
COMPRESSIBILIDADE E ADENSAMENTO

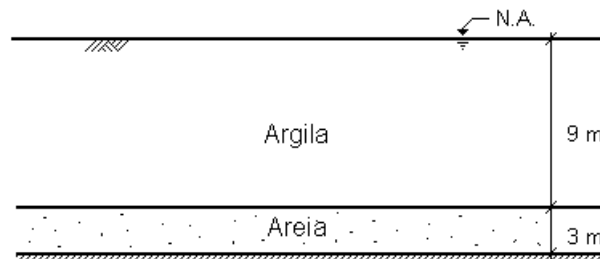
EXERCÍCIOS PROPOSTOS

QUESTÕES TEÓRICAS

1. O que significa comportamento não drenado?
2. Porque, no caso de solos argilosos, deve-se estudar a resposta não drenada do solo?
3. Se o excesso de poro-pressão gerado por um carregamento é negativo, qual a condição mais desfavorável do ponto de vista de estabilidade (ruptura)?
4. Porque as areias em geral se comportam de forma drenada? Em que situação se comportam de forma não drenada?
5. Exemplifique situações práticas em que a variação no estado de tensões totais é igual à variação de poro-pressão.(no instante inicial de carregamento)
6. Responda sucintamente: i) Porque em estudos de estabilidade de solos argilosos o momento mais crítico da obra pode não coincidir com o instante final de construção? ii) Porque as areias em geral se comportam de forma drenada?
7. Serão construídos 2 aterros com diferentes alturas (1 m e 3 m) em uma área de fundação argilosa, utilizando um material de empréstimo arenoso. Comente a relação entre magnitudes e tempos de recalque esperados, em função da construção dos aterros.
8. Qual o objetivo do ensaio oedométrico? Como se executa este ensaio? Quais parâmetros são obtidos?
9. Comente as diferenças entre recalque imediato, de adensamento e secundário. Exemplifique uma situação prática em que o recalque imediato é nulo?
10. Um ensaio de adensamento foi executado em uma amostra de solo argiloso. Existe dúvida quanto ao valor da tensão efetiva vertical de pré-adensamento. Comente os possíveis erros de projeto, caso σ_{vm} tenha sido definido por um valor maior que o real.

QUESTÕES PRÁTICAS

- Uma área pantanosa a ser aterrada consiste de uma camada de argila mole com 8 m de espessura, acima de uma camada de areia. O nível piezométrico tanto na areia quanto na argila coincide com a superfície do terreno. A argila será adensada pela aplicação em toda a área de uma sobrecarga arenosa com 4m de altura e peso específico de $1,68 \text{ t/m}^3$. Ensaios executados na argila indicam $c_v = 4 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{seg}$, $k_0 = 0,6$ e $\gamma = 1,7 \text{ t/m}^3$. Desenhe a distribuição de tensão vertical efetiva e da poro-pressão ao longo do estrato argiloso e calcule as tensões normais horizontais total e efetiva no centro da camada de argila para as três situações:
 - Imediatamente após o lançamento da sobrecarga (considerar instantânea) (Resp.: para $z=6\text{m}$, $\sigma'_v = 42\text{kPa}$; para $z=4\text{m}$, $\sigma'_h = 16,8\text{kPa}$ e $\sigma_h = 121\text{kPa}$);
 - 3 meses após o lançamento (Resp.: para $z=6\text{m}$, $\sigma'_v = 72\text{kPa}$; para $z=4\text{m}$, $\sigma'_h = 26,5\text{kPa}$ e $\sigma_h = 117,5\text{kPa}$);
 - 2 anos após o lançamento. (Resp.: para $z=6\text{m}$, $\sigma'_v = 109,2\text{kPa}$; para $z=4\text{m}$, $\sigma'_h = 57,1\text{kPa}$ e $\sigma_h = 97,1\text{kPa}$);
 - Desenhe as trajetórias de tensão total e efetiva seguida por um ponto situado no centro da camada de argila.
- Sobre o perfil da figura abaixo será lançado um aterro com 2m de altura e $\gamma = 1,7 \text{ t/m}^3$. Estima-se que o tempo de adensamento será de 2 anos. Considerando que ensaios de laboratório forneceram $c_v = 4 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{seg}$, verifique se a estimativa de projeto está correta. (Resp: $t=16,3$ anos para $T=1$).



