



FOLHA DE EXERCÍCIOS Nº 5 – Compressibilidade e Consolidação de Estratos de Argila

Exercício resolvido -

nº 1

Exercícios para resolução fora do âmbito das aulas teórico-práticas -

nºs 10 e 11

Prazo para entrega dos exercícios resolvidos nº 10 -

3ª aula após à da entrega desta folha

Prazo para entrega dos exercícios resolvidos nº 11 -

4ª aula após à da entrega desta folha

1. Sobre o maciço representado na Figura 1 vai ser construído um aterro ($\gamma_{at} = 22 \text{ kN/m}^3$) que ocupará uma área de 10 hectares com espessura de 6m. Todos os estratos representados sobrejacentes ao "bedrock" podem considerar-se normalmente consolidados.
- Represente num diagrama $e - \log \sigma'_v$ os pontos representativos dos estados de tensão de repouso e no fim da consolidação para um ponto no centro do estrato de argila.
 - Determine o assentamento por consolidação.
 - Esboce a evolução das pressões neutras e das tensões efectivas no estrato de argila:
i) no estado de repouso; ii) imediatamente após o carregamento; iii) 1 ano após o carregamento; iv) no fim da consolidação.
 - Estime o assentamento por consolidação 1 ano após a construção do aterro.
 - Quanto tempo haverá que esperar para que se tenha processado 90% do assentamento por consolidação?
 - Responda às questões das alíneas d) e e) no caso de a fronteira inferior do estrato argiloso ser impermeável.
 - Estime o assentamento por consolidação secundária entre o instante determinado na alínea anterior e 50 anos após a construção do aterro.

Ver resolução nas páginas 9 e 10.

