

## "Análise Bidimensional do Acoplamento Fluxo – Deformação em Meios Geotécnicos Saturados"

### **Prof. Msc. Joaquim Mário Caleiro Acerbi**

Universidade Federal de Uberlândia  
Faculdade de Eng. Civil-FECIV  
Av. João Naves de Ávila, 2160  
Campus Santa Mônica - Bloco 1Y - 38400-089  
Uberlândia/MG - Brasil  
e-mail: [acerbi@ufu.br](mailto:acerbi@ufu.br)

### **Prof. Phd. Ricardo Fortes de Miranda**

Universidade Federal de Uberlândia  
Faculdade de Eng. Mecânica-FEMEC  
Av. João Naves de Ávila, 2160  
Campus Santa Mônica - Bloco 1M - 38400-089  
Uberlândia/MG - Brasil  
e-mail: [rmiranda@ufu.br](mailto:rmiranda@ufu.br)

### **RESUMO**

*É feito um estudo bidimensional do acoplamento fluxo – deformação em meios geotécnicos saturados com fluido compressível. Supondo inicialmente um maciço semi-infinito, poroso, homogêneo e isotrópico, e com o uso do conceito de tensões efetivas de Terzaghi, com aplicação dos parâmetros de geração de pressão neutra de Skempton, temos como condição inicial pressão neutra em todo meio poroso, expresso matematicamente. O campo de tensões causado por um carregamento na superfície do maciço induz fluxo no meio poroso acoplado à deformação devido à expulsão do fluido dos poros, à deformação das próprias partículas do fluido e das partículas sólidas constituintes do maciço e, principalmente, devido à diminuição dos vazios, como consequência de um rearranjo interno do solo ou rocha em análise. O procedimento matemático aplicado permite também o estudo de alguns sistemas anisotrópicos através da determinação de um sistema isotrópico equivalente. Através das equações desenvolvidas é possível calcular o campo de deslocamentos, em qualquer ponto do maciço e na superfície, o campo de tensões e o campo de velocidade do fluido no meio poroso, no domínio espacial e temporal. Como exemplo numérico é apresentado a comparação com o caso clássico do adensamento unidimensional para solos.*

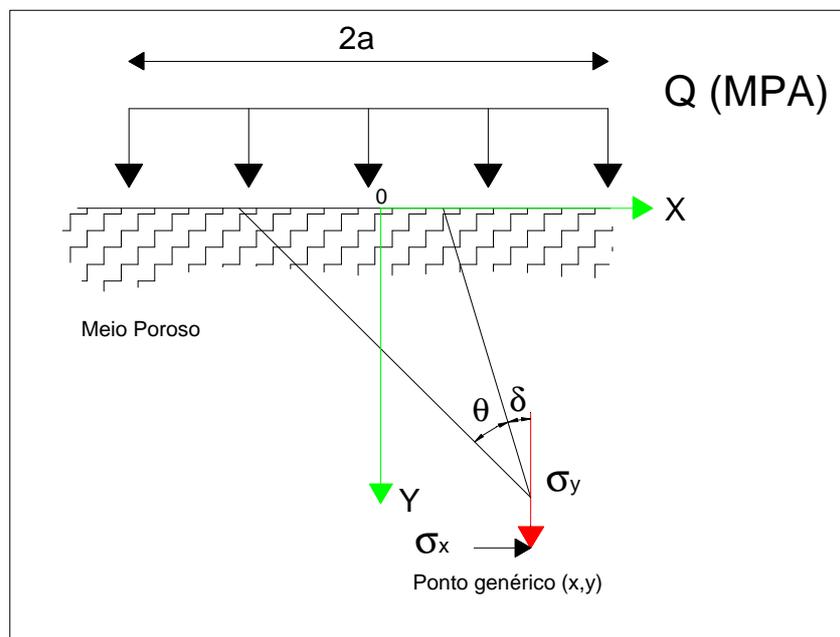
*Palavras chave: acoplamento, deformações, fluxo, compressibilidade, solos, rochas.*

**1) Introdução**

Nas previsões do desenvolvimento de recalques de estruturas de uma maneira geral e dos aterros de rodovias e barragens em particular, a teoria fundamental para as análises iniciais é aquela apresentada por Terzaghi (1943). Apesar dos resultados práticos serem muito bons, a grande maioria dos problemas práticos de engenharia de solos e rochas de hoje exige uma abordagem mais realista, o que se tornou possível graças ao avanço na área da ciência da computação eletrônica, com equipamentos e softwares acessíveis a um grande número de engenheiros e pesquisadores. O que apresentamos neste estudo é o desenvolvimento de equações para abordagem de um problema clássico da engenharia geotécnica, que é a do carregamento bidimensional na superfície do maciço, em que uma das dimensões é muito grande em relação a outras duas, induzindo um estado plano de deformação no interior do maciço. Esta formulação tem como objetivo apresentar um conjunto de equações que permita avaliar, usando a teoria da elasticidade, a lei de Darcy, a equação da continuidade, de uma maneira que permita estudar o acoplamento tensão-deformação-fluxo no interior do maciço, tanto para solos, quanto para rochas, a duas dimensões, mas levando-se em consideração as compressibilidades do fluido, das partículas sólidas e da estrutura porosa. Assim, as considerações de um maciço geotécnico horizontal, semi-infinito, homogêneo e de comportamento linear elástico são analisadas para o caso deste maciço estar completamente saturado por um fluido compressível. A determinação da deformação da estrutura porosa está associada à expulsão do fluido dos poros e/ou fraturas, e também à própria deformação das partículas sólidas e do próprio fluido. O fluxo no meio poroso é suposto laminar e, por conseguinte, dentro do regime de validade da lei de Darcy para fluxo em meios porosos. Através do conceito de geração de poro – pressão de Skempton (1953), estimamos a pressão neutra gerada em todo domínio do maciço devido ao carregamento, como condição inicial.