- Uma camada de argila com espessura de 6m e dupla face drenante é submetida a uma carga uniformemente distribuída de $6,1 \text{ t/m}^2$. Um ano após o carregamento, 50% do adensamento

- médio da camada já ocorreu. Qual o valor do coeficiente de adensamento? (Resp.: $c_v=5,6 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$) Calcule o tempo associado a 50% do adensamento para o caso de ser aplicado um carregamento igual ao dobro do anterior. (Resp.: $t=1$ ano)
4. Duas camadas argilosas idênticas foram adensadas para a mesma sobrecarga. A primeira camada apresentou uma porcentagem média de adensamento de 50% após decorridos 20 minutos, enquanto que a segunda apresentou uma porcentagem média de 90% após decorridos 40 minutos. Estas observações estão corretas? (Resp.: Errado)
5. Um ensaio de adensamento foi realizado em amostra de argila.. O tempo necessário para atingir uma porcentagem média de adensamento de 50% foi de 20 minutos. A amostra tem 2,5cm de espessura e seu teor de umidade inicial é 40%. Pede-se o coeficiente de adensamento e o tempo para uma camada de 3m de espessura e drenagem simples atingir 90% de recalque? (Resp.: $c_v=2,5 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$; $t=9,58$ anos)
6. Será lançado um aterro com 2 m de altura e $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ sobre o perfil composto de uma camada de argila de 5 m de espessura, sobrejacente a uma superfície impermeável. O coeficiente de adensamento da argila é $2 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{seg}$ e o N.A. se encontra no topo da camada de argila. O cronograma da obra indica que 6 meses após o lançamento deste aterro será lançado um novo aterro com 1,5 m de espessura e mesmo peso específico. Calcule:
- Distribuição de poro-pressão imediatamente antes do lançamento do 2º aterro. (Resp.: para $z=5\text{m}$, $u = 84,2\text{kPa}$)
 - Distribuição de poro-pressão 15 meses após o início da obra. (Resp.: para $z=5\text{m}$, $u = 93,3\text{kPa}$)
7. Durante um ensaio oedométrico, em uma amostra de argila saturada ($G = 2,73$) submetida a um carregamento crescente de 214 a 429 N/m^2 , obtiveram-se as leituras apresentadas abaixo: Depois de 1440 min a espessura da amostra era de 13,60 mm , com umidade de 35,9%. Determine o coeficiente de consolidação pelos dois métodos, log t e raiz de t, e calcule o valor de m_v . Determine também o coeficiente de permeabilidade ($k = c_v m_v \gamma_w$)

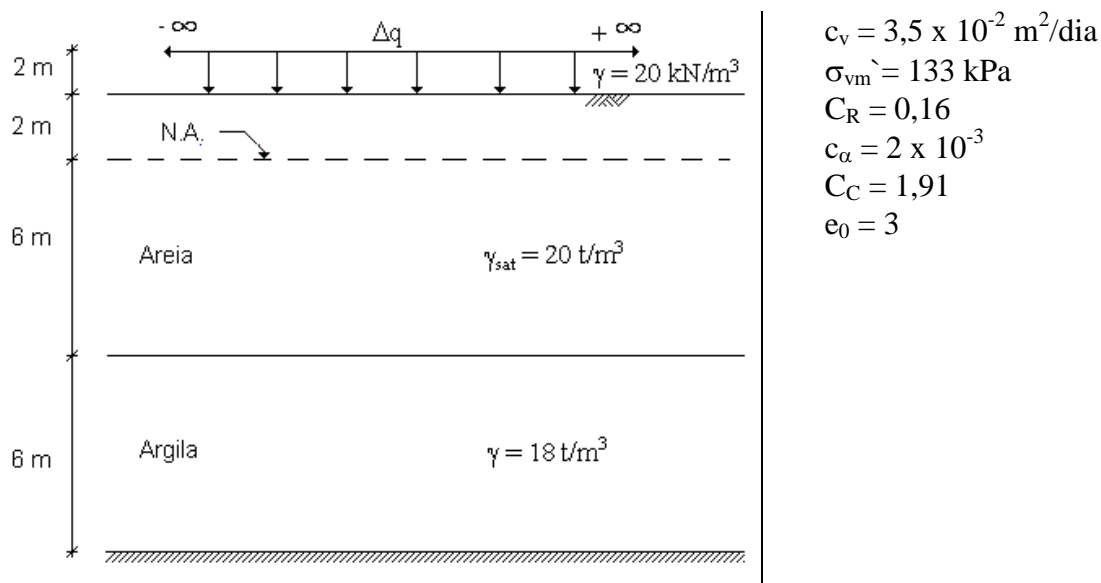
tempo (min)	0	<u>0,25</u>	<u>0,5</u>	1	2,25	4	9	16	25
leitura (mm)	5,00	4,67	4,62	4,53	4,41	4,28	4,01	3,75	3,49