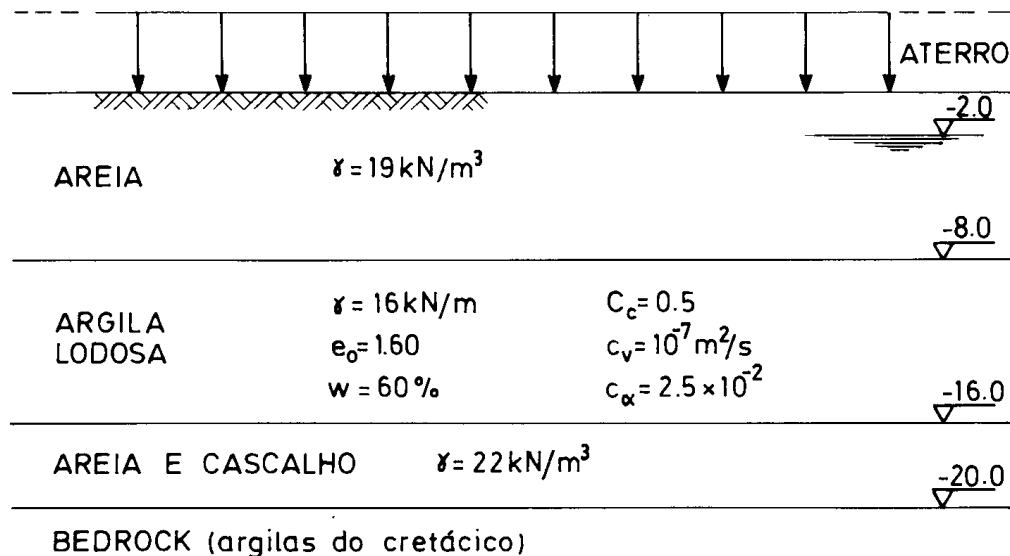


Figura 1

2. Considere o corte geotécnico representado na Figura 2, onde se indicam as condições iniciais de um dado local.

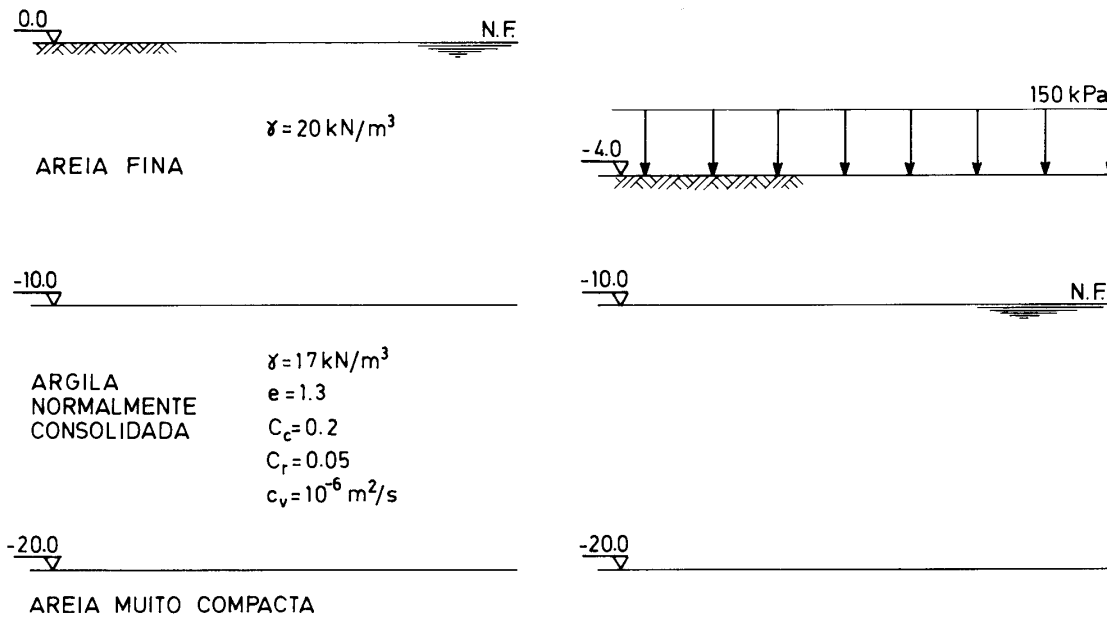


Figura 2

- a) Calcule o assentamento por consolidação da camada argilosa provocado por um rebaixamento permanente do nível freático até à cota -10.0. Admita que acima do nível freático o solo se mantém saturado por capilaridade.
 - b) Para a construção da cave e das fundações de um grande edifício industrial, é efectuada uma escavação geral da zona até à cota -4.0, conforme se indica no lado direito da figura. Admitindo que a consolidação associada ao rebaixamento do nível freático está concluída, estime o empolamento (isto é, o deslocamento vertical ascendente) da superfície do terreno devido à realização da escavação.
 - c) Suponha que após a conclusão do empolamento verificado nas condições da alínea anterior, a fundação da edificação a construir irá provocar no terreno um acréscimo uniforme de 150 kPa da tensão vertical. Avalie o assentamento que tal edifício irá sofrer devido à consolidação do estrato argiloso.
 - d) Para um ponto localizado a meia altura do estrato de argila, represente num diagrama $e - \log \sigma'_v$ a situação correspondente ao estado de repouso e a evolução para as situações descritas nas alíneas anteriores.
3. Na Figura 3a representa-se, na situação inicial, um maciço terroso num vale aluvionar. Uma barragem vai ser construída algures a jusante do local implicando uma subida do nível freático da cota 119 para a cota 121, isto é, de 2,0m. De modo a impedir que o local fique submerso vai ser construído um aterro numa área muito extensa com 2,0m de espessura, alteando pois a superfície do terreno da cota 120 para a cota 122, como mostra a Figura 3b. Esse aterro vai ser construído com meios de movimentação de terras e de compactação de alto rendimento, pelo que pode ser considerado instalado de forma instantânea. Em ambas as figuras estão representados 3 tubos piezométricos que permitiram a realização de leituras nos seguintes instantes: i) t_0 , situação inicial, corresponde à Figura 3a; ii) t_1 , imediatamente após a construção do aterro; iii) t_2 , um ano depois da construção do aterro, instante imediatamente anterior ao enchimento da albufeira; iv) t_3 , imediatamente após o enchimento da albufeira, o qual pode ser considerado praticamente instantâneo; v) t_4 , no fim da consolidação associada a todas as alterações anteriores, situação a que corresponde a Figura 3b.

O Quadro 1 resume as leituras efectuadas.

Quadro 1

| Piezómetro | Cota da base | Altura piezométrica (m) | | | | |
|------------|--------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | | t_0 | t_1 | t_2 | t_3 | t_4 |
| P1 | 115 | 4,00 | 8,20 | 6,68 | 6,68 | 6,00 |
| P2 | 113 | 6,00 | 10,20 | 9,61 | 9,61 | 8,00 |
| P3 | 111 | 8,00 | 12,20 | 10,68 | 10,68 | 10,00 |

- a) Esboce o diagrama dos excessos de pressões neutras ao longo da espessura do estrato de argila nos instantes t_0, t_1, t_2, t_3 e t_4 .
- b) O estrato subjacente ao estrato de argila funciona em relação a este como uma fronteira drenante? Justifique.
- c) Determine o coeficiente de consolidação, C_v , do estrato de argila.
- d) Qual foi a diminuição da espessura da camada de argila entre os instantes t_0 e t_2 ?