**2- Desenvolvimento matemático**

Seja em um meio semi-infinito, poroso, homogêneo, isotrópico e totalmente saturado com um fluido compressível, submetido a um carregamento uniformemente distribuído de largura 2a, comprimento infinito e de módulo Q (kPa), conforme figura (1), abaixo.



**Figura 1 – Carregamento Distribuído**

Escrevendo a equação da continuidade na forma diferencial:

$$\frac{\partial [r v_x]}{\partial x} + \frac{\partial [r v_y]}{\partial y} = - \left[ \frac{\partial r}{\partial t} n + \frac{\partial n}{\partial t} r \right] \tag{1}$$

Partindo da lei de Darcy, apresentado por Terzaghi(1943), e da equação(1), temos:

$$\frac{k}{m} \left\{ \mathbf{b} \left[ \left\{ \frac{\partial p}{\partial x} \right\}^2 + \left\{ \frac{\partial p}{\partial y} \right\}^2 \right] + \left[ \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} \right] \right\} = \left[ n \mathbf{b} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial n}{\partial t} \right] \quad (2)$$

Sendo:

- n a porosidade;
- $\beta$  a compressibilidade do fluido que preenche os poros e/ou fissuras;
- $\mu$  a viscosidade absoluta deste fluido;
- k a permeabilidade absoluta do meio;
- $\rho$  a massa específica do fluido;
- p a pressão do fluido nos poros ou vazios do meio;
- t o tempo;
- $V_x$  a velocidade do fluido na direção x;
- $V_y$  a velocidade do fluido na direção y;
- x e y são as variáveis independentes.(direção x e y do referencial bidimensional).

Partindo da definição de compressibilidade das partículas sólidas, substituindo na equação(2), chegamos à

$$\frac{k}{m} \left\{ \mathbf{b} \left[ \left\{ \frac{\partial p}{\partial x} \right\}^2 + \left\{ \frac{\partial p}{\partial y} \right\}^2 \right] + \left[ \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} \right] \right\} = \left[ n \mathbf{b} + (1-n)\mathbf{a}_S \right] \frac{\partial p}{\partial t} + \left[ \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t} + \frac{\partial^2 v}{\partial y \partial t} \right] \quad (3)$$

Onde:

- u e v são os deslocamentos da estrutura porosa na direção x e y, respectivamente;
- $\alpha_s$  é a compressibilidade das partículas sólidas.

Para o acoplamento fluxo – deformação no meio poroso, as componentes das tensões no meio poroso devem satisfazer as equações diferenciais de equilíbrio estático do maciço poroso, pois o fluxo nos vazios e fissuras causa um “arraste” nas partículas sólidas (“força de percolação”), alterando a deformação. Note-se que o fluido deve obedecer as equações diferenciais de equilíbrio da dinâmica, mas como queremos determinar as deformações na matriz e o deslocamento resultante na superfície do maciço, vamos analisar as equações de equilíbrio estático do maciço poroso e/ou fraturado somente, embora as equações desenvolvidas permitam calcular a velocidade laminar de Darcy para qualquer ponto e para qualquer tempo. A equação final obtida é:

$$\frac{k}{m} \left\{ \mathbf{b} \left[ \left\{ \frac{\partial p}{\partial x} \right\}^2 + \left\{ \frac{\partial p}{\partial y} \right\}^2 \right] + \left[ \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} \right] \right\} = \left[ n \mathbf{b} + (1-n)\mathbf{a}_S \right] \frac{\partial p}{\partial t} + \left[ \frac{2\mathbf{a}_B}{(I+2G)} \frac{\partial p}{\partial t} \right] \quad (4)$$

Desprezando os termos de 2ª ordem e rearranjando:

$$\frac{k}{m} \left\{ \frac{I+2G}{(I+2G)[n\mathbf{b} + (1-n)\mathbf{a}_S + 2\mathbf{a}_B]} \right\} \left[ \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} \right] = \frac{\partial p}{\partial t} \quad (5)$$

Fazendo:

$$K^* = \left\{ \frac{I+2G}{(I+2G)[n\mathbf{b} + (1-n)\mathbf{a}_S + 2\mathbf{a}_B]} \right\} \quad (6)$$

Onde:

- $\lambda$  e G são as constantes de Lamé da teoria da elasticidade; assim

$$K^* \left[ \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} \right] = \frac{\partial p}{\partial t} \quad (7)$$

Em um sistema geotécnico, isotrópico, homogêneo, poroso e saturado as tensões efetivas nas partículas sólidas podem ser calculados baseando-se no princípio de Terzaghi (1943), que pode ser expresso pela seguinte equação:

$$s' = s - \alpha_B P \quad (8)$$

Onde:

$\sigma'$  são as tensões efetivas;

$\sigma$  são as tensões totais;

P é a poro – pressão ou pressão neutra;

$\alpha_B$  é o coeficiente de Biot, introduzido na década de 40 por Biot (1941).