tempo (min)	36	49	64	81	100	200	400	1440
leitura (mm)	3,28	3,15	3,06	3,00	2,96	2,84	2,76	2,61

8. Em um ensaio de adensamento um incremento de 100kPa foi aplicado em amostra de 2cm de espessura. Após 24 hs a espessura foi reduzida para 1,967cm. A pressão vertical foi então aumentada para 200kPa e após 24hs a espessura da amostra era de 1,946cm. A amostra teve em seguida, a pressão vertical aliviada, chegando a uma espessura final de 1,958cm e teor de umidade de 29%. Considerando a densidade dos grãos (G) igual a 2,66, determine a compressibilidade da amostra para as condições de carregamento e descarregamento.
9. Pretende-se pré-adensar uma camada de solo argiloso, originalmente normalmente adensado, lançando-se um aterro de 1 m de espessura e $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$, e removendo-o após o final do adensamento primário. Considerando que a camada de argila tem $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ e 10 m de espessura, calcule os valores de OCR nas profundidades 2 m, 4 m, 6 m, e 10m, comentando se são iguais ou não. (Resp: $z=2\text{m}$, $\text{OCR}=2,25$; $z=4\text{m}$, $\text{OCR}=1,63$; $z=6\text{m}$, $\text{OCR}=1,42$, $z=10\text{m}$, $\text{OCR}=1,25$)
10. Um ensaio de adensamento com drenagem dupla foi executado em uma amostra de argila com 2,0 cm de espessura inicial. Os dados para o segundo estágio de carregamento (de 196,2 kN/m^2 para 392,4 kN/m^2) estão relacionados abaixo: Com base na Teoria de Terzaghi estime o excesso de poro-pressão e o acréscimo de tensão efetiva no centro da amostra para leitura do extensômetro de 0,696cm Determine a espessura da amostra (em cm) para a leitura de 0,696 cm.

Carregamento (kPa)	Leit. Extens. (cm)	e
0	-	-
196,20	0,665	0,815
392,4	0,769	0,710

11. Um edifício A recalcou 10,2 cm em 3 anos. Sabe-se que o recalque total será de 30cm. Um edifício B construído sobre uma camada da mesma argila, mas 20% mais espessa, provoca o mesmo aumento médio de pressão. Estime o recalque total do prédio B e o recalque em 3 anos.
12. Considere que sobre o perfil de solo da figura abaixo será construído um aterro de grandes dimensões, com 2 m de altura e peso específico igual a 17 kN/m^3 . Estima-se que o tempo de dissipação será de 2 anos. Trace a curva tempo x recalque e verifique se a estimativa do tempo de dissipação está correta. Determine a curva tempo recalque considerando, agora, um tempo de construção do aterro de 2 meses Considerando 50 anos como vida útil para a obra, calcule o recalque total. Ensaaios de laboratório executados em amostras indeformadas da camada de argila, forneceram os seguintes resultados:

