e eliminando tensões cisalhantes cinematicamente inadmissíveis

Figura 5.4 – Área da superfície de ruptura versus *ngrid* para coeficiente de Poisson de 0,4 e eliminando tensões cisalhantes cinematicamente inadmissíveis.

Figura 5.5 – Tempo de análise para diferentes valores de *ngrid*

Figura 5.6 – Fator de Segurança x *ngrid*

Figura 5.7 – Fator de Segurança x Coeficiente de Poisson.

Figura 5.8 – Distribuição de tensões cisalhantes atuantes ao longo da superfície de ruptura para diferentes coeficientes de Poisson: a) 0,0; b) 0,2; c) 0,3 e d) 0,49.

Figura 5.9 – Estado de tensões ao longo de uma superfície de ruptura bi-dimensional representativa do problema tridimensional.

Figura 5.10 – Estado de tensões na zona passiva, próximo ao pé do talude, para diferentes valores de coeficiente de Poisson.

Figura 5.11 – Estado de tensões na zona ativa, próximo à crista do talude, para diferentes valores de coeficiente de Poisson.

Figura 5.12 – Fator de Segurança x Coeficiente de Poisson. Geometria original e estendida

Figura 5.13 – Talude não-simétrico com coesão e atrito: geometria e condições de fronteira

Figura 5.14 – Discretização do problema: (a) malha de elementos finitos; (b) formado da superfície de ruptura

Figura 5.15 – Talude não-simétrico com coesão e atrito: fator de segurança x coeficiente de Poisson.

Figura 5.16 – Distribuição de tensões cisalhantes atuantes ao longo da superfície de ruptura para diferentes coeficientes de Poisson: a) superfície de ruptura Hungr et al. 1989; b) Leshchinsky et al. 1985;

Figura 6.1 – Parâmetros geométricos da superfície de ruptura elipsoidal.

Figura 6.2 – Talude simétrico coesivo com superfície de ruptura elipsoidal: a) geometria e condições de fronteira 3D; b) corte 2D.

Figura 6.3 – Talude simétrico coesivo com superfície de ruptura elipsoidal: a) semi-eixo $a = 0,5\text{m}$; b) semi-eixo $a = 1\text{m}$; c) semi-eixo $a = 2\text{m}$; d) semi-eixo $a = 5\text{m}$.

Figura 6.4 – Fator de segurança versus comprimento do semi-eixo a , mantendo tensões cisalhantes inadmissíveis ($a < 1$)

Figura 6.5 – Fator de segurança versus comprimento do semi-eixo a , eliminando tensões cisalhantes inadmissíveis ($a < 1$)

Figura 6.6 – Fator de segurança 2D em função do coeficiente de Poisson

Figura 6.7 – Distribuição de tensões cisalhantes ao longo de superfícies de ruptura para diferentes valores de coeficiente de Poisson: a) $\mu = 0,0$ e $a = 0,1$; b) $\mu = 0,49$ e $a = 0,1$; c) $\mu = 0,0$ e $a = 1$; e d) $\mu = 0,49$ e $a = 1$

Figura 6.8 – Fator de segurança versus comprimento do semi-eixo a , mantendo tensões cisalhantes inadmissíveis ($a > 1$)

Figura 6.9 – Fator de segurança versus comprimento do semi-eixo a , eliminando tensões cisalhantes inadmissíveis ($a > 1$)

Figura 6.10 – Distribuição de tensões cisalhantes ao longo de superfícies de ruptura para diferentes valores de coeficiente de Poisson: a) $\mu = 0,0$ e $a = 2$; b) $\mu = 0,49$ e $a = 2$; c) $\mu = 0,0$ e $a = 15$; e d) $\mu = 0,49$ e $a = 15$

Figura 6.11 – Várias geometrias analisadas: a) talude bidimensional; b) talude tridimensional plano; c) talude tridimensional convexo; d) talude tridimensional côncavo

Figura 6.12 – Várias malhas geradas para cada tipo de geometria: a) talude bidimensional; b) talude tridimensional plano; c) talude tridimensional convexo; d) talude tridimensional côncavo

Figura 6.13 – Fator de segurança obtido com o programa SAFE3D variando a geometria e o valor do coeficiente de Poisson, e preservando as tensões cisalhantes inadmissíveis

Figura 6.14 – Fator de segurança obtido realizando a integração de tensões pelo programa FlexPDE, variando a geometria e o valor do coeficiente de Poisson, e preservando as tensões cisalhantes inadmissíveis

Figura 6.15 – Fator de segurança variando a geometria e o valor do coeficiente de Poisson, e eliminando as tensões cisalhantes inadmissíveis

Figura 6.16 – Distribuição de tensões cisalhantes ao longo de superfícies de ruptura para diferentes valores de coeficiente de Poisson e diferentes geometrias do talude: a) $\mu = 0,0$ e $\alpha = 30$; b) $\mu = 0,49$ e $\alpha = 30$; c) $\mu = 0,0$ e $\alpha = -60$; e d) $\mu = 0,49$ e $\alpha = -60$

