

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: Bolsistas de Iniciação Científica e Iniciação Tecnológica da Unijuí

**APLICAÇÃO DO MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS EM UM TALUDE:
COMPARAÇÃO ENTRE A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E A PRÁTICA¹
APPLICATION OF THE DISCRETE ELEMENTS METHOD IN A SKILL:
COMPARISON BETWEEN COMPUTATIONAL SIMULATION AND
PRACTICE**

Évelyn Magalhães De Carli², Manuel Osório Binelo³, Ricardo Klein Lorenzoni⁴, Jean Victor Bruxel⁵, Diego Menegusso Pires⁶

¹ Pesquisa Institucional desenvolvida no Departamento de Ciências Exatas e Engenharias (DCEEng), pertencente ao grupo de pesquisa Secagem Artificial e Armazenamento de Grãos de Soja: Estudo Experimental e Simulação Numérica

² Aluna do curso de Graduação em Engenharia Civil da UNIJUI, bolsista PIBIC/UNIJUI, evelynmagal@outlook.com;

³ Professor Doutor do Programa de Pós-graduação em Modelagem Matemática, Orientador, manuel.binelo@gmail.com;

⁴ Aluno do Curso de Doutorado em Modelagem Matemática da UNIJUI, bolsista CAPES, ricolorenzoni@gmail.com;

⁵ Aluno do curso de Graduação em Engenharia Elétrica da UNIJUI, bolsista PIBIC/Cnpq, jeanbruxel@hotmail.com;

⁶ Aluno do curso de Graduação em Engenharia Civil da UNIJUI, bolsista PET, diego.msso@gmail.com;

INTRODUÇÃO

O talude é um plano de terreno inclinado que limita um aterro e tem como principal função garantir a estabilidade do mesmo. Segundo Almeida (2016), contenção de encostas e estabilização de taludes é uma atividade essencial em Engenharia que garante a preservação de muitos empreendimentos e evita acidentes muitas vezes catastróficos.

O objetivo principal desta pesquisa, é apresentar a comparação entre a simulação computacional e a prática de um talude, para determinar como é o comportamento desta estrutura em ambas as situações.

METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foi necessário determinar o tipo de solo que seria utilizado, e desta forma, obter os parâmetros do mesmo para a simulação. O solo utilizado é o solo argiloso arenoso, característico do noroeste do estado do Rio Grande do Sul, que foi retirado próximo do hospital veterinário, no campus da Unijuí de Ijuí, cujas principais determinações são conhecidas a partir de outros trabalhos realizados anteriormente para outras disciplinas do curso. Os parâmetros necessários para a simulação são:

- Ângulo de atrito (ϕ): é o ângulo formado com o eixo das tensões normais pela tangente à circunferência de Mohr, representativa das resistências ao cisalhamento da rocha, sob diferentes tensões normais. Para o solo em questão, as pesquisas apresentam que o valor deste parâmetro

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: Bolsistas de Iniciação Científica e Iniciação Tecnológica da Unijuí

seja 15.8°. Ainda, o mesmo pode ser encontrado através da Equação 01, a seguir, que é a equação da Lei de Coulomb.

Equação 01 – Ângulo de atrito

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi$$

Onde:

τ – Resistência ao corte;

σ – Tensão total normal;

c – coesão.

- Módulo de Young (E): também conhecido como módulo de elasticidade, é um parâmetro mecânico que proporciona uma medida da rigidez de um material sólido. É uma propriedade intrínseca dos materiais, dependente da composição química, microestrutura e defeitos (poros e trincas), que pode ser obtida da razão entre a tensão exercida e a deformação sofrida pelo material. Para o solo, este valor é 20.2 Mpa, ou pode ser definido pela Equação 02.

Equação 02 – Módulo de Young

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Onde:

σ – Tensão do material;

ε – Deformação do material.

- Coeficiente de Poisson (ν): este coeficiente mede a deformação transversal (em relação à direção longitudinal de aplicação da carga) de um material homogêneo e isotrópico, e é determinado pela Equação 03. Segundo os pesquisadores Teixeira & Godoy (1996), Poulos & Davis (1974) e Poulos (1967), o coeficiente de Poisson do solo argiloso está entre 0,21 e 0,22. Na pesquisa, este valor foi adotado como sendo 0,215.

