



## O USO DO GEOGEBRA NO ENSINO DE MECÂNICA DOS SOLOS

**Gustavo H. Nalon** – [gustavo.henrique@ufv.br](mailto:gustavo.henrique@ufv.br)

**Bruno C. Sabioni** – [bruno.sabioni@ufv.br](mailto:bruno.sabioni@ufv.br)

Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil

Av. P.H. Rolfs – Campus Universitário

36570-000 – Viçosa – MG

**Walcyr D. Nascimento** – [walcyr.nascimento@ifsudestemg.edu.br](mailto:walcyr.nascimento@ifsudestemg.edu.br)

Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais – Campus Juiz de Fora, Departamento de Educação e Tecnologia

Rua Bernardo Mascarenhas, 1283, bairro Fábrica

36080-001 – Juiz de Fora – MG

**Paulo Sérgio de A. Barbosa** – [pbarbosa@ufv.br](mailto:pbarbosa@ufv.br)

Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil

Av. P.H. Rolfs – Campus Universitário

36570-000 – Viçosa – MG

**Resumo:** *Este trabalho mostra como o aplicativo matemático GeoGebra pode ser inserido no processo de ensino-aprendizagem da disciplina de Mecânica dos Solos do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa como instrumento didático facilitador da aprendizagem. Destaca-se a relevância do estudo da resistência ao cisalhamento do solo e a aplicabilidade do GeoGebra a problemas de Engenharia Geotécnica relativos a ruptura de maciços terrosos. São apresentados exemplos de problemas para determinação gráfica dos parâmetros de resistência ao cisalhamento de solos e das tensões normal e tangencial no plano de ruptura. A expectativa é banalizar o uso deste aplicativo no ensino da engenharia, tal que se torne mais um recurso digital à disposição de discentes e docentes, com propósito de incentivar o aluno ao estudo e ampliar sua participação em sala de aula.*

**Palavras-chave:** *Mecânica dos solos, Resistência ao cisalhamento dos solos, Desenho dinâmico, GeoGebra, Processo ensino-aprendizagem.*

### 1. INTRODUÇÃO

A disciplina “Mecânica dos Solos II” ministrada no curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa (UFV) apresenta muitos tópicos que normalmente são abordados por meio de construções de gráficos, os quais são ou desenhados nos tradicionais quadros-negros das salas de aula, ou apresentados previamente prontos usando os recursos de programas tipo PowerPoint.

Quando o professor utiliza o quadro negro para a apresentação de uma solução gráfica, tem-se a vantagem de poder desenhá-la passo-a-passo. Porém, duas dificuldades surgem a partir daí. A primeira dificuldade é a necessidade do uso de instrumentos para desenhar com maior precisão, tais como esquadros, transferidor e compasso. Mas isto pode ser resolvido

Realização:

 **ABENGE**

Organização:



**O ENGENHEIRO  
PROFESSOR É O  
DESAFIO DE EDUCAR**



com a aquisição dos instrumentos e com a boa prática do professor para usá-los ao quadro. A segunda dificuldade, considerada como a mais crítica, é quando há necessidade de se rerepresentar alguns passos do desenho para uma abordagem diferenciada para alguns alunos. Tal dificuldade pode ser solucionada com paciência, pois muitas vezes tem-se que limpar todo o quadro e refazer integralmente o processo para um bom entendimento dos alunos. Com a ajuda dos recursos animados concebidos no PowerPoint, pode ser refeito todas ou somente algumas etapas do desenho, mas requer que o professor preveja os possíveis pontos de dúvidas dos alunos e faça previamente as animações, como apresentado na Figura 1.