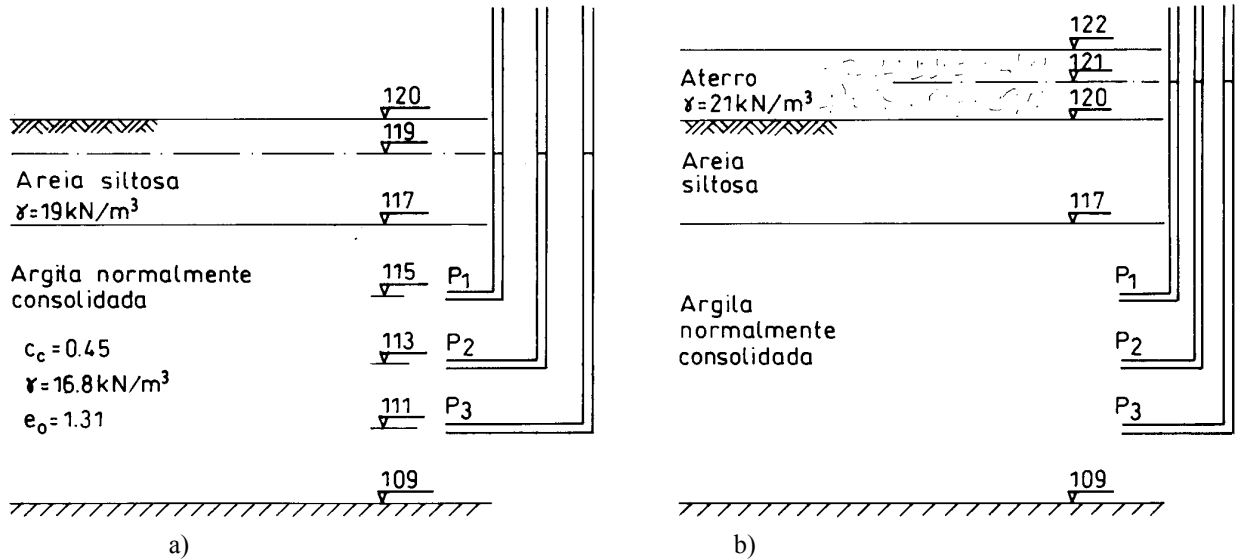


Figura 3

4. Com o objectivo de sobrelevar a cota da superfície do terreno para a colocação de uma conduta, vai ser construído um aterro de 2 m de altura e grande desenvolvimento em planta sobre o depósito aluvionar representado na Figura 4. Para minimizar os assentamentos das sapatas de apoio da conduta, irá realizar-se um carregamento temporário do terreno de fundação, no período que antecede a instalação daquela, através da colocação de uma altura de aterro adicional de 2 m (com peso volúmico igual ao aterro acima referido), conforme ilustra a figura.

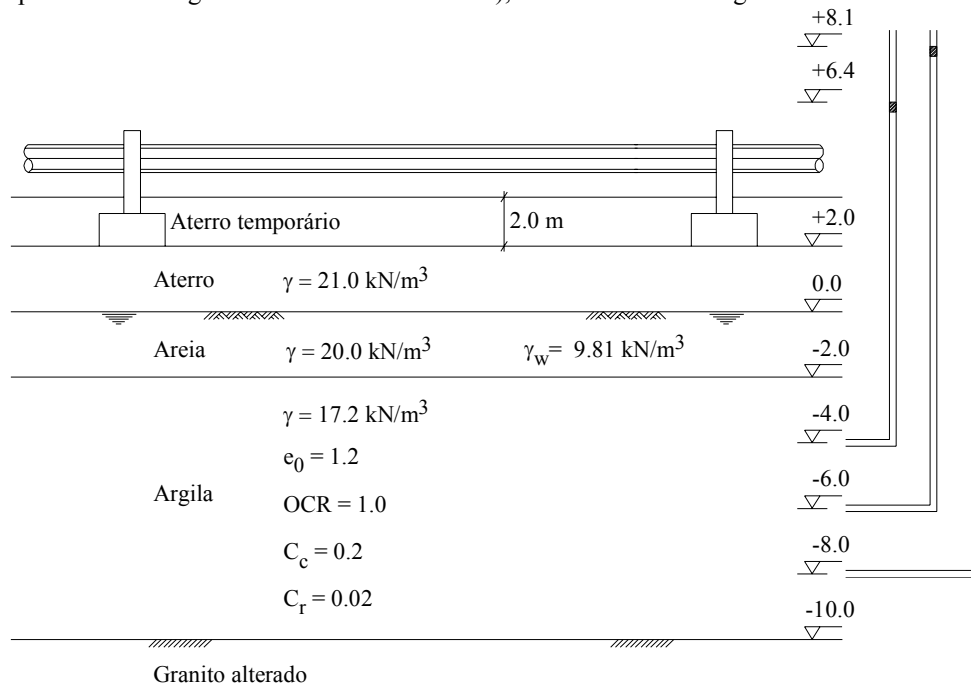


Figura 4

- a) Um ano após a colocação do aterro e da sobrecarga temporária foram medidas as alturas piezométricas em 3 pontos da camada de argila, às profundidades de 4,0, 6,0 e 8,0 m abaixo da superfície inicial do terreno, tendo-se obtido 10,4, 14,1 e 14,4 m, respectivamente. Perante estes valores o que pode concluir acerca da capacidade drenante das fronteiras do estrato de argila? Justifique.