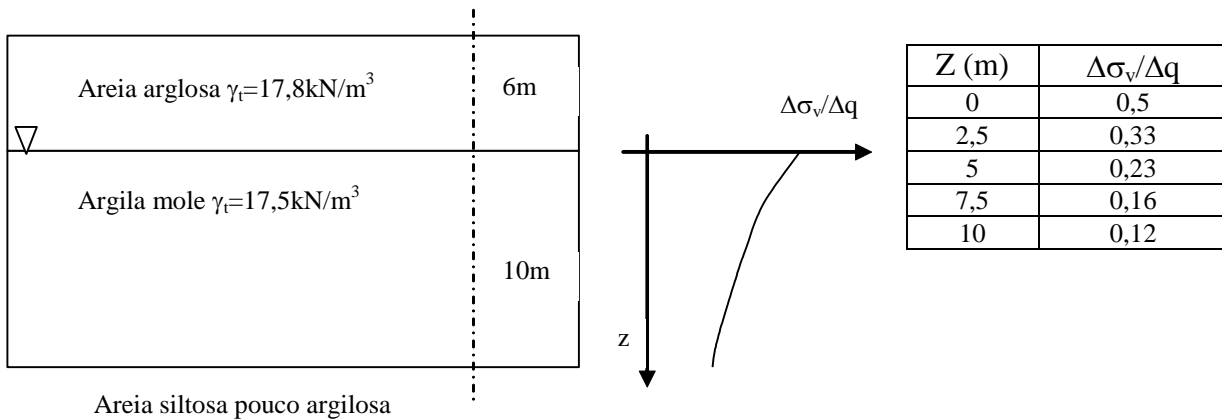


13. Uma camada de argila de 8 m de espessura situa-se entre duas camadas de areia. A espessura da camada superior da areia é de 4 m. O N.A. encontra-se a 2 m de profundidade. A camada inferior de areia está submetida a um artesianismo, sendo o N.A. correspondente associado a uma cota 6 m acima do nível do terreno. Os pesos específicos saturados da areia e da argila são 20 kN/m^3 e 19 kN/m^3 , respectivamente. Para a argila, $e_0=1,9$, $m_v = 9,4 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{kN}$ e $c_v = 4,5 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$. Devido a um bombeamento, o nível artesiano cai para 3 m acima do nível do terreno. Calcule o recalque total e o recalque em 2 anos.

14. Uma fundação transmite um acréscimo de tensão vertical, no centro da camada, de 350kPa e está situada a 1m de profundidade, em uma camada arenosa de 6m de espessura. O nível d'água está 4m abaixo da superfície do terreno. Abaixo da areia existe uma camada argilosa de 6m de espessura sobrejacente a uma camada impermeável. Determine o recalque devido ao adensamento na argila e o tempo necessário para que ocorra 90% de recalque. O peso específico saturado tanto para areia quanto para argila é 19kN/m^3 , $a_v = 9,4 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{kN}$. Acima do NA o peso específico da areia é 17kN/m^3 . O coeficiente de adensamento é $3,5 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$; a relação entre índice de vazios inicial e tensão efetiva (kPa) para argila é:

$$e_o = 0,72 - 0,18 \log \frac{\sigma'}{100}$$

15. - Uma camada de argila de 1,5m de espessura está localizada entre 2 camadas drenantes. No centro da camada de argila, a tensão total vertical inicial é 200kPa e a poro-pressão é 100kPa. O aumento de tensão vertical causado pela construção de uma estrutura, no centro da camada de argila será de 100kPa. Qual será a tensão vertical efetiva no centro da camada e o excesso de poro pressão quando 60% do recalque acontecer? (Resp. $\sigma' = 138\text{kPa}$, $\Delta u = 62\text{kPa}$)
16. Estimar o tempo total e o recalque correspondente ao adensamento primário devido a carga de 170t que será transmitida à fundação através de uma sapata quadrada de 2,5m de largura. Por ser um carregamento finito, a distribuição dos acréscimos de tensão vertical foi calculada segundo a solução de Boussinesq e está apresentada em conjunto com o perfil do local da obra. O NA coincide com a superfície da camada de argila mole. Ensaios de adensamento executados em amostra extraída a uma profundidade 1m abaixo do topo da camada de argila mole forneceu valores de compressibilidade $C_r = 0,03$ e $C_c = 0,24$, tensão efetiva de pré-adensamento 160kPa, coeficiente de adensamento $2 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{seg}$ e índice de vazios de campo igual a 0,92. Considerar os parametros de poropressão A e B iguais a 1 (Resp: $\sigma'_{vo} = 114,3\text{kPa}$; $\text{OCR} = 1,4$; para OCR constante, no centro da camada, $\sigma'_{vo} = 144,3\text{kPa}$ $\rho = 0,06\text{m}$; $T_{90\%} = 3,4\text{anos}$)



