

## RECURSO DIGITAL INTERATIVO PARA MEDIAÇÃO DO ENSINO E APRENDIZAGEM SOBRE TENSÃO EFETIVA NO SOLO

Ciro Maestre Dutra – [ciro.dutra@ufv.br](mailto:ciro.dutra@ufv.br)

Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil.

Av. P.H. Rolfs – Campus Universitário

36570-000 – Viçosa - MG

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

Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais - Campus Juiz de Fora

Rua Bernardo Mascarenhas, 1283 - Bairro Fábrica

36080-001 – Juiz de Fora - MG

Paulo Sérgio de Almeida 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

Dario Cardoso de Lima – [declima@ufv.br](mailto:declima@ufv.br)

Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil.

Av. P.H. Rolfs – Campus Universitário

36570-000 – Viçosa - MG

**Resumo:** Com o intuito de atender as reais necessidades do aluno no processo de aprendizagem sobre o tema Princípio das Tensões Efetivas, este trabalho buscou desenvolver e avaliar um software educacional interativo para melhorar o processo pelo qual o aluno percebe, processa e retém informação passada em sala de aula. O software foi implementado em quatro diferentes ambientes de programação, a saber, Cabri, Delphi, Excel e Flash. Com o intuito de comparar os recursos disponíveis e as possibilidades de cada um dos ambientes, o software foi avaliado na perspectiva do programador e daí foi possível estabelecer que a escolha do ambiente de programação vai depender apenas da experiência do programador. Na perspectiva do usuário, uma avaliação do software está sendo feita pelos alunos da disciplina de Mecânica dos Solos do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa. Espera-se que tal avaliação indique um adequado grau de satisfação, tanto para critérios de usabilidade do software quanto para critérios de confiabilidade educacional.

**Palavras-chave:** Software educacional interativo, Tensões efetivas, Mecânica dos Solos.

### 1 INTRODUÇÃO

Os solos quando solicitados se deformam e, em geral, tais deformações ocorrem através de uma mudança de forma (distorção), ou através de uma mudança de volume (compressão ou expansão), ou ambas (HOLTZ & KOVACS, 1981). Assim, o engenheiro geotécnico deve conhecer os princípios básicos da distribuição de tensões nos solos para poder avaliar os efeitos da deformação e, conseqüentemente, torna-se relevante a determinação do estado de tensões nos solos por ação exclusiva de seu peso próprio, ou seja, antes da aplicação de sobrecargas, uma vez que o nível de deformações depende do acréscimo de tensões e do estado de tensão inicial (BARATA, 1984).

Nos trabalhos de Jaska et al. (2000) e Budhu (2000), podem-se consultar relatos sobre diversos softwares aplicados ao ensino de geotecnia e em Nascimento et al. (2009; 2010a e 2010b), são descritos alguns softwares educacionais interativos desenvolvidos por pesquisadores do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa.

Neste trabalho será apresentado um recurso digital didático, isto é, um software educacional interativo, que permite a representação gráfica de até cinco camadas de solo e o cálculo da magnitude das tensões nos solos devido ao peso próprio. A idéia é representar o que foi estudado em sala de aula a fim de torná-lo intuitivo. Para que isso fosse possível, procurou-se tornar o recurso digital de fácil entendimento e uso.

## 2 TENSÕES NO SOLO DEVIDO AO PESO PRÓPRIO

A tensão intergranular ou tensão efetiva  $\sigma'$  é uma variável de estado definida pela diferença entre a tensão total  $\sigma$  e a pressão da água nos poros ou poropressão  $u$ . Na década de 20 do século passado, Terzaghi propôs o princípio das tensões efetivas como se ilustra na equação (1).

$$\sigma' = \sigma - u \quad (1)$$

A tensão total e a poropressão podem ser estimadas ou calculadas prontamente com o conhecimento das massas específicas e espessuras das camadas de solo e com o conhecimento da localização do nível do lençol freático. A tensão efetiva, como não existe fisicamente, não pode ser medida, mas apenas calculada.