- b) Estime o valor do coeficiente de consolidação, c_v , do estrato argiloso.
 - c) Qual o valor do assentamento um ano após a colocação do aterro?
 - d) Durante quanto tempo será necessário deixar actuar a sobrecarga temporária para que não ocorram posteriormente assentamentos por consolidação?
 - e) Esboce os diagramas das pressões neutras no estrato de argila nas seguintes fases: i) estado de repouso; ii) imediatamente após a colocação do aterro definitivo e da sobrecarga temporária; iii) 1 ano depois; iv) imediatamente antes da retirada da sobrecarga temporária; v) imediatamente após a retirada da sobrecarga temporária; vi) final da consolidação.
 - f) Dimensione uma rede de drenos verticais do tipo fita ($r_w=0,10m$) dispostos em malha triangular que, conjugada com a pré-carga do maciço, permitisse proceder à instalação da conduta ao fim de 3 meses. Considere $c_h = c_v$.
5. Sobre a superfície do terreno, cujo corte se mostra na Figura 5, executou-se em Janeiro de 1996 o aterro representado, numa área de grandes dimensões. Imediatamente antes da colocação deste aterro foi registada no ponto A uma altura piezométrica de 4,50m. Em Janeiro de 1997, por efeito da consolidação da camada argilosa, foi registado um assentamento médio da superfície do terreno de 8,6 cm. Nesta mesma data verificou-se que a altura piezométrica no ponto A atingia 8,05m.

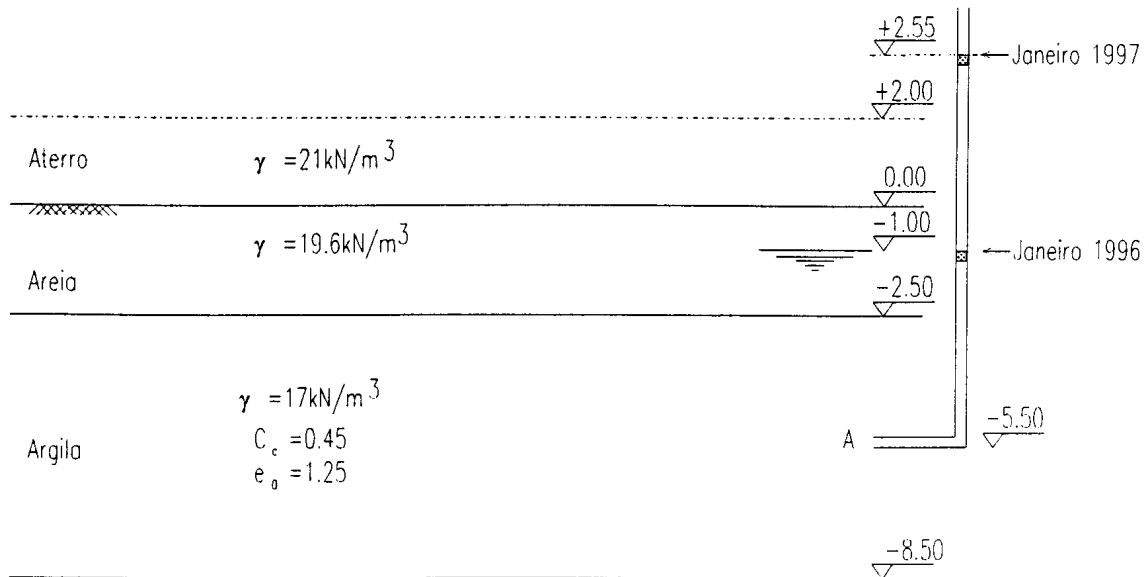


Figura 5

- a) Calcule o assentamento por consolidação da camada argilosa.
 - b) O estrato subjacente à camada argilosa funciona como fronteira drenante ou impermeável? Justifique.
 - c) Estime o valor do coeficiente de consolidação, c_v , do estrato argiloso.
 - d) Se em Janeiro de 1996, simultaneamente com a execução do aterro, tivesse sido instalada uma rede triangular de drenos verticais afastados de 2,30m e com $r_w = 0,08m$, atravessando toda a espessura da camada argilosa, qual seria o valor do assentamento por consolidação desta camada em Janeiro de 1997? Tome $c_h = c_v = 6,85 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$.
6. Considere o maciço estratificado representado na Figura 6, assim como os resultados de um ensaio edométrico realizado sobre uma amostra recolhida no ponto P1 da camada de Argila 1 e que se pode considerar representativa dessa camada. Suponha que sobre o maciço é construído um aterro de grandes dimensões com 2,5 metros de altura e peso volúmico de 20 kN/m^3 .