Rice, J.R & Cleary, M.P. (1976), apresentaram algumas soluções básicas para difusão de tensão para meios porosos saturados com constituintes compressíveis. O caso de modelo isotrópico e linear foi estudado exaustivamente, mostrando o “efeito de meio poroso”(conceito de tensão efetiva) e deixando uma completa formulação analítica, é uma indicação de uso de métodos numéricos (elementos finitos) para geometrias mais complexas e heterogeneidades.

Segundo Harr(1966), podemos expressar as tensões principais no interior do maciço diretamente em coordenadas polares, estas foram transformadas em coordenadas cartesianas:

$$s_1 = \frac{Q}{p} \left\{ \left[ \arctg \frac{x+a}{y} - \arctg \frac{x-a}{y} \right] + \text{sen} \left[ \arctg \frac{x+a}{y} - \arctg \frac{x-a}{y} \right] \right\} \quad (9)$$

$$s_3 = \frac{Q}{p} \left\{ \left[ \arctg \frac{x+a}{y} - \arctg \frac{x-a}{y} \right] - \text{sen} \left[ \arctg \frac{x+a}{y} - \arctg \frac{x-a}{y} \right] \right\} \quad (10)$$

Adotando a teoria de Skempton(1954), onde a pressão gerada por aplicação de um carregamento de forma instantânea, na superfície de um meio poroso isotrópico, elástico e homogêneo, é dada por:

$$P = B.s_3 + D[s_1 - s_3] \quad (11)$$

$$B = \frac{1}{1+n \frac{b}{a}} \quad (12)$$

$$D = \frac{1}{1+n \frac{b}{a} + 2 \frac{a_s}{a}} \quad (13)$$

Onde:

$\alpha_s$  é a compressibilidade das partículas sólidas;

$\alpha$  é a compressibilidade da estrutura porosa (sólidos + vazios + fluido);

$\beta$  é a compressibilidade do fluido que preenche os vazios do meio.

B e D são parâmetros de pressão neutra (gerada no meio poroso devido ao carregamento);

Substituindo B, D e as equações (9) e (10) na equação (11), temos:

$$P(x, y, t = 0) = P(x, y) = \frac{Q}{p} \left\{ \left[ [2D - B] \text{sen} \left[ \arctg \frac{x+a}{y} - \arctg \frac{x-a}{y} \right] \right] + B \left[ \arctg \frac{x+a}{y} - \arctg \frac{x-a}{y} \right] \right\} \quad (14)$$

A equação (14) acima, representa a distribuição de pressão neutra ou poro pressão hidrostática para todo o maciço no tempo  $t=0$ .

$$P(x, y, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} B_{mn} e^{-K^* \left( \frac{m^2}{L_1^2} + \frac{n^2}{L_2^2} \right) p^2 t} \operatorname{sen} \frac{m p x}{L_1} \operatorname{sen} \frac{n p y}{L_2} \quad (15)$$

onde : [ m, n =1, 2, 3,.....]

A solução da equação (7) pode ser colocada na forma de série de Fourier, conforme Spiegel, (1976). Ainda da teoria de séries de Fourier, podemos escrever:

$$B_{mn} = \frac{4}{L_1 L_2} \int_0^{L_1} \int_0^{L_2} P(x, y) \operatorname{sen} \frac{m p x}{L_1} \operatorname{sen} \frac{n p y}{L_2} dx dy \quad (16)$$

Assim as equações (14), (15) e (16) são a solução formal da distribuição de pressão neutra do fluido nos poros e fissuras, ao longo do tempo, em todo maciço poroso, no plano xy, para qualquer t.

Partindo das equações diferenciais de equilíbrio da mecânica para meios porosos saturados apresentadas por Jaeger & Cook, 1979, e também das equações de Timoshenko, (1951), a determinação do campo de deslocamentos e tensões pode ser feita com as equações abaixo:

$$(I + 2G) \left[ \frac{d u(x, y, t)}{d x} \right] + a_B p(x, y, t) = C_1 \quad (17)$$

$$(I + 2G) \left[ \frac{d v(x, y, t)}{d y} \right] + a_B p(x, y, t) = C_2 \quad (18)$$

### 3. Implementação do modelo unidimensional de adensamento

A equações (4), (7), (11), (13), (14) e (15) quando se aplicam para o adensamento se reduzem e podemos escrever:

$$\frac{k}{m} \left\{ b \left[ \frac{\partial p}{\partial y} \right]^2 + \left[ \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} \right] \right\} = [n b + (1-n)a_S] \frac{\partial p}{\partial t} + \left[ \frac{\partial^2 v}{\partial y \partial t} \right] \quad (19)$$

$$P = C s_3 \quad (20)$$

$$P(y, t) = \sum_{n=0}^{\infty} B_n e^{-K^* \frac{n^2 p^2}{L_1^2} t} \operatorname{sen} \frac{n p y}{L_1} \quad (21)$$

onde : [ n =1, 2, 3,.....]