A tensão total ou vertical total é gerada pela massa do corpo no qual atua a gravidade. Para se calcular a tensão vertical total em um ponto na massa de solo simplesmente somam-se continuamente as massas específicas de todos os materiais acima daquele ponto multiplicado pela aceleração da gravidade (ou constante gravitacional)  $g$ , como segue:

$$\sigma_v = \int_0^h \rho g dz \quad (2)$$

Se  $\rho g$  é uma constante para toda a profundidade  $h$ , então se obtém:

$$\sigma_v = \rho g h \quad (3)$$

Tipicamente, divide-se a massa do solo em  $n$  camadas e calcula-se a tensão total incrementalmente para cada camada, ou seja:

$$\sigma_v = \sum_1^n \rho_i g z_i \quad (4)$$

Como exemplo, se um solo tem índice de vazios igual a zero, então a tensão total exercida sobre um plano particular deve ser a profundidade ao ponto em análise dado vezes a massa específica do solo que, neste caso específico, se iguala à massa específica das partículas sólidas  $\rho_s$  vezes a constante gravitacional  $g$ . Se o solo apresentar vazios e se apresentar seco, então se deve usar a massa específica aparente seca  $\rho_d$  ao invés de  $\rho_s$ .

Para condições de água estática, a poropressão é calculada de forma similar ao que se faz em hidráulica, isto é, multiplicando-se a profundidade abaixo do nível da água para o ponto em questão,  $z_w$ , pelo produto entre a massa específica da água  $\rho_w$  e a constante  $g$ , ou seja:

$$u = \rho_w g z_w \quad (5)$$

A poropressão foi também denominada pressão neutra por não apresentar nenhuma componente de cisalhamento. Lembrando que, pela definição da mecânica dos fluidos, um líquido não pode suportar tensão de cisalhamento estática; assim, ele sofre somente tensão normal que atua igualmente em todas as direções. Por outro lado, a fase sólida do solo suporta tanto tensões total e efetiva, como tensões cisalhantes. Pela Equação (1), a tensão efetiva  $\sigma'$  é simplesmente a diferença entre a tensão total e a poropressão.

O conceito de tensão e aplica a meios contínuos, o que não é o caso de solos, sejam eles finos (ou coesivos) ou grossos (ou granulares). Contudo, evidências experimentais, bem como análise cuidadosa realizada por Skempton (1960) demonstraram que, para solos arenosos e argilosos saturados, o princípio da tensão efetiva é uma excelente aproximação da realidade. No entanto, não é tão boa para solos parcialmente saturados ou rochas e concreto saturados. Seja como for, fisicamente, a tensão efetiva é definida como a diferença entre uma tensão total de engenharia e uma tensão mensurável neutra (poropressão). O conceito de tensão efetiva é extremamente útil para o estudo do comportamento do solo à compreensão, para a interpretação dos resultados das análises laboratoriais, bem como para os cálculos de engenharia. O conceito funciona, e é por isso que ele continua sendo utilizado.

Agora, algumas situações demonstram a relevância da variação das tensões totais, poropressões e efetivas em massas de solo em função da posição do lençol freático. Imagine uma situação na qual o lençol freático está em uma elevação "A" abaixo do nível da superfície do terreno e quando o lençol freático sobe para elevação "B". Imagine também um determinado ponto "C" do solo situado abaixo da elevação "A", conforme a Figura 2.

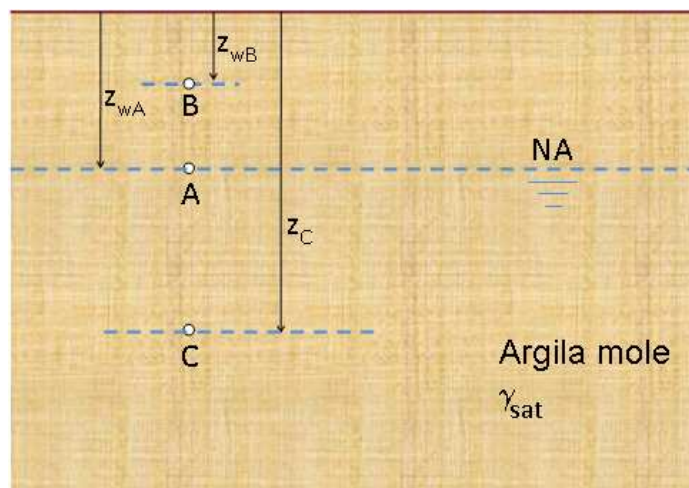


Figura 2 – Camada de solo e presença de lençol d'água.