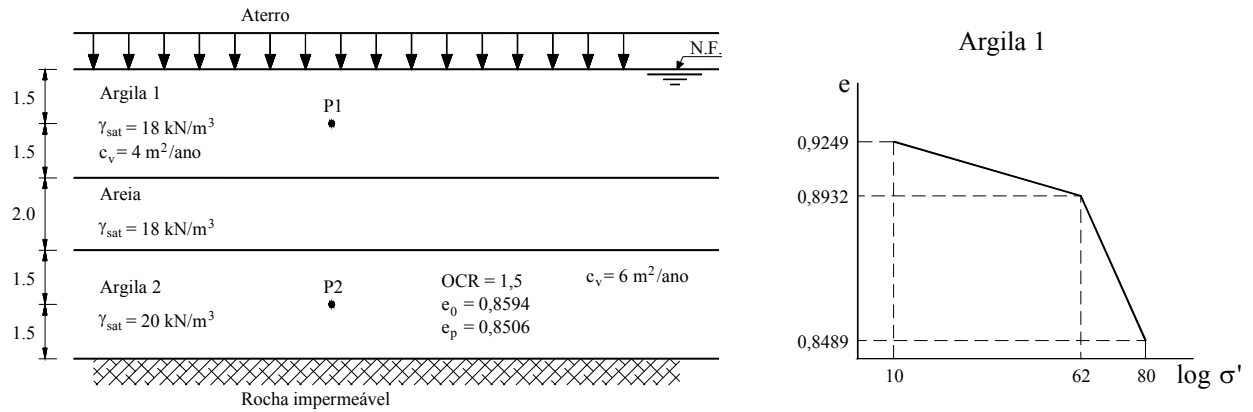


Figura 6

Sabendo que o assentamento total observado à superfície devido a consolidação primária é de 12 cm, determine:

- a) os assentamentos totais verificados em cada camada de argila;
- b) o índice de compressibilidade da Argila 2.

Supondo que num dado instante a altura piezométrica no ponto P2 é de 8,5 m, calcule, para esse mesmo instante:

- c) a altura piezométrica no ponto P1; Justifique o valor obtido;
- d) o assentamento já verificado.

Nota: O símbolo e_p representa o índice de vazios dos solos para $\sigma'_v = \sigma'_p$.

7. A Figura 7 mostra um depósito cilíndrico de 24,0 m de diâmetro fundado sobre um estrato de argila ligeiramente sobreconsolidada e com o nível freático à superfície. O peso próprio do depósito e do material do enchimento equivalem a pressões uniformemente distribuídas na fundação de, respectivamente, 10 kPa e 90 kPa. Antes da construção do depósito será colocada à superfície do terreno uma camada de aterro arenoso de espessura desprezável.

O Quadro 2 indica a evolução do módulo de deformabilidade volumétrica, m_v , com a tensão efectiva vertical.

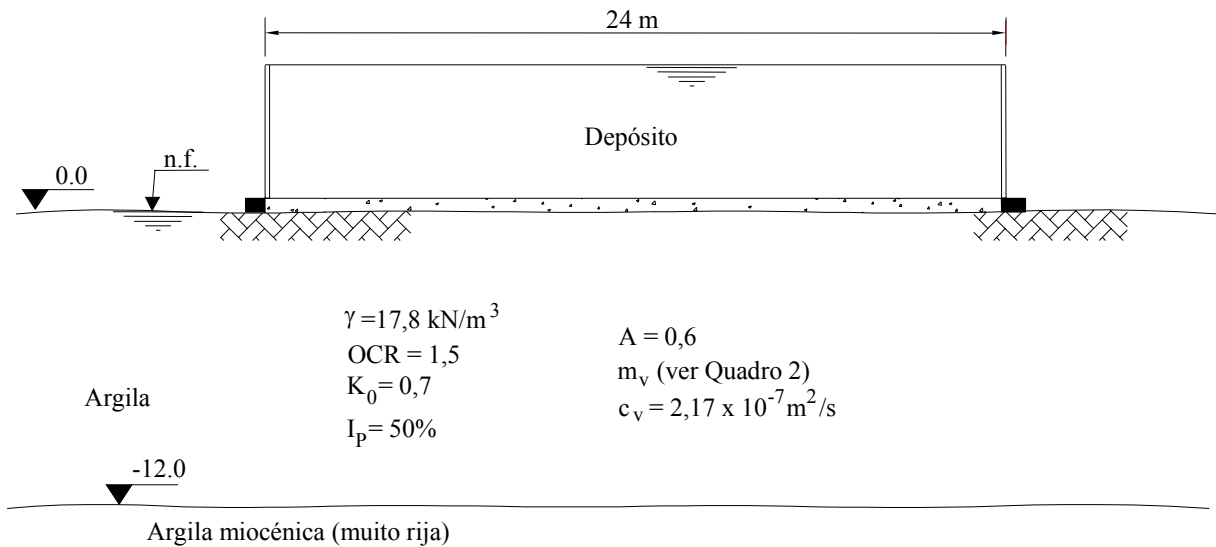


Figura 7
Quadro 2

| | | | | | |
|---------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| $\sigma'_v \text{ (kPa)}$ | 25 | 50 | 100 | 200 | 400 |
| $m_v \text{ (kPa}^{-1}\text{)}$ | $1,1 \times 10^{-3}$ | $4,2 \times 10^{-4}$ | $2,3 \times 10^{-4}$ | $1,2 \times 10^{-4}$ | $0,9 \times 10^{-4}$ |

- a) Estime a assentamento por consolidação do centro da fundação supondo que o depósito se manterá cheio por um longo período de tempo.
- b) Determine um limite superior para o tempo necessário para que a consolidação se encontre praticamente terminada ($\bar{U} = 90\%$) admitindo: i) que a fronteira inferior é permeável (o que pode acontecer caso a argila miocénica se encontre fortemente fissurada); ii) que a fronteira inferior é impermeável.