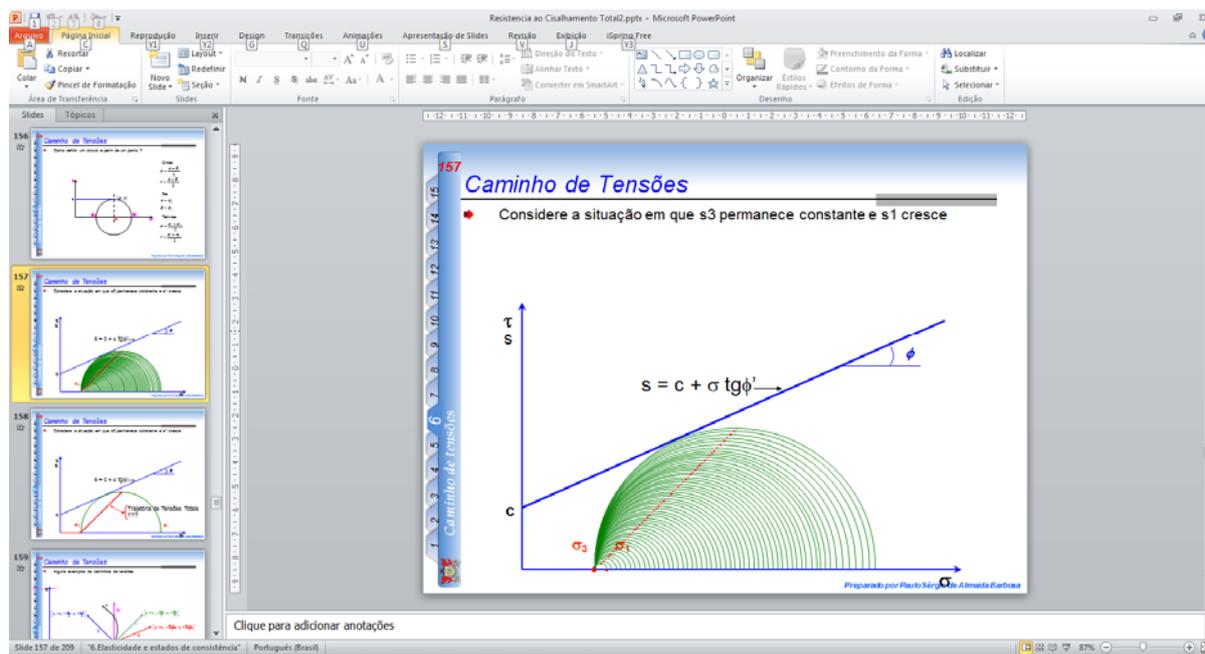


Figura 1 – Apresentação do conceito de caminho de tensões, mostrando o caso em que a tensão principal menor é constante e a tensão principal maior cresce.

Diante destas dificuldades, o uso de figuras dinâmicas implementadas com o uso do GeoGebra apresenta-se como uma alternativa simples e eficaz, visto que para utilizá-lo, basta ter o conhecimento básico do uso de esquadros, compasso e outros instrumentos de desenho. E à medida que inicia-se seu uso, novas facilidades vão sendo utilizadas para a melhoria do ensino, como o processo de reconstrução passo-a-passo, a partir de um ponto qualquer, reduzindo-se assim a possibilidade de se perder a atenção daqueles alunos que entenderam o conteúdo desde a primeira apresentação. Outra vantagem que deve ser ressaltada é a possibilidade de salvar as modificações ou mesmo novas apresentações e disponibilizá-las aos alunos.

Procurou-se, então, deixar de lado o velho quadro das aulas teóricas e partir para o uso de ferramentas digitais, tais como o Cabri Géomètre (1991) e o GeoGebra (2001), para que os alunos tenham mais contato, interesse e domínio da matéria. A opção pelo GeoGebra se deu inicialmente por ser um software educacional livre, que pode ser inserido e manipulado em páginas da internet, de modo que todos os alunos possam utilizá-lo.

De certo modo, os recursos digitais especialmente concebidos para a matemática já vêm sendo utilizados por engenheiros no ensino de temas da engenharia geotécnica e outras. Como



exemplo pode-se destacar o uso do Cabri para o tratamento de problemas gráficos da Mecânica dos Solos. A estabilidade de taludes pelos métodos da ruptura plana e círculo de atrito, bem como a teoria de Coulomb para determinação de empuxos pelo Método de Culmann foram apresentados por Barbosa et al. (2006). Um trabalho relatando o estudo sobre fluxo de água em permeâmetros virtuais foi abordado em Nascimento et al. (2009; 2010). Esses recursos digitais citados estão disponíveis no endereço [http://www.dec.ufv.br/modules/mastop\\_publish/?tac=399](http://www.dec.ufv.br/modules/mastop_publish/?tac=399).

O GeoGebra é um aplicativo digital de código aberto, amigável voltado para a mediação do estudo da aritmética, da geometria e da álgebra. O amplo reconhecimento de suas características para facilitar a investigação e o aprendizado de diversos conceitos matemáticos acendeu o interesse e a curiosidade dos engenheiros para também usá-lo como recurso didático-pedagógico em diferentes níveis e modalidades de ensino da Engenharia, destacando-se aqui a Geotecnia.

Com o advento destes novos softwares gráficos específicos, os desenhos que até então eram tradicionalmente estáticos, ganharam a possibilidade de ter seus elementos modificados dinamicamente e com isso, ampliaram o campo de aplicação destes aplicativos para além da matemática. A possibilidade de uso desta nova característica computacional no ensino da engenharia geotécnica é o foco deste trabalho, no qual se buscou implementar, através da geometria dinâmica, a construção gráfica do círculo de Mohr. A idéia básica é permitir que os discentes possam compreender os mecanismos de construção passo-a-passo dos exercícios de estados de tensões e resistência ao cisalhamento possibilitados pelas figuras dinâmicas desenvolvidas com o uso do GeoGebra, assim como fazer estudos paramétricos em problemas geotécnicos, como por exemplo, o efeito da coesão, do ângulo de atrito e do peso específico do solo sobre a estabilidade de taludes, disponibilizados em [http://www.dec.ufv.br/modules/mastop\\_publish/?tac=Processos\\_graficos](http://www.dec.ufv.br/modules/mastop_publish/?tac=Processos_graficos), utilizando-se o software Cabri Géomètre.

## 2. RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DOS SOLOS

A resistência ao cisalhamento de solos é um aspecto fundamental em problema envolvendo análise de equilíbrio limite como a capacidade de carga de fundações, a estabilidade das encostas, de barragens e aterros, e empuxo de terra em estruturas de contenção.

O conceito de ruptura de um material é muito complexo, e por isso, vários modelos de plastificação “yielding” são apresentados na literatura, como os critérios de Tresca e de Von-Mises utilizados para a interpretação do comportamento plástico dos metais. Ambos representam o comportamento considerando uma análise tridimensional. Na maioria dos problemas geotécnicos, a análise é feita utilizando-se o estado plano de tensões, assim o modelo de Möhr-Coulomb é o mais utilizado para a interpretação do comportamento dos solos.

Em 1900, Möhr apresentou uma teoria para a ruptura dos materiais. Segundo Möhr a ruptura ocorre em um determinado plano devido a uma combinação crítica de tensões normais e de cisalhamento, e não somente por uma delas individualmente. A relação funcional entre as tensões normais,  $\sigma$ , e de cisalhamento,  $s$ , no plano de ruptura pode ser dada pela Equação (1):



$$s = f(\sigma) \quad (1)$$

Em 1776, Coulomb definiu uma relação linear para a resistência ao cisalhamento dos solos dada pela Equação (2), na qual  $c$  é a coesão do solo e  $\varphi$  é o ângulo de atrito do solo.

$$s = c + \sigma \operatorname{tg}(\varphi) \quad (2)$$

Quando se compara todos os estados de tensões possíveis utilizando o círculo de Mohr e tendo o modelo de ruptura de Coulomb, tem-se o critério de ruptura Möhr-Coulomb.

### 3. RECURSOS DIGITAIS IMPLEMENTADOS

É sabido que a aprendizagem requer esforço pessoal e que atividades específicas podem ser concebidas pelo professor tanto para melhorar o ato de aprender, quanto para sanar dificuldades. Neste contexto, apresenta-se a seguir, três recursos digitais interativos implementados a partir do uso do GeoGebra e disponíveis no site:

[http://www.dec.ufv.br/modules/mastop\\_publish/?tac=Resistencia\\_ao\\_cisalhamento](http://www.dec.ufv.br/modules/mastop_publish/?tac=Resistencia_ao_cisalhamento)

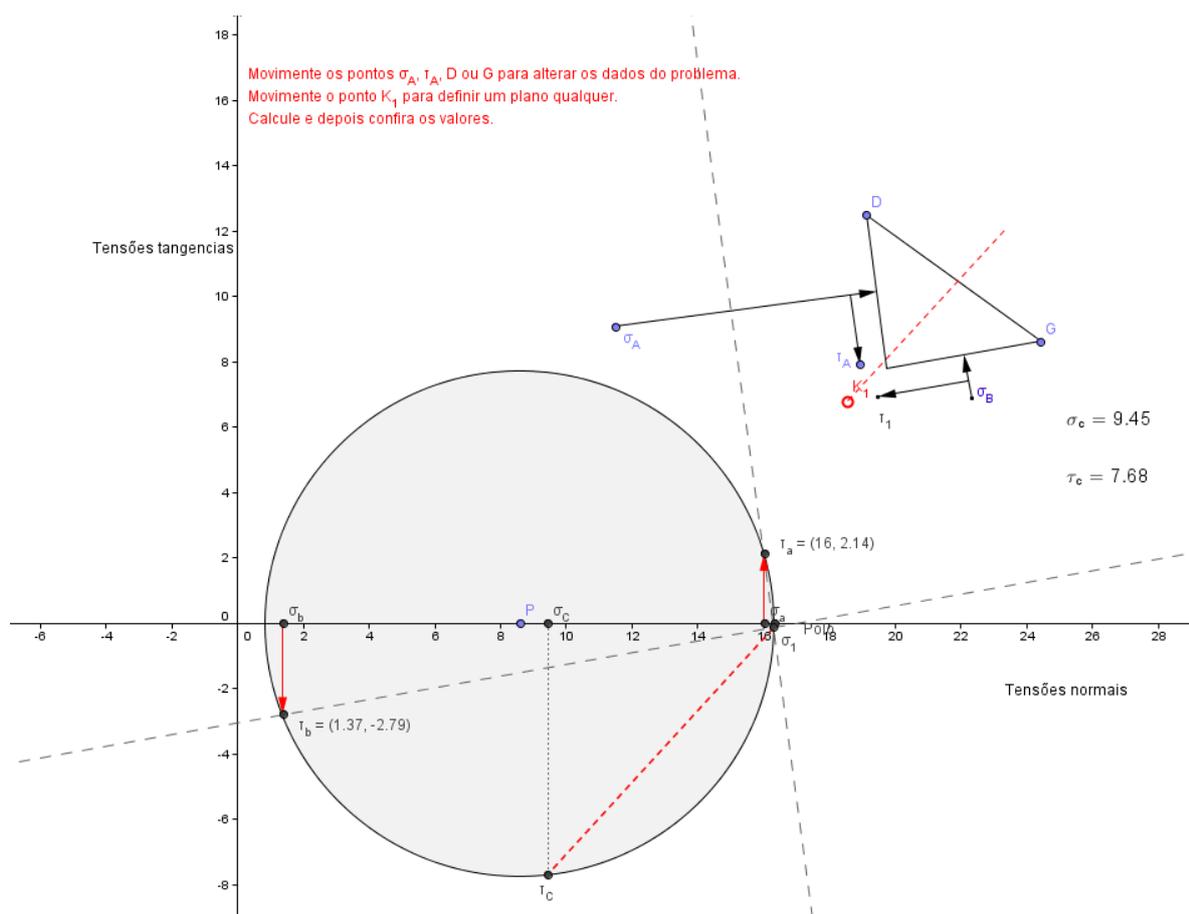


Figura 2 - Cálculo do estado de tensões em um elemento de solo utilizando o círculo de Möhr.



O primeiro recurso dinâmico trata do cálculo do estado de tensões em um elemento de solo utilizando o círculo de Mohr (Figura 2). Nesta figura dinâmica pode-se estudar o conceito de pólo assim como determinar as tensões normais e cisalhantes em um plano qualquer. Para isto, basta deslocar o ponto indicado na figura por  $K_1$ . Os dados do problema também podem ser alterados, e, para isto, basta deslocar os pontos D e G para modificar a direção dos planos iniciais, e os pontos  $\sigma_{1A}$  e  $\tau_{1A}$  para alterar as tensões normal e cisalhante, respectivamente, em um dos planos.

O segundo recurso dinâmico (Figura 3), apresentado, aborda o ensaio de compressão triaxial em solos. Nela, o aluno poderá perceber a diferença de comportamento entre os três tipos básicos de compressão triaxial, CD, CU e UU, calculando as tensões desvios para os três tipos de ensaio. Os valores dos parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo, coesão e ângulo de atrito, poderão ser alterados pelo aluno-usuário, assim como as tensões de confinamento de cada ensaio.

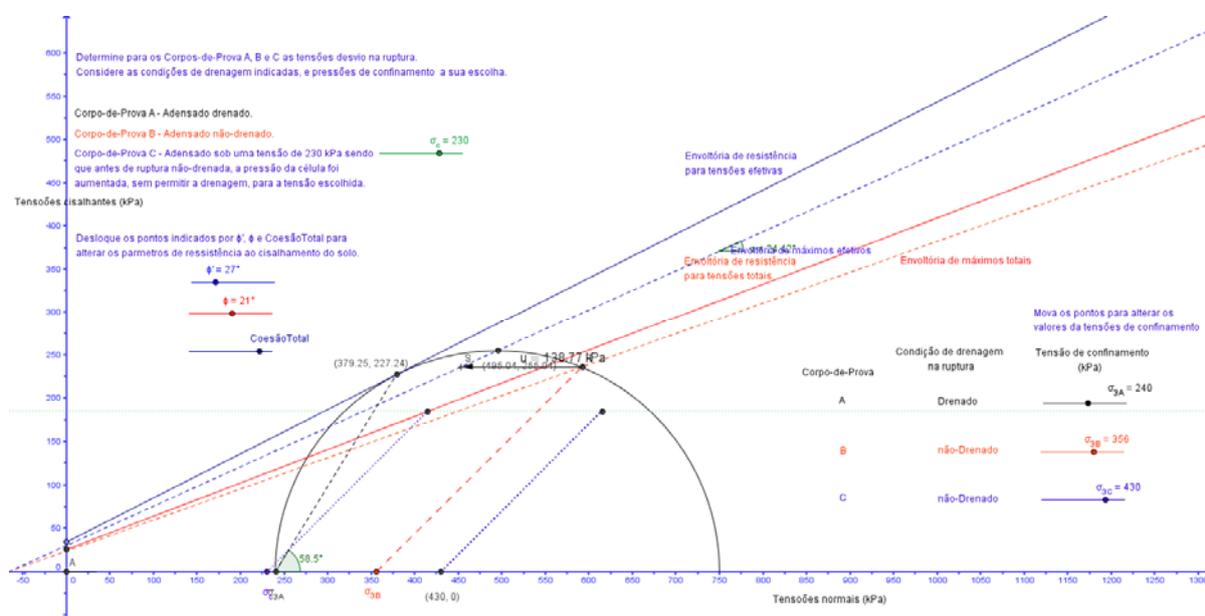


Figura 3 - Representação de ensaios de compressão triaxial em solo.

O terceiro recurso, apresentado na Figura 4, refere-se à aplicação do conceito de caminho de tensões no estudo da resistência ao cisalhamento dos solos. Uma das maneiras mais simples para representar o comportamento dos solos quando cisalhados é utilizando o conceito de trajetória, ou caminho, de tensões. Contudo, como vários alunos têm dificuldades em visualizar este conceito, a figura dinâmica apresentada na página da internet permite a ele visualizar a influencia dos estados de tensão aplicados ao elemento de solo, fazendo-se variar as tensões iniciais, a razão de carregamento e as tensões aplicadas durante a fase de ruptura.





mitigar, em alguns casos, a deficiência de se trabalhar os conceitos de escalas dos eixos coordenados. Espera-se que a disponibilização dos recursos digitais no site institucional da UFV possa contribuir positivamente para o crescimento individual do aluno-usuário, bem como para o enriquecimento de sua experiência profissional.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, P.S.A.; LELIS, T.A.; CUSTÓDIO, G.S.; PÓLA, M.C.R. Aplicações do cabri géomètre na engenharia civil: construindo taludes virtuais. **Anais**: III Congresso Iberoamericano de Cabri. IBEROCABRI. Bogotá, Colômbia, 2006. Disponível em: <[http://www.iberocabri.org/iberocabri2008/MEMORIAS\\_2006/Conferencias/TatianaLelis\\_C24.pdf](http://www.iberocabri.org/iberocabri2008/MEMORIAS_2006/Conferencias/TatianaLelis_C24.pdf)>. Acesso em: 21 mai. 2012.

Cabri-Géomètre, Software, Laboratoire des Structures Discrètes et de Didactique - IMAG, Université Joseph Fourier, Grenoble, França, 1991.

GeoGebra, Software, Universität Salzburg, Salzburg, Áustria, 2001.

LAMBE, T. W.; WHITEMAN, R.V. Soil mechanics, NY: John Willey & Sons, 1969.

NASCIMENTO, W.D.; BARBOSA, P.S.A.; PÓLA, M.C.R.; KOPKE, R.C.M.; LIMA, D.C. Um estudo sobre fluxo de água em permeâmetros virtuais. **Anais**: V Congresso Iberoamericano de Cabri. Querétaro, México, 2010.

NASCIMENTO, W.D.; BARBOSA, P.S.A.; PÓLA, M.C.R.; KOPKE, R.C.M.; LIMA, D.C. Um estudo sobre fluxo de água em permeâmetros virtuais. **Anais**: GRAPHICA2009. XIX Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico e VIII Internacional Conference on Graphics Engineering of Arts and Design. Bauru: UNESP, 2009.

## THE USE OF GEOGEBRA FOR TEACHING SOIL MECHANICS

**Abstract:** *This work shows how the software called GeoGebra can be inserted in the teaching-learning process of the undergraduate course in Soil Mechanics, of the Civil Engineering, of Federal University of Viçosa, as a didactical tool of learning. We emphasize the relevance of the study of the shear strength of soils and the use of software called GeoGebra to solve problems of geotechnical engineering for failure of soils. Examples are given of problems for graphical determination of shear strength parameters of soils and the normal and tangential stresses in the plane of rupture. The expectation is to trivialize the use of this application in engineering education, such that it becomes more of a digital resource available to students and teachers, with the aim to encourage students to study and expand their participation in the classroom.*

**Key-words:** *Soil mechanics, shear strength of soils, dynamic design, GeoGebra, Teaching-learning process.*

Realização:

 **ABENGE**

Organização:



**O ENGENHEIRO  
PROFESSOR É O  
DESAFIO DE EDUCAR**