Equação 03 – Coeficiente de Poisson

$$\nu = -\frac{\epsilon_x}{\epsilon_z} = -\frac{\epsilon_y}{\epsilon_z}$$

Onde:

ϵ_x = Deformação na direção de x, que é transversal;

ϵ_z = Deformação na direção de z, que é longitudinal;

ϵ_y = Deformação na direção de y, que é transversal;

Para realizar a prática com o solo, como não tem um aparelho específico para esta ocasião, foi utilizado um balde, no qual foi colocado o solo. Este solo, foi derramado numa superfície lisa, a uma altura de aproximadamente 80 cm, cujo esquema pode ser observado na Figura 01.

Figura 01 – Esquema para realização da prática

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: Bolsistas de Iniciação Científica e Iniciação Tecnológica da Unijuí



Como esta prática não é totalmente precisa, pois não tem como controlar 100% a altura de queda do solo, foi necessário realizar várias repetições da mesma, para obter um resultado mais aproximado. Além desta prática, foi separada uma amostra de 200 gramas do solo, que foi colocada numa estufa a 110°C por 24 horas, e novamente medida, que resultou em 197,11 gramas em seu estado ainda quente, e desta forma, pôde-se definir que a umidade em que o solo se encontrava quando foi realizada a prática era de 14,45%. Na Figura 02 pode ser observado como ficaram as imagens capturadas na prática.

Figura 02 - Imagens capturadas na execução da prática



Após esta etapa, foram iniciadas as simulações com o programa yade, que foram feitas e refeitas até encontrar um comportamento semelhante ao do solo.

O YADE (Yet Another Dynamic Engine), simula partículas, atribuindo diversas propriedades, analisando seu comportamento em conjunto a várias formas que podem ser desenvolvidas no

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: Bolsistas de Iniciação Científica e Iniciação Tecnológica da Unijui

simulador. É uma estrutura extensível de código aberto para modelos numéricos discretos, focada no Método dos Elementos Discretos.

O projeto começou como um protótipo da SDEC na Grenoble University, agora está sendo desenvolvido em vários institutos de pesquisa e tem uma comunidade de usuários ativa e útil. As partes de computação são escritas em c++ usando o modelo de objeto flexível, permitindo a implementação independente de novos algoritmos, interfaces com outros pacotes de software (por exemplo, simulação de fluxo), rotinas de importação / exportação de dados. O Python pode ser usado para criar e manipular a simulação ou para o pós-processamento. A seguir, na Figura 03, pode-se observar um exemplo de script utilizado na interface do programa.

Figura 03 - Exemplo de script de simulação

```
1 from yade import pack, plot, qt, utils
2 import sys
3 ralo=0.04
4
5 global angulo
6 angulo=0
7
8 matsuperficie=CohFrictMat(density=2700,young=7e10,poisson=0.334,label="superficie")
9 idsuperficie=0.materials.append(matsuperficie)
10
11
12 #base
13 p1 = (0,0,0)
14 p2 = (0,0.05,0)
15 p3 = (0.315,0,0)
16 p4 = (0.315,0.05,0)
17
18 f1=utils.facet([p1,p2,p3],mask=1,wire=False,material=idsuperficie)
19 f2=utils.facet([p2,p3,p4],mask=1,wire=False,material=idsuperficie)
```

Simulações numéricas usando o MED se tornaram uma ferramenta valiosa para o estudo de diferentes fenômenos que ocorrem em escala micro em materiais granulares, fornecendo um laboratório virtual que permite ao pesquisador realizar experiências que são difíceis ou impossíveis de realizar em experimentos físicos (LIMA, 2014).

Segundo Lima (2014), o método dos elementos discretos (MED) é um método numérico computacional capaz de simular a movimentação e a interação de um grande número de partículas. Pode ser aplicado em problemas como: movimentação de grãos em equipamentos agrícolas, movimentação e processamento de materiais granulares em diversos ramos da indústria, mecânica de solos, entre outros.

Lima (2014) ainda afirma que, o MED tem larga aplicação no tratamento de materiais granulares, ao contrário do Método dos Elementos Finitos (MEF), o MED trata de um sistema não-contínuo. Segundo Geng (2010) o MED oferece a possibilidade de investigar o comportamento mecânico de materiais granulares, tanto a nível micro e macro, sendo um método superior na modelagem de um material descontínuo do que outras ferramentas numéricas como MEF.