8. Pretende-se construir um aterro de grandes dimensões em planta (para um parque de estacionamento de veículos ligeiros) sobre o maciço cujo corte geológico-geotécnico se representa na Figura 8. A cota absoluta da superfície do terreno antes da obra é +3.00. Pretende-se que, terminada a consolidação primária, a cota absoluta da superfície do terreno seja +8.00, 5m portanto acima da superfície inicial do terreno.

Cota imposta para o fim da consolidação: ▼ +8.0 m

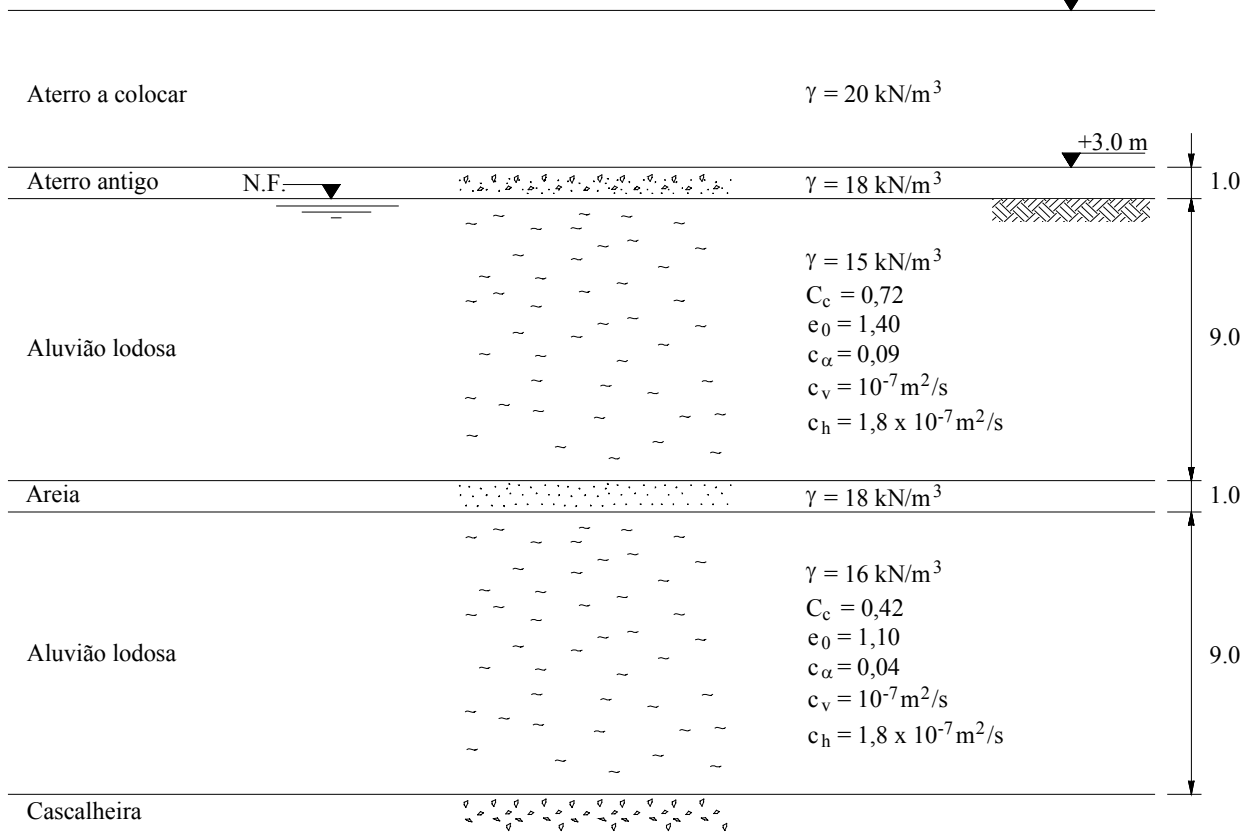


Figura 8

- a) Calcule a altura total de aterro a colocar para se assegurar a cota +8.00 da superfície do mesmo, quando estiver concluída a consolidação primária.
 - b) Pretendendo-se que 95% do assentamento por consolidação esteja concluído ao fim de 1 ano (para se proceder à execução do pavimento), apresente uma solução de aceleração da consolidação primária baseada numa malha triangular de drenos sintéticos, com $r_w = 3,0 \text{ cm}$.
 - c) Desprezando a espessura e o peso do pavimento, calcule a variação da cota da superfície do parque de estacionamento ao fim de 10 anos, por efeito da consolidação secundária.
9. A Figura 9 representa um maciço terroso no qual vai ser instalado um aterro de resíduos. A célula do aterro tem cerca de $150 \times 150 \text{ m}^2$ de área em planta e altura máxima de 9,0 m (6,0 m acima da superfície inicial do terreno e 3,0 m em escavação). Critérios de segurança e ambientais impõem as duas seguintes condições para a concretização da obra: i) o nível freático terá que ser rebaixado permanentemente para a cota -5,0; ii) o assentamento máximo do maciço de fundação da célula de resíduos não poderá exceder 0,20 m.

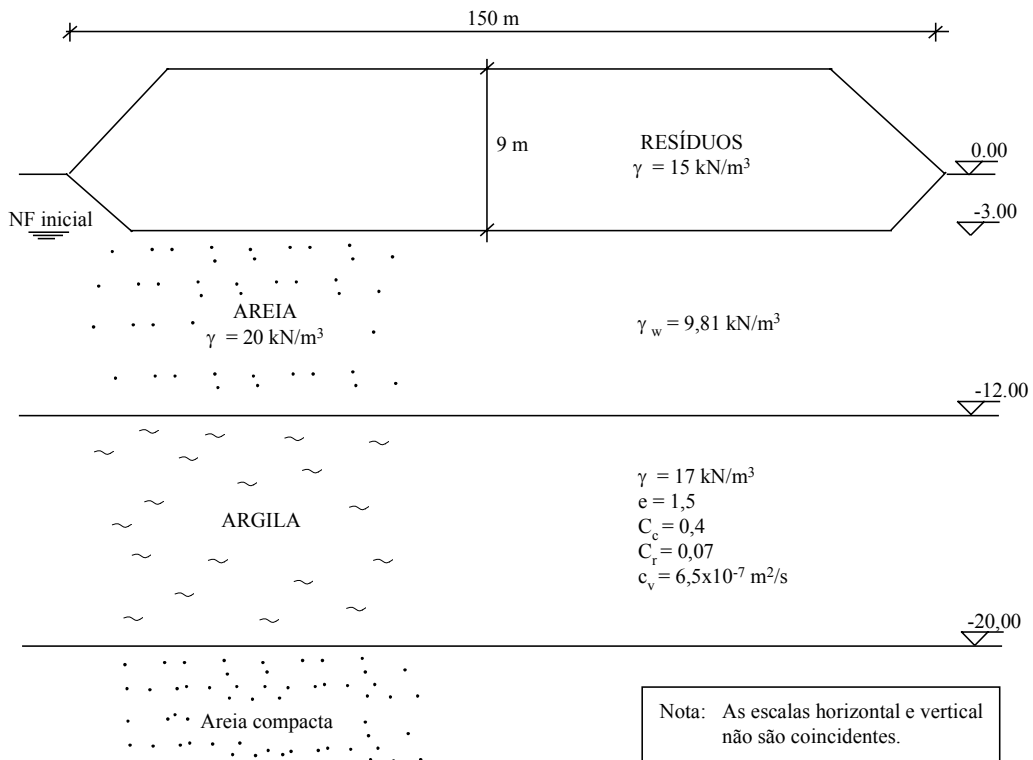


Figura 9

- Estime o valor do levantamento da superfície do terreno associado à escavação de 3,0 m, bem como o tempo que ele demorará a estar praticamente concluído.
Considere que apenas se procederá ao rebaixamento do nível freático e à deposição dos resíduos após o levantamento que anteriormente calculou estar concluído.
- Prove que se o rebaixamento do nível freático até à cota -5,00 e a deposição dos resíduos forem executados em simultâneo e sem quaisquer outras medidas, o assentamento máximo admissível de 0,20 m será ultrapassado.
- De modo a obviar a dificuldade expressa pelo resultado da alínea anterior, e porque uma pré-carga convencional implicaria custos ambientais intoleráveis, ponderou-se proceder do seguinte modo: i) rebaixar o nível freático até à cota -12,00 durante um determinado período de tempo; ii) após esse período, deixar subir o nível freático até à cota definitiva (-5,00) e colocar então o aterro de resíduos. Pretende-se que calcule o tempo necessário indicado em i) de modo que o assentamento após a colocação da célula de resíduos respeite o máximo admissível de 0,20 m.
- Esboce os diagramas das pressões neutras no estrato de argila nas seguintes fases: i) imediatamente após o rebaixamento do nível freático até à cota -12,00; ii) imediatamente antes de deixar subir o nível freático até à cota -5,00 e da colocação do aterro de resíduos; iii) imediatamente após as operações referidas anteriormente; iv) fim da consolidação.

10. Figura 10 ilustra em corte o maciço terroso num local onde se pretende construir uma estação ferroviária. Para o efeito será necessário sobrelevar a superfície do terreno através da construção de um aterro de 3 m de altura e grande desenvolvimento em planta. Como mostra a figura, as fundações do edifício da estação serão por estacas cuja ponta ficará alojada no estrato inferior constituído por margas de elevada resistência e baixa deformabilidade e praticamente impermeáveis. Determinado tempo após a conclusão do aterro serão executados os trabalhos de pavimentação e instalação da plataforma ferroviária.

- Determine o assentamento por consolidação primária associado à construção do aterro.
- Atendendo a que o assentamento posterior à execução do pavimento e instalação da plataforma ferroviária não deverá exceder 2,5 cm, determine o tempo que será necessário aguardar para se proceder à execução destes trabalhos.
- Apresente uma solução de aceleração da consolidação primária baseada numa malha quadrada de drenos sintéticos ($r_w=0,10m$) que permita iniciar os trabalhos referidos em b) ao fim de 3 meses.

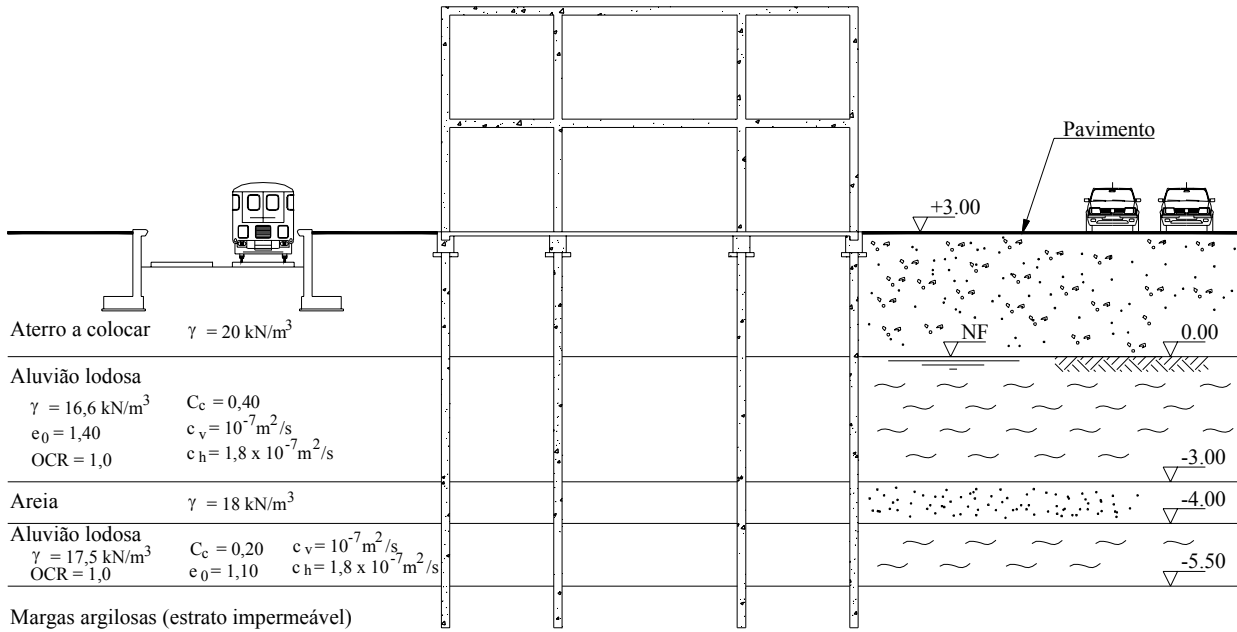


Figura 10

11. Para a construção do sistema de tratamento de efluentes líquidos de uma pequena cidade, e com o objectivo de sobrelevar a cota da superfície do terreno, vai ser construído um aterro de 2,00 m de altura e grande desenvolvimento em planta sobre o depósito aluvionar representado na Figura 11. Após a dissipação total dos excessos de pressão neutra gerados pela execução do aterro, proceder-se-á à execução do reservatório representado.

NOTA: Na resolução tenha em atenção que, dadas as dimensões relativas do reservatório e da camada argilosa, esta última será carregada em condições não confinadas.

- Um ano após a colocação do aterro foi medida a altura piezométrica no ponto médio da camada de argila, tendo-se obtido 5,40 m. Estime o valor do coeficiente de consolidação, c_v , do estrato argiloso.
- Calcule o assentamento por consolidação no centro da fundação do reservatório, considerando a construção e o enchimento praticamente simultâneos e implicando uma pressão uniformemente distribuída na fundação de 60 kPa. Para simplificação dos cálculos divida a camada de argila em duas subcamadas de 2,00 m. Para estimativa dos incrementos de tensão total use o quadro da página 2.26 dos apontamentos.
- Sabendo que existe uma conduta ligada ao reservatório e que esta não suporta assentamentos diferenciais superiores a 2,50 cm, determine um limite superior para o intervalo de tempo entre a construção do reservatório e a instalação da conduta. Admita que o excesso de pressão neutra tem uma variação linear em profundidade.