Figura 7.1 – Relevo da área antes do curso do rio ser alterado (Sevaldson, 1956)

Figura 7.2 – Seções tomadas na região da massa deslizada: a) seção transversal intermediária; b) seção lateral esquerda; c) seção lateral direita (Sevaldson, 1956)

Figura 7.3 – Envoltórias de resistência ao cisalhamento obtidas por meio de ensaios triaxiais do tipo CU (dados de Sevaldson, 1956)

Figura 7.4 – Poro-pressões no maciço de solo (EL-RAMLY ET AL., 2006)

Figura 7.5 – Escorregamento Lodalen: geometria e malha correspondente à representação simplificada da superfície do terreno

Figura 7.6 – Escorregamento Lodalen: geometria e malha correspondente à representação rigorosa da superfície do terreno

Figura 7.7 – Escorregamento Lodalen: modelo simplificado de terreno e superfície de ruptura

Figura 7.8 – Escorregamento Lodalen: modelo rigoroso de terreno e superfície de ruptura

Figura 7.9 – Malha e superfície de ruptura utilizadas nas análises bidimensionais

Figura 7.10 – Escorregamento Lodalen: distribuição de poro-pressão

Figura 7.11 – Fatores de segurança bi e tridimensionais obtidos com o programa SAFE3D: modelo de terreno simplificado e parâmetros de resistência originais

Figura 7.12 – Fatores de segurança bi e tridimensionais obtidos com o programa SAFE3D: modelo de terreno rigoroso e parâmetros de resistência originais

Figura 7.13 – Fatores de segurança bi e tridimensionais obtidos com o programa SAFE3D: modelo de terreno simplificado e parâmetros de resistência inferiores

Figura 7.14 – Fatores de segurança bi e tridimensionais obtidos com o programa SAFE3D: modelo de terreno rigoroso e parâmetros de resistência inferiores

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 – Parâmetros de entrada

Quadro 3.2 – Parâmetros de entrada

Quadro 4.1 – Parâmetros de entrada

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 – Fator de segurança obtido por outros pesquisadores

Tabela 5.2 – Fator de segurança obtido por outros pesquisadores

Tabela 5.3 – Parâmetros das superfícies de ruptura

Tabela 7.1 – Fator de segurança obtido por Gitirana Jr. et al. (2007b) e Sevaldson (1956)

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D – Bidimensional

3D – Tridimensional

FS – Fator de segurança

GLE – Método do equilíbrio limite geral

MEF – Método dos elementos finitos

LISTA DE SÍMBOLOS

α – Ângulo de orientação

γ_{ij} – Deformação cisalhante atuando no plano- i , na direção- j .

ε_i – Deformação normal atuando no plano- i , na direção- i .

ζ_i – Valores de variável qualquer

θ – Orientação da elipsóide sentido horário

λ – Porcentagem da função entre colunas usada na solução do fator de segurança.

μ – Coeficiente de Poisson.

σ' – Tensão normal efetiva.

σ_i – Tensão normal atuando no plano- i , na direção- i .

$(\sigma'_1 - \sigma'_3)$ – Diferença entre as tensões principais

τ – Tensão cisalhante

τ_f – Resistência ao cisalhamento

τ_{ij} – Tensão cisalhante atuando no plano- i , na direção- j .

ϕ' – Ângulo de atrito efetivo

ϕ^b – Ângulo de atrito com respeito a mudanças na sucção matricial

E – Módulo de Young

a – Comprimento do semi-eixo da elipsóide na direção x .

b – Comprimento do semi-eixo da elipsóide na direção y .

b_i – Forças de corpo.

c – Comprimento do semi-eixo da elipsóide na direção z .

c' – Coesão efetiva.

$f(x)$ – Função que define a direção da força resultante entre fatias.

kPa – Quilo Paschoal

kN – Quilo Newton.

m – Metro.

ngrid – Mínimo número de elementos em cada dimensão do domínio.

u – Deslocamento na direção x .

u_a – Poro-pressão de ar.

u_w – Poro-pressão de água.

v – Deslocamento na direção y .

w – Deslocamento na direção z .

x_{0e} – Coordenada do centro da elipsóide na direção x.

x_{0s} – Coordenada do centro da esfera na direção x.

y_{0e} – Coordenada do centro da elipsóide na direção y.

y_{0s} – Coordenada do centro da esfera na direção y.

z_{0e} – Coordenada do centro da elipsóide na direção z.

z_{0s} – Coordenada do centro da esfera na direção z.

A – Área.

F_f – Fator de segurança para o equilíbrio de forças horizontais.

F_m – Fator de segurança baseado no equilíbrio de momentos das fatias.