Com o aumento da elevação do lençol freático ao ponto "B", pode-se considerar que a tensão total seja constante (peso específico do solo pouco varia), a poropressão aumenta e a tensão efetiva diminui. Quando o lençol freático é rebaixado, ocorre o inverso e o solo é submetido a um aumento na tensão efetiva. Este aumento da tensão efetiva pode levar a significativas subsidências da área, tal como ocorreu, por exemplo, na Cidade do México e

em Las Vegas, nos Estados Unidos. Nestes locais, a água subterrânea vem sendo bombeada para o abastecimento de água municipal e o lençol freático rebaixado. Com isso, os recalques resultantes têm causado danos substanciais para as ruas, prédios e serviços públicos de metrô, etc.

Para o estudante de geotecnia é importante calcular e observar atentamente a forma como os perfis de tensão se alteram com a mudança da elevação do nível da água. As tensões efetivas diminuem com o aumento do nível d'água e não se alteram quando este varia acima da superfície do terreno.

Mudanças semelhantes, mas opostas em tensões efetivas ocorrem quando o nível do lençol freático é rebaixado, o que pode ser causado por bombeamento a partir de uma camada mais profunda permeável. Se isso acontecer, pode-se suspeitar, por analogia, que as tensões efetivas na camada de argila aumentam, causando compressão da argila e o conseqüente recalque na superfície. Em uma argila esse processo não ocorre da noite para o dia; podendo levar várias décadas para a compressão ocorrer. Esses processos são discutidos em detalhe quando se estuda o fenômeno de adensamento do solo.

### 3 APRESENTAÇÃO DO SOFTWARE “TENSÕES NO SOLO”

O software “Tensões no solo” permite a representação gráfica de até cinco camadas de solo e a validação da magnitude das tensões no solo devido ao peso próprio. Para utilizá-lo, basta informar dois conjuntos de dados, conforme se ilustra na Figura 3. No primeiro conjunto, Figura 3a, definido por “Entrada de dados do perfil do solo”, o usuário digita a profundidade do lençol freático e os dados de cada camada desejada (espessura e peso específico).

As camadas são acrescentadas ou retiradas livremente, bastando ao usuário acionar adequadamente os botões “Acrescentar camada” ou “Retirar camada” e “Atualizar”. Este botão apresenta o visual final da composição estratigráfica do solo, conforme ilustrado à direita na Figura 4.

No segundo conjunto de entrada de dados, ilustrado na Figura 3b, o usuário informa uma profundidade e os respectivos valores da tensão total, poropressão e tensão efetiva por ele estimados. Após informar tais dados, o usuário aciona o botão “VERIFICAR” e o software automaticamente compara os valores corretos com os valores digitados, bem como fornece uma retro alimentação de acerto ou erro, permitindo novas tentativas de acerto, se for o caso.

**ENTRADA DE DADOS DO PERFIL DO SOLO:**  
*Digite os dados e use 2 casas decimais no máximo)*

- LENÇOL FREÁTICO:  
Nível da água (m) =  ( $\gamma_w = 9,81 \text{ kN/m}^3$ )

- CAMADAS DE SOLO:

Camada	Espessura (m)	Peso Específico (kN/m <sup>3</sup> )
1	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2	<input type="text"/>	<input type="text"/>
3	<input type="text"/>	<input type="text"/>
4	<input type="text"/>	<input type="text"/>
5	<input type="text"/>	<input type="text"/>

**DIGITE A PROFUNDIDADE DESEJADA E CALCULE AS TENSÕES:**  
*Digite os dados e use 2 casas decimais no máximo)*

Profundidade (m) =

Tensão Total (kN/m<sup>2</sup>) =

Poropressão (kN/m<sup>2</sup>) =

Tensão Efetiva (kN/m<sup>2</sup>) =

(a)
(b)

Figura 3 – (a) Exemplo de entrada de dados para a composição do perfil do solo e (b) exemplo de entrada de dados para uma determinada profundidade e suas respectivas tensões.

Na Figura 4 apresenta-se um exemplo completo dessa entrada de dados. O nível d'água está a dois metros de profundidade e têm-se três diferentes camadas de solo. As camadas possuem, respectivamente, profundidades de 1,35, 2,00 e 3,60 metros, bem como pesos específicos de 16, 19 e 21 kN/m<sup>3</sup>. Para a profundidade de 2,00 m, a tensão total será a soma da contribuição adequada das duas primeiras camadas, ou seja,  $(1,35 \times 16) + (0,65 \times 19) = 33,95$  kPa, a poropressão será nula, e a tensão efetiva será por definição a diferença entre a tensão total e a poropressão.

Para acelerar o cálculo das tensões, o usuário pode acionar o botão “Use a calculadora”, o qual permite acesso à calculadora do computador. Para facilitar o processo de aprendizagem, um recurso visual capaz de traçar o gráfico das tensões em função da profundidade foi disponibilizado pelo software através do botão “Veja o gráfico”. Este recurso também pode ser utilizado pelo usuário como apoio aos seus cálculos.

#### **4 DISCUSSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A principal característica oferecida pelo software é a possibilidade do usuário observar como as inclinações dos perfis de tensões mudam conforme se altera o peso específico do solo. Estes perfis, como se mostra na Figura 4, são úteis na engenharia de fundações e o usuário deve tornar-se proficiente em seus cálculos e traçados. Na prática de engenharia, as informações básicas do solo são obtidas por meio de sondagens que determinam as espessuras das camadas de solo e a profundidade do lençol freático, permitindo a estimativa de teores de umidade e pesos específicos. Perfis de tensão, também, são úteis para ilustrar e compreender o que acontece com a tensão no solo quando as condições do lençol freático mudam, por exemplo, quando o nível d'água é rebaixado ou elevado como resultado de alguma operação de construção, bombeamento ou alagamento.

Ao se conceber este software, tinha-se a intenção de que interatividade usuário-computador para validação das tensões se tornasse mais um instrumento de melhoria de qualidade do material didático de cursos de Mecânica dos Solos. Para confirmar esta expectativa foi enviado um questionário para avaliação do grau de satisfação quanto à utilização do software na perspectiva do usuário. Nele, o usuário assinala a melhor resposta tanto para critérios de usabilidade do software quanto para critérios de confiabilidade educacional. Aguarda-se o envio de respostas dos estudantes da disciplina CIV 332 - Mecânica dos Solos I da UFV, para uma avaliação final, contudo, na avaliação dessa disciplina no último período letivo (2011-I) a média da questão correspondente a esse assunto foi 91%.



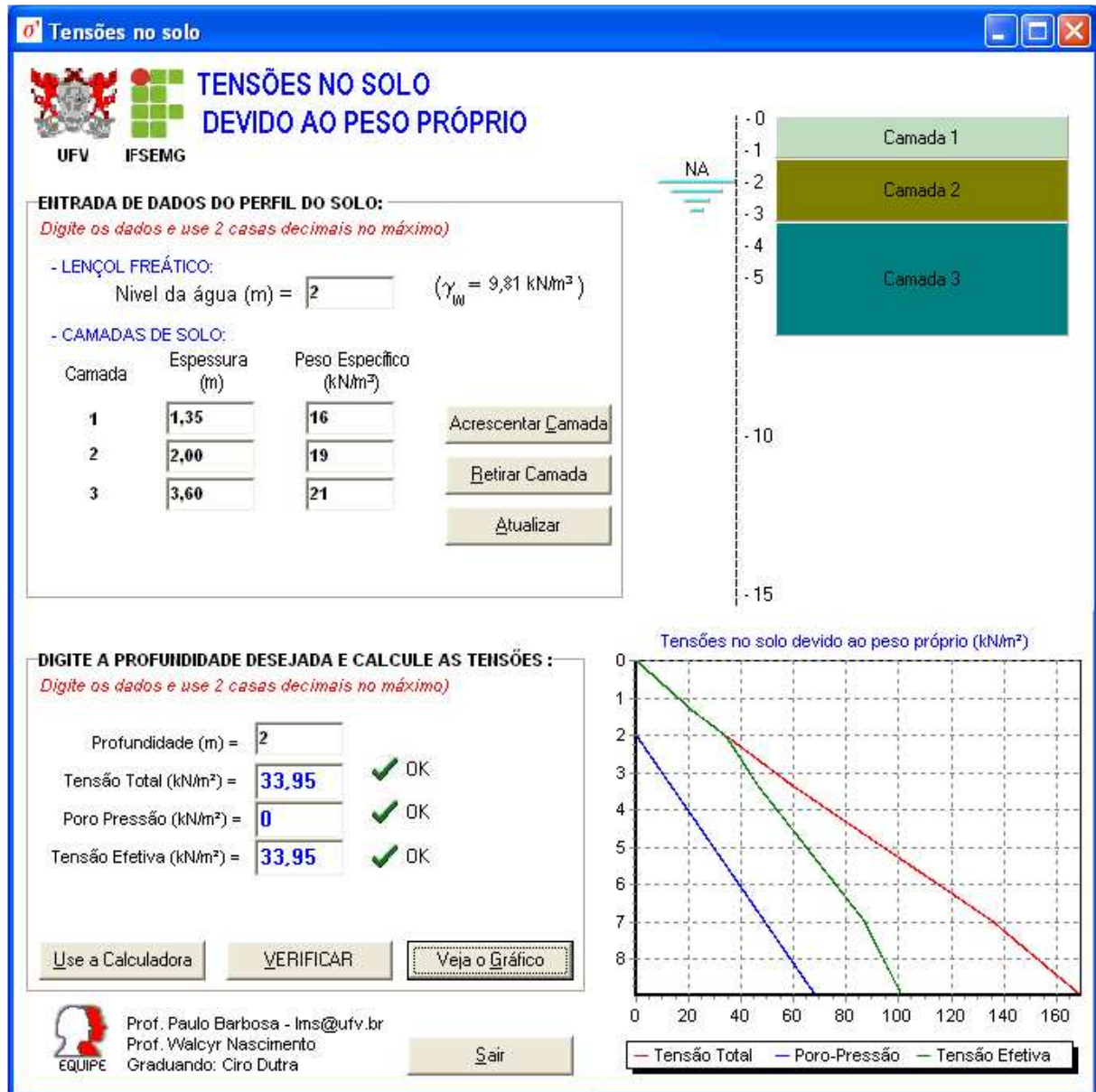


Figura 4 – Exemplo de entrada e saída de dados do software “Tensões no solo”.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARATA, E.F. **Propriedades mecânicas dos solos: uma introdução ao projeto de fundações**. RJ: LTC, 1984.
- BUDHU, M. **Soil mechanics and foundations**. NY: John Wiley & Sons, 2000.
- HOLTZ, R.D.; KOVACS, W.D. **An introduction to geotechnical engineering**. NJ: Prentice Hall, 1981.
- JASKA, M. B. et al. Computer aided learning in geoenvironmental education: current resources and future trends. **Anais: Proc. GeoEng 2000**, Melbourne, 2000.
- 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. In: IberoCabri 2010- V Congresso Iberoamericano de Cabri, 2010, Querétaro. **Anais: V Congresso Iberoamericano de Cabri**, 2010a.

NASCIMENTO, W.D.; LIMA, D.C.; NETO, M.T.C.B.; PAES, B.S.T.; BARBOSA, P.S.A. Desenvolvimento de um software educacional para determinar os limites de consistência de um solo. In: COBENGE2009, Recife. **Anais:** XXXVII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2009.

NASCIMENTO, W.D.; SILVA, C.H.C., LIMA, D.C., BARBOSA, P.S.A.; PÓLA, M.C.R.; KOPKE, R.C.M. Relato de uma experiência interinstitucional com um software educacional. In: COBENGE2010, Fortaleza. **Anais:** XXXVIII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2010b.

SKEMPTON, A.W. Effective stress in soils, concrete and rocks. Pore pressure and suction in soils. **Butterworths**, London, p. 5, 1960.

## **DIGITAL RESOURCE FOR MEDIATION OF EDUCATION AND LEARNING ON EFFECTIVE STRESS**

**Abstract:** *In order to meet the real needs of students in the learning process on the topic of the effective stress principle, this study aimed to develop and evaluate an interactive educational software to improve the process by which the student perceives, processes and retains information passed in the classroom. The software was implemented in four different programming environments, namely Cabri, Delphi, Excel and Flash. In order to compare the resources available and the possibilities for each of the environments, the software was assessed from the perspective of the programmer. And so it was possible to establish that the choice of programming environment will depend only on the experience of the programmer. In a user perspective, an evaluation of the software is being made by students of the discipline of Soil Mechanics, Civil Engineering course at the Federal University of Viçosa. It is hoped that such evaluation indicates an adequate degree of satisfaction for both software usability criteria and educational reliability criteria.*

**Key-words:** *Interactive educational software, effective stress, Soil Mechanics.*