17. Uma amostra de argila com 2 cm de espessura foi usada em ensaio de adensamento com drenagem dupla. O coeficiente de adensamento é $c_v = 10^{-7} \text{m}^2/\text{s}$. Em um determinado momento amostra foi carregada. Pede-se
- Calcule o tempo necessário para que o excesso de poropressão no centro da amostra seja reduzido em 50% do seu valor inicial.
 - Qual seria a resposta do item anterior caso a drenagem fosse simples
18. Pretende-se executar uma obra sobre um depósito de argila normalmente adensada, com aproximadamente 10m de espessura e assente sobre uma camada impermeável. A obra irá gerar um acréscimo de tensão total da ordem de 30kPa. Antes da sua execução, a espera-se melhorar as condições do terreno lançando um aterro de 1 m de espessura e $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ e removendo-o após o final do adensamento primário. Considerando que a camada de argila tem $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$, $C_R = 0,16$, $C_C = 1,91$, $e_o=2,5$, $c_v = 4 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ Pede-se
- Determinar a distribuição de poropressão 3 meses após o lançamento do aterro e ao final do processo de recalque primário.
 - Calcular os valores de OCR nas profundidades 2 m, 4 m, 6 m, e 10m, após a remoção da sobrecarga
 - Calcular o recalque total, incorporando a variação do grau de pré-adensamento com a profundidade
19. Será lançado um extenso aterro sobre camada de argila mole saturada com 6m de espessura e com condições adequadas de drenagem em ambas extremidades. O topo da argila está na cota +0,5m e espera-se que o aterro ($\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$), ao final do adensamento, atinja a cota +3,0. Assumir para a argila $\gamma = 15 \text{ kN/m}^3$, $e_o=2,7$, $m_v = 3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{kN}$ e $c_v = 4,5 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$, $C_\alpha = 8 \times 10^{-4}$. Pede-se

- i) Determinar a altura de aterro a ser lançada para garantir a cota de projeto.
- ii) Calcular o recalque secundário, admitindo uma vida útil de 100 anos.
- iii) Plotar a curva recalque x tempo, incluindo a parcela do recalque secundário

20. Avalie se a estimativa de recalque primário é afetada pela distribuição de tensão efetiva. Para tal, compare os valores de recalque considerando 2 pontos distintos de uma camada argilosa ($\gamma = 14\text{kN/m}^3$), normalmente adensada, submetida ao carregamento de um aterro de grandes dimensões de 2m de altura e $\gamma = 18\text{kN/m}^3$

iv)

21. Pretende-se construir sobre uma extensa área aonde foi detectada a presença de uma camada de argila mole de 10m de espessura. Face sua grande dimensão, foram realizadas sondagens e extraídas amostras, no centro da camada, em 4 seções diferentes. Os resultados desta investigação estão apresentados abaixo:

Area	Cv (cm ² /min)	G	γ (kN/m ³)	e _o	C _c	C _s	σ'_{vm}	Base da camada
A	0,0025	2,6	14	3,6	1,8	0,2	35	areia
B	0,0025	2,6	14	3,6	1,8	0,2	20	rocha
C	0,0020	2,7	14	3,6	1,5	0,15	45	areia
D	0,0020	2,7	14	3,6	1,5	0,15	20	areia

Assumindo que a construção acarretará na imposição de uma mesma sobrecarga (50kPa) em todas as áreas avalie:

- a) Se a camada de argila é normalmente adensada
- b) Qual área terá o maior recalque?
- c) Qual área terá o recalque mais rápido?
- d) Como estará a distribuição dos excessos de poropressão em cada uma das seções quando o recalque atingir 50% do valor total
- e) Como estará a distribuição das tensões efetivas em cada uma das seções quando a porcentagem media de adensamento for de 50%
- f) Qual será a razão de pré-adensamento ao final da obra.
- g) Se uma fina camada de areia drenante existisse no centro camada de argila, qual seria sua influencia no comportamento da obra com relação aos recalques e sua evolução no tempo

22. Será lançada uma sobrecarga infinita de 50kPa na superfície do terreno. O perfil consiste em uma camada de areia (2m de espessura - $\gamma_t=19\text{kN/m}^3$) sobrejacente a uma camada de argila normalmente adensada (4m de espessura). O nível d água situa-se 1m abaixo da superfície do terreno. Piezômetros (instrumento que mede carga de pressão = u/γ_w) foram instalados na argila em 3 profundidades: topo, centro e a meia altura ($z=3\text{m}$). A camada de argila esta assente sobre camada drenante. Ensaios realizados em amostras da argila indicaram: $\gamma_{\text{sat}}=17\text{kN/m}^3$; $C_c=1,91$; $C_r=0,16$; $e_o =2,1$; $k_0=0,6$; $c_v=4 \times 10^{-3}\text{cm}^2/\text{s}$, $c_\alpha = 0,0035$. Pede-se:

- i) Valores da carga de pressão medidas nos 3 piezômetros, 1 mês após o lançamento da sobrecarga.
- ii) Estimar recalque final, considerando uma vida útil de 50 anos

23. Uma camada de argila saturada com índice de vazios igual a 0,9, peso específico = $14,5\text{kN/m}^3$ e coeficiente de variação volumétrica = $5 \times 10^{-5}\text{m}^2/\text{kN}$, com 4m de espessura (drenagem simples), sofreu 90% de adensamento primário em 75 dias. Pede-se

- i) Estimar o recalque após 30 dias, considerando que o carregamento gere um aumento de tensão no centro da camada de 55kPa
- ii) Plotar a distribuição de poropressão 30 dias após o carregamento
- iii) Se uma fina camada de areia perfeitamente drenante existisse no centro camada, quais seriam os valores do recalque total e o recalque após 30 dias

24. Voce solicitou a realização de um ensaio de adensamento, porém seu cliente está lhe cobrando a previsão de recalques e os resultados finais do ensaio ainda não lhe foram entregues. De posse dos resultados parciais (ver tabela) Pede-se

- a) Estimar o recalque da camada de argila de 8m de espessura ($\gamma = 15 \text{ kN/m}^3$), submetida a um acréscimo médio de tensão efetiva de 53,5 a 107,5kPa.
- b) Estimar o OCR

Resultados dos ensaios de adensamento ($\omega_0 = 38\%$; $S=100\%$; $G=2,7$)

Pressão (kPa)	Leitura ($\times 10^{-4}$ cm)	Altura (cm)	Indice de vazios
0	0	1,9	
26,75	356		
53,5	630		
107	986		
214	1626		
428	2174		
856	2804		
0	366		

25. Pretende-se executar uma obra sobre o perfil abaixo. A argila é normalmente adensada e o nível d'água coincide aproximadamente com o topo da camada de argila. A obra irá gerar um acréscimo de tensão total da ordem de 40kPa constante ao longo do perfil.. Para a execução deste projeto foi realizado ensaio de adensamento que forneceu: $c_r = 0,16$; $c_c = 1,91$, $e_0=2,5$, $c_v = 6 \times 10^{-4} \text{cm}^2/\text{s}$ Pede-se

- c) Traçar a curva recalque vs tempo,
- d) Traçar a distribuição de poropressão em TODO o perfil (incluir a camada acima da argila), para o instante em que o recalque atinge 40% do valor total
- e) Estimar o recalque ao final da execução da obra, dado que o tempo de construção será de 8 meses
- f) Para acelerar os recalques, estimar a altura de sobrecarga tal que 60% do recalque de adensamento ocorra em 12 meses (aterro $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$)