C é um parâmetro de pressão neutra unidimensional.

$$B_n = \frac{2}{L_1} \int_0^{L_1} P_0 \operatorname{sen} \frac{n p y}{L_1} dy \quad (22)$$

4. Estudo comparativo com dados experimentais

Foi executado um ensaio tradicional de adensamento em um material argiloso, moldado e compactado em laboratório, formando um material muito rígido, de acordo com método MB3336, ABNT, 1990. Um disco de solo foi retirado da amostra compactada e colocada para ensaio. O corpo de prova foi saturado e foi confinado lateralmente. Uma carga F é aplicada instantaneamente no topo do solo (y=0), forçando a coluna de solo se adensar enquanto permite que a água seja drenada para o topo e para base. A carga F é dobrada a cada 24 horas, medindo-se a deformação no topo, para vários tempos, de acordo com a norma brasileira, até 24 horas após a aplicação. Considerando as propriedades do material expressas na tabela (1), as condições iniciais e de fronteira do ensaio podem ser expressas por:

$$\frac{\partial v}{\partial y} = e_0 = \frac{F}{I + 2G}; \quad p(0, t) = 0; \quad v(h, t) = v(0,032, t) = 0; \quad p(0,032, t) = 0 \quad P(y,0) = P_0 \quad (23)$$

Tabela 1 – Propriedades mecânicas elásticas e hidráulicas médias do solo

Variável/símbolo	Valor	Unidades
Índice de vazios inicial : e <sub>0</sub>	0,7	-----
Porosidade : n	40	%
Coefficiente de Biot: α <sub>B</sub>	0.9	-----
Parâmetro de poropressão: C	1.0	-----
CL = λ + 2G(média)	5,3x10 <sup>11</sup>	Kpa
Compressibilidade do fluido(água) : β	0.2x10 <sup>-6</sup>	(1/kPa)
Compressibilidade das partículas sólidas : α <sub>s</sub>	5x10 <sup>-8</sup>	(1/kPa)
Permeabilidade absoluta : k	5x10 <sup>-15</sup>	m <sup>2</sup>
Viscosidade absoluta: μ	1,01x10 <sup>-3</sup>	N.s/m <sup>2</sup>
Condutividade hidráulica: K	9x10 <sup>-9</sup>	m/s
Área do corpo de prova: A	0,005	m. <sup>2</sup>
Altura do corpo prova: h	0,032	m.
Coefficiente de adensamento do solo: c <sub>v</sub>	2,65	m. <sup>2</sup> /ano
Saturação real do solo inicial: S	98,7	%

Usando o tempo adimensional e expressando C<sub>v</sub> no formato proposto por Bai, M. & Abousleiman, Y., 1997:

$$T = \frac{c_v t}{h^2} \quad (24)$$

onde

$$c_v = \frac{k(I + 2G)}{m} \quad (25)$$

Tabela 2 – resultados do ensaio de adensamento-coeficiente de adensamento e parâmetro de Lamé CL

Pressão(kpa)	Índice de vazios inicial(e)	cv(m2/ano)	CL (kPa)
10	0,695	1,783296	3,56659E+11
20	0,693493356	1,772928	3,54586E+11
40	0,689295359	1,150848	2,3017E+11
80	0,590456436	1,358208	2,71642E+11
160	0,481521064	0,8335872	1,66717E+11
320	0,356378233	0,9103104	1,82062E+11
640	0,230969707	0,533952	1,0679E+11
1250	0,141164449	0,8989056	1,79781E+11
640	0,11167219	0,8833536	1,76671E+11
320	0,06012716	8,885376	1,77708E+12
160	0,063846904	0,8906112	1,78122E+11
80	0,071658368	7,278336	1,45567E+12
10	0,076068922	7,267968	1,45359E+12

O ensaio de adensamento fornece as medidas dos deslocamento na superfície do solo. O cálculo do deslocamento na superfície do solo foi efetuado usando as fórmulas (18), (20), (21) e (22), para tempos que iam de 15 segundos até 1440 minutos (24 horas), para os carregamento de 10, 20, 40, 80, 160, 320, 640 e 1250. Os cálculos das deformações foram executados para todos os níveis de tensão e os erros calculados em relação as deformações medidos. Para efeito de comparação e ilustração, os resultados para os níveis de tensão de 10, 320 e 1250kPa, estão mostrados nas tabelas 3, 4 e 5, seguintes, e as representações gráficas aparecem nas figuras 4, 5 e 6, respectivamente.

Tabela 3 – Para tensão normal de 10 kPa – comparação de deslocamentos medidos na superfície do corpo de prova e os calculados pelas fórmulas propostas

Tempo (min)	Varição de altura Medidos no ensaio( $\times 10^{-3}$ m) - recalques medidos-	Varição de altura – Deformações calculados ( $\times 10^{-3}$ m) - recalques calculados-	Erro relativo %
0,25	0,06	0,0512	-14,67
0,5	0,06	0,0571	-4,83
1	0,06	0,0581	-3,16
2	0,06	0,0594	-1,00
4	0,06	0,0609	1,50
8	0,06	0,0611	1,67
15	0,061	0,0641	5,08
30	0,065	0,0670	3,08
60	0,067	0,0681	4,77
120	0,07	0,0711	1,57
240	0,07	0,0745	5,00
720	0,07	0,0754	6,00
1440	0,07	0,0776	7,77

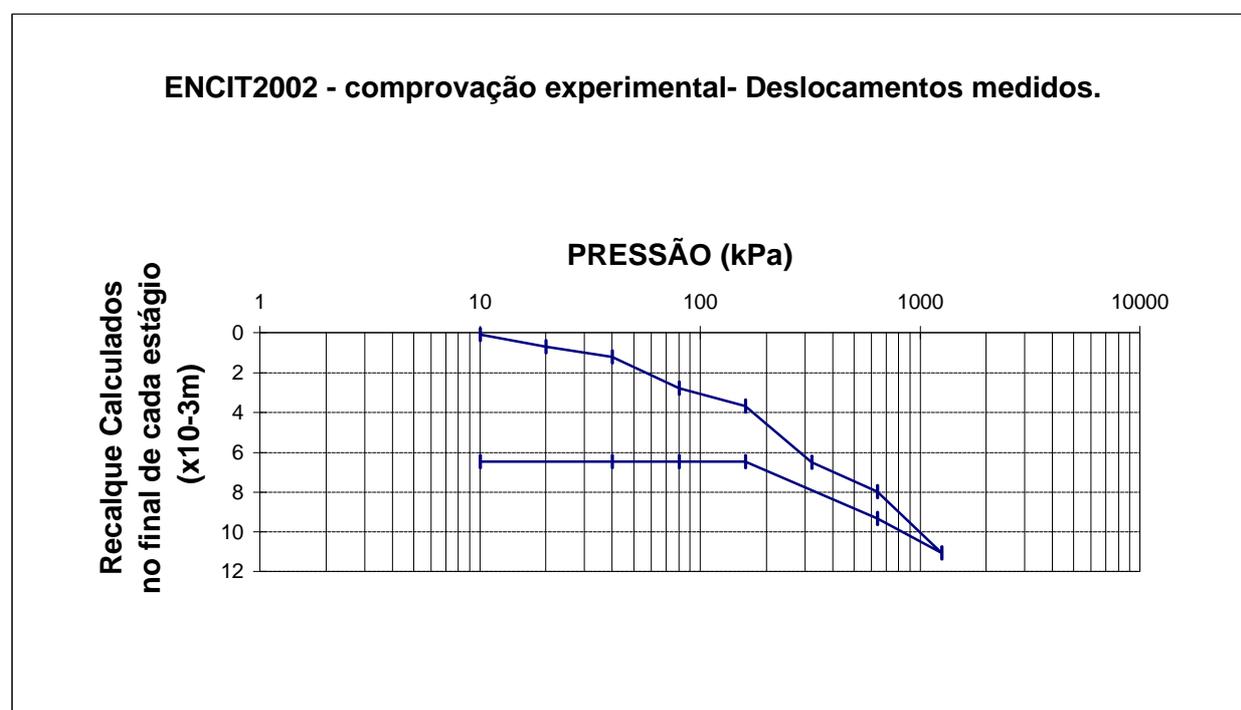
Tabela 4 – Para tensão normal de 320 kPa – comparação de deslocamentos medidos e calculados pelas fórmulas propostas

Tempo (min)	Varição de altura Medidos no ensaio( $\times 10^{-3}$ m) - recalques medidos-	Varição de altura – Deformações calculadas ( $\times 10^{-3}$ m) - recalques calculados-	Erro relativo %
0,25	6,1	5,46	-10,49
0,5	6,16	5,75	-5,74
1	6,21	6,01	-3,22
2	6,25	6,13	-1,92
4	6,29	6,27	-0,03
8	6,34	6,31	-0,47
15	6,4	6,42	0,31
30	6,43	6,53	5,53
60	6,44	6,69	3,88
120	6,45	6,72	5,72
240	6,46	6,85	6,04
720	6,475	6,94	7,18
1440	6,48	7,06	8,95

Tabela 5 – Para tensão de 1250 kPa – comparação de deslocamentos medidos e calculados pelas fórmulas propostas

Tempo (min)	Varição de altura -Medidos no ensaio ( $\times 10^{-3}$ m) rec. medidos	Varição de altura –Deformações calculados ( $\times 10^{-3}$ m) -recalques calculados-	Erro relativo %
0,25	10,73	9,78	-8,85
0,5	10,78	9,93	-7,88
1	10,84	10,26	-5,35
2	10,88	10,38	-4,59
4	10,92	10,42	-4,58
8	10,96	10,56	-3,65
15	10,98	10,68	-2,73
30	11	10,71	-2,64
60	11,02	10,82	-1,82
120	11,04	10,98	-0,54
240	11,04	11,15	0,99
720	11,06	11,26	1,81
1440	11,08	11,38	2,71

Os gráficos seguintes mostram a correlação entre o gráfico dos deslocamentos medidos(tensões variam de 10 à 1250kPa e de 1250 à 10 Kpa) e o calculado( tensões variam de 10 à 1250 ) :



**Figura 2 – Gráfico Deslocamentos Medidos( $\times 10^{-3}$ m) X Tensões aplicadas em cada estágio**

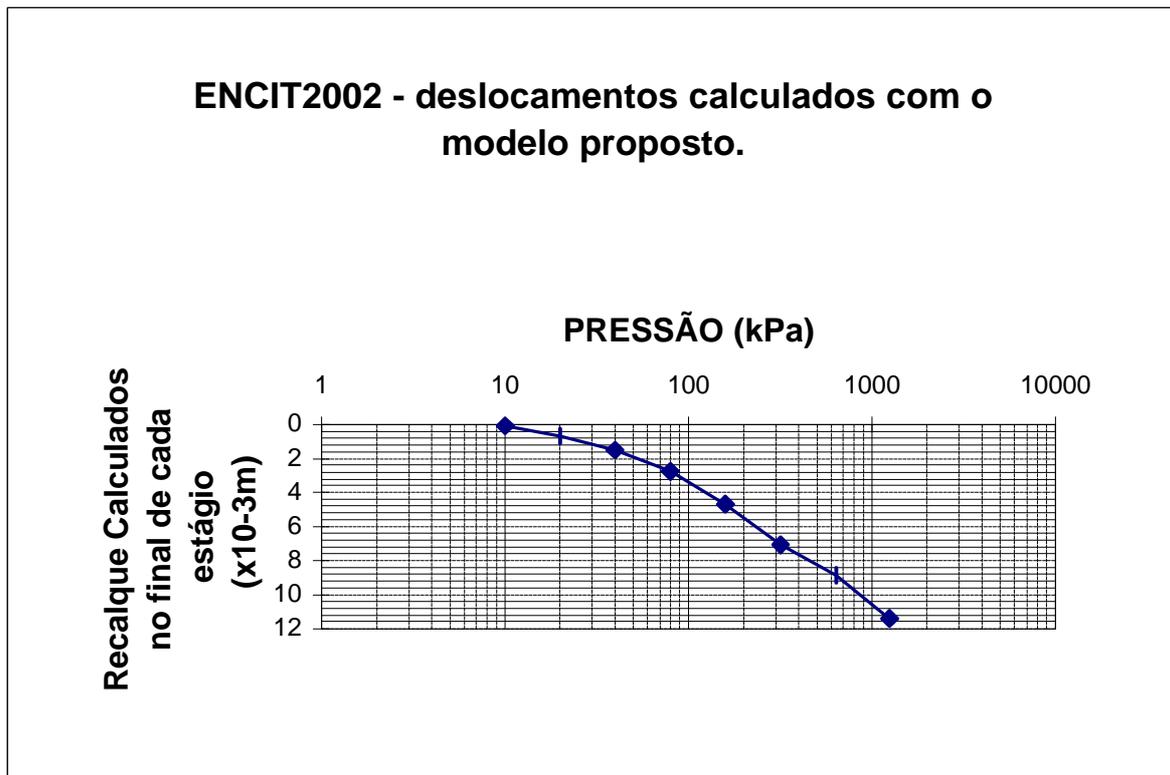


Figura 3 – Gráfico Deslocamentos Calculados(x10<sup>-3</sup>m) X Tensões aplicadas em cada estágio

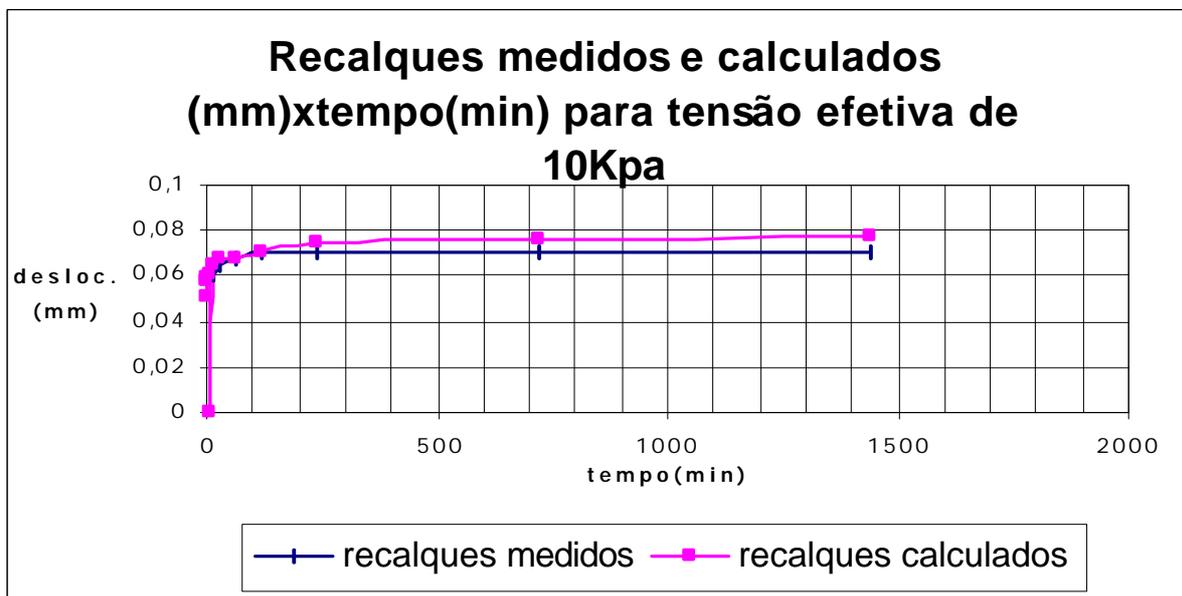


Figura 4 – Gráfico Deslocamentos medidos e calculados x tempo(min) para tensão normal de 10kpa.

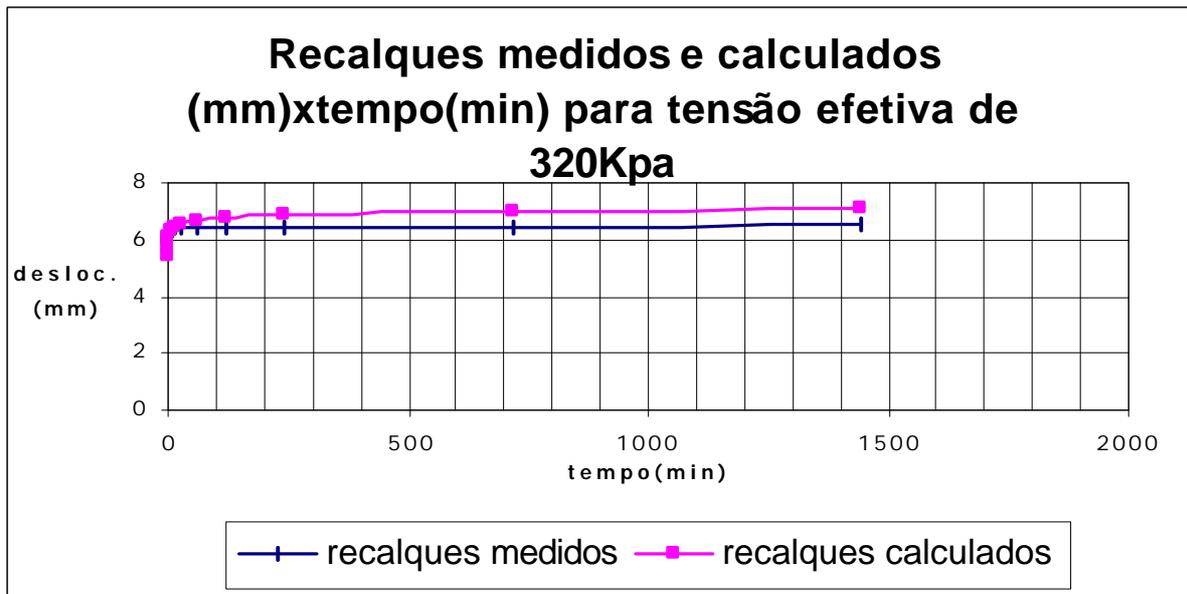


Figura 5 – Gráfico Deslocamentos medidos e calculados x tempo(min) para tensão normal de 320kpa.

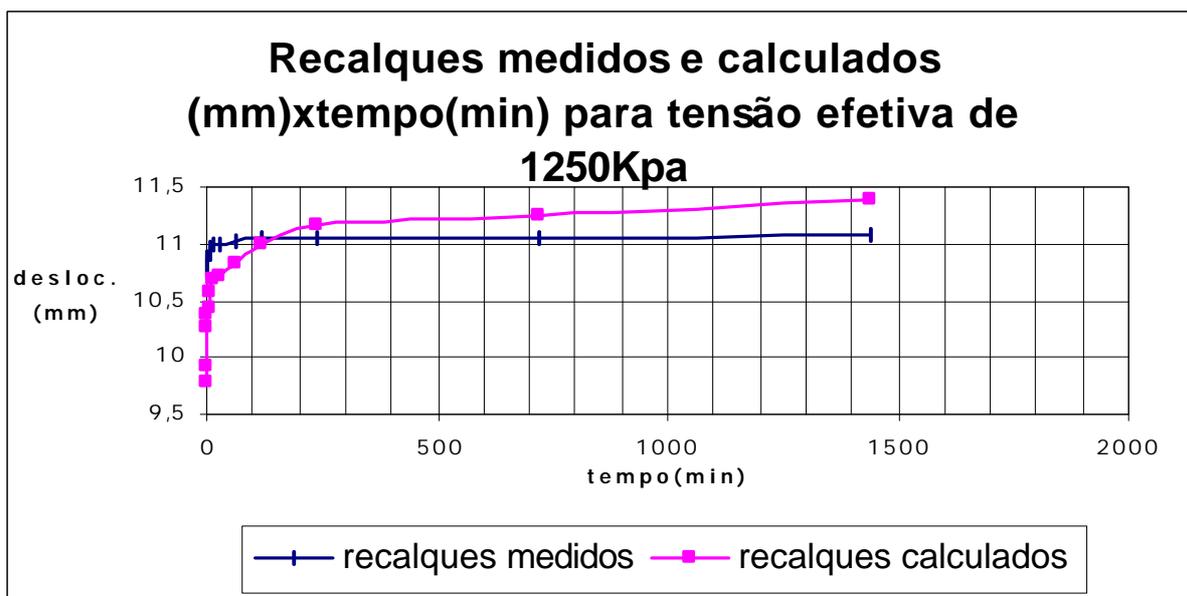


Figura 6 – Gráfico Deslocamentos medidos e calculados x tempo(min) para tensão normal de 1250kpa.

## 5. Análise dos resultados e conclusões.

As equações desenvolvidas se aplicam bem para estimativas de deslocamentos superficiais dos solos, e também das tensões no interior do maciço, podendo ser expandida para 3 dimensões e maciços geotécnicos de maneira geral, inclusive para casos anisotrópicos. Os erros de estimativas para os deslocamentos superficiais se apresentam maiores para o início do carregamento, tornando-se menores ao final da estabilização das deformações. Esse comportamento pode ser explicado pela possível presença de ar na amostra ensaiada. Esse efeito é mais pronunciado para tensões de até 80 kPa, pois para níveis maiores de tensão as partículas de ar se dissolvem na água, diminuindo o efeito do ar. As equações apresentadas permitem uma avaliação inicial dos deslocamentos e tensões, para execução de ante-projetos de obras geotécnicas, e para escolha da técnica executiva mais adequada. A principal aplicação das equações será a redução do número de ensaios de laboratório e “in situ”.

## 6. Referências

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1990, MB3336-Método de Ensaio de adensamento.
- Bai, M. & Abousleiman, Y., 1997, "Thermoelastic Coupling With Application to Consolidation." *Internacional Journal for Numerical Methods in GeoMechanics*, vol 21, 121-132.
- Biot, M. A. , 1941, "General Theory of Three-Dimensional Consolidation." *J. Applied Physics*. 12, 151, 164.
- Jaeger, J. C. & Cook, G. W., 1979, "Fundamentals of Rock Mechanics" 3rd edition - Chapman and Hall - London.
- Rice, J.R. & Cleary, M.P. (1976), "Some Basic Stress Diffusion Solutions for Fluid-Saturated Elastic Porous Media. With Compressible constituents", *Reviews of Geophysics and Space Physics*, vol 14, nº2, 227-241.
- Skempton, W., 1954, "The Pore Pressure Coefficient A and B", *Geotechnique*, Vol. 4, 143- 147.
- Spiegel, M. R., 1976, "Análise de Fourier", McGraw – Hill do Brasil Ltda
- Terzaghi, K., 1943, "Theoretical Soil Mechanics", Wiley, New York.
- Timonshenko, S. P. & Goodier, J. N. , 1951, *Theory of Elasticity*, 2<sup>nd</sup> edn, New York, McGraw Hill.

## TWO-DIMENSIONAL ANALYSIS OF JOINING FLOW-DEFORMATION IN GEOTHECNICAL SATURATED POROUS MEDIA

by

Prof. Joaquim Mario Caleiro Acerbi-FECIV/UFU

&

Prof. Ricardo Fortes de Miranda-FEMEC/UFU

Federal University of Uberlândia

Av. João Naves de Ávila, 2160

Campus Santa Mônica - Bloco 1Y - 38400-089

Uberlândia/MG - Brasil

e-mail: [acerbi@ufu.br](mailto:acerbi@ufu.br)

## ABSTRACT

It is made a two-dimensional study of the joining flow-deformation in porous media saturated with a compressible fluid. Supposing initially a solid semi-infinite, porous, homogeneous and isotropic, and with the use of the concept of effective stress of Terzaghi, and application of the parameters of generation of neutral pressure of Skempton, we have mathematically as initial condition, neutral pressure in every porous of the system. The field of stress caused by a load in the surface of the solid induces flow in the porous way coupled to the deformation of the own fluid and of the solid particles and, mainly, due to decrease of the emptiness, as consequence of an internal rearrange of, for example, the soil or rock in analysis. The applied mathematical procedure also allows the study of some anisotropic system through the determination of equivalent isotropic system. Also through the develop equations it is possible to calculate the field of displacement, in any point of the solid and in the surface, the field of stress and the field of velocity of the fluid in porous way, in the space and time domain. As numeric example is presented the comparison with the classic case of the consolidation unidimensional test for soils.

KEY WORDS: JOINING, FLOW, DEFORMATIONS, POROUS MEDIA, SOILS.