R – Soma das forças atuantes a favor do movimento de ruptura.

R_s – Comprimento do raio da esfera.

S – Soma das forças atuantes a favor do movimento de ruptura.

V – Volume.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO

1.1 OBJETIVO

1.2 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ESTABILIDADE DE TALUDES

2.2 MÉTODO DO EQUILÍBRIO LIMITE DAS FATIAS BIDIMENSIONAL

2.3 MÉTODO DO EQUILÍBRIO LIMITE APERFEIÇOADO BIDIMENSIONAL

2.4 ANÁLISE TRIDIMENSIONAL DE ESTABILIDADE DE TALUDE

3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DA AET EM 3D

3.1 EQUAÇÕES DIFERENCIAIS PARCIAIS PARA ANÁLISE DE TENSÕES

3.1.1 Estado de tensões tridimensionais em uma massa de solo

3.1.2 Estado de deformações tridimensionais em uma massa de solo

3.1.3 Relação entre deformações e deslocamentos

3.1.4 Relações tensão-deformação para a condição tridimensional

3.1.5 Equações diferenciais de equilíbrio

3.1.6 Equações diferenciais parciais para a análise de tensões tridimensionais em uma massa de solo

3.2 CONDIÇÕES DE FRONTEIRA

3.3 ANÁLISE DO FATOR DE SEGURANÇA AO LONGO DE UMA SUPERFÍCIE TRIDIMENSIONAL

3.3.1 Tensões resistentes e atuantes ao longo de uma superfície de ruptura tridimensional

3.3.2 Superfície de ruptura esférica

3.3.3 Superfície de ruptura elipsoidal

4 IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA SAFE3D

4.1 ESTRUTURA DA SOLUÇÃO NUMÉRICA DESENVOLVIDA

4.2 PROGRAMA FLEXPDE

4.3 PROGRAMA SAFE3D

4.3.1 Programa principal

4.3.2 Sub-rotina FOS

4.3.2.1 Determinação das células que são cruzadas pela superfície de ruptura

4.3.2.2 Cálculo das coordenadas de intercepção de cada célula

4.3.2.3 Cálculo das áreas de intercepção de cada célula

4.3.2.4 Cálculo das forças atuantes na área de interseção

4.3.2.5 Divisão de áreas de interseção quadrilaterais

4.3.2.6 Cálculo do fator de segurança

4.3.3 Sub-rotina INTERCEPT

4.3.4 Sub-rotina STRESS_GAUSS_LT

4.3.5 Sub-rotina STRESS_GAUSS_QT

4.3.6 Sub-rotina SHAPE_QT

5 ANÁLISE DE PROBLEMAS DE VERIFICAÇÃO

5.1 TALUDE SIMÉTRICO COESIVO

5.1.1 Descrição do problema

5.1.2 Coletânea de resultados da literatura

5.1.3 Análise da influência da densidade da malha

5.1.4 Análise da influência do coeficiente de Poisson e da eliminação de tensões cisalhantes inadmissíveis

5.1.5 Análise da influência das dimensões do domínio

5.1.6 Comparação entre os resultados obtidos com o programa SAFE3D e os resultados coletados na literatura

5.2 TALUDE NÃO-SIMÉTRICO COM COESÃO E ATRITO

5.2.1 Descrição do problema

5.2.2 Resultados obtidos

6 ANÁLISES PARAMÉTRICAS DAS GEOMETRIAS DE RUPTURA TRIDIMENSIONAIS

6.1 ANÁLISE PARAMÉTRICA DO FORMATO DA SUPERFÍCIE DE RUPTURA

6.1.1 Descrição das análises paramétricas

6.1.2 Resultados e discussão

6.1.2.1 Superfícies alongadas ao longo da direção de ruptura ($a < b$ e c)

6.1.2.2 Superfícies alongadas transversalmente à direção de ruptura ($a > b$ e c)

6.2 ANÁLISE PARAMÉTRICA DA FORMA DA SUPERFÍCIE DO TALUDE

6.2.1 Descrição das análises paramétricas

6.2.2 Resultados e discussão

6.2.2.1 Análises preservando tensões cisalhantes cinematicamente inadmissíveis

7 ANÁLISE TRIDIMENSIONAL DO ESCORREGAMENTO DE LODALEN

7.1 DESCRIÇÃO DO ESCORREGAMENTO DE LODALEN E RESULTADOS DE ANÁLISES ENCONTRADAS NA LITERATURA

7.1.1 Características do solo

7.1.2 Análises de estabilidade encontradas na literatura

7.2 ANÁLISE TRIDIMENSIONAL DO ESCORREGAMENTO DE LODALEN

7.2.1 Parâmetros adotados

7.2.2 Superfície e ruptura e condições de poro-pressão

7.2.3 Resultados e discussão

8 CONCLUSÕES

8.1 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APÊNDICE 1

APÊNDICE 2