O MED está se tornando largamente aceito como um método efetivo para avaliar problemas de engenharia envolvendo materiais granulares especialmente em problemas de escoamento de partículas (MESQUITA 2012). Por isso, cada avanço acerca da utilização do MED deve ser considerado, pois é importante para o desenvolvimento de pesquisas futuras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a realização da prática, com o programa RULER online, foi possível medir o ângulo que a estrutura formou com o plano horizontal, que foi definido, através da média dos valores

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: Bolsistas de Iniciação Científica e Iniciação Tecnológica da Unijuí

encontrados para todas as repetições, como sendo 28° . Já na simulação, que durou 2 horas e 43 minutos, o ângulo formado com a superfície horizontal encontrado foi de 23° o que demonstra que existe uma razoável diferença com a prática. Na Figura 04 a seguir, é possível observar os dois modelos, da prática e da simulação, para melhor apresentar ambos os resultados.

Figura 04 - Simulação x Prática



Como pode ser observado, a diferença entre os dois modelos é grande, o que ocorreu, pois, a velocidade utilizada na simulação foi muito alta, fazendo com que as partículas se espalhassem no momento em que caíam, e não formassem um monte semelhante ao da prática.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os dois modelos, foi possível ter uma ideia de como é a teoria e prática para a execução de um talude. Como essa pesquisa está no início, existem muitas coisas que não estão claras e que precisam ser reajustadas, como a velocidade em que as partículas caem na simulação, que foi uma das principais causas para a grande diferença nos modelos.

Palavras-chave: Yade; Engenharia; Mecânica dos Solos; Computação.

Keywords: Yade; Engineering; Soil Mechanics; Computation.

AGRADECIMENTOS

Ao PIBIC e à UNIJUI pelo financiamento deste projeto de pesquisa, ao orientador pela experiência, atenção e orientações indispensáveis para este trabalho e aos coautores pelo apoio e auxílio. Agradeço também ao LEC (Laboratório de Engenharia Civil), por disponibilizar os equipamentos para realização da prática e a estufa para obter a umidade do solo.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Julio Cesar de. APLICAÇÃO DE ESTUDOS GEOTÉCNICOS EM INSTABILIDADE DE TALUDES NA INSTALAÇÃO DE DUTOS DE GÁS SUBTERRÂNEOS. Revista Técnico-Científica do CREA-PR - ISSN 2358-5420 - 4a edição - junho de 2016.
- GENG, X.; Fraser, W.; Vandenbygaart, B.; Smith, S.; Wadell, A.; Jiao, Y. & Patterson, G. (2010) TOWARD DIGITAL SOIL MAPPING IN CANADA: EXISTING SOIL SURVEY DATA AND RELATED EXPERT KNOWLEDGE. Digital soil mapping; Progress in soil science, 2. Amsterdam, Springer. p.325-335.
- LIMA, Rodolfo França de. MODELAGEM MATEMÁTICA DO ESCOAMENTO DE GRÃOS DE SOJA EM UM SECADOR COM FLUXO MISTO USANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS. 2014.

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: Bolsistas de Iniciação Científica e Iniciação Tecnológica da Unijuí

MESQUITA, A., Silva, M. O., Santos, E., Carvalho, L.C., Gomes, E., Neto, E., Mafra, M. (2012). USO DO MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS EM MANUSEIO DE MINÉRIOS E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA A PÓS GRADUAÇÃO E GRADUAÇÃO NO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA DA UFPA. Anais: XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia - COBENGE, Belém, PA, Brasil.

POULOS, H. G. (1967). STRESSES AND DISPLACEMENTS IN AN ELASTIC LAYER UNDERLAIN BY ROUGH RIGID BASE. *Géotechnique*, v.17, p. 378-410.

POULOS, H. G.; DAVIS, E. H. (1974). ELASTIC SOLUTIONS FOR SOIL AND ROCK MASS. New York, John Wiley & Sons 535p.

TEIXEIRA, A. H.; GODOY, N. S. (1996). ANÁLISE, PROJETO E EXECUÇÃO DE FUNDAÇÕES RASAS. FUNDAÇÕES: TEORIA E PRÁTICA. Hachich et al. (editores), Ed. Pini, São Paulo, cap.7, p. 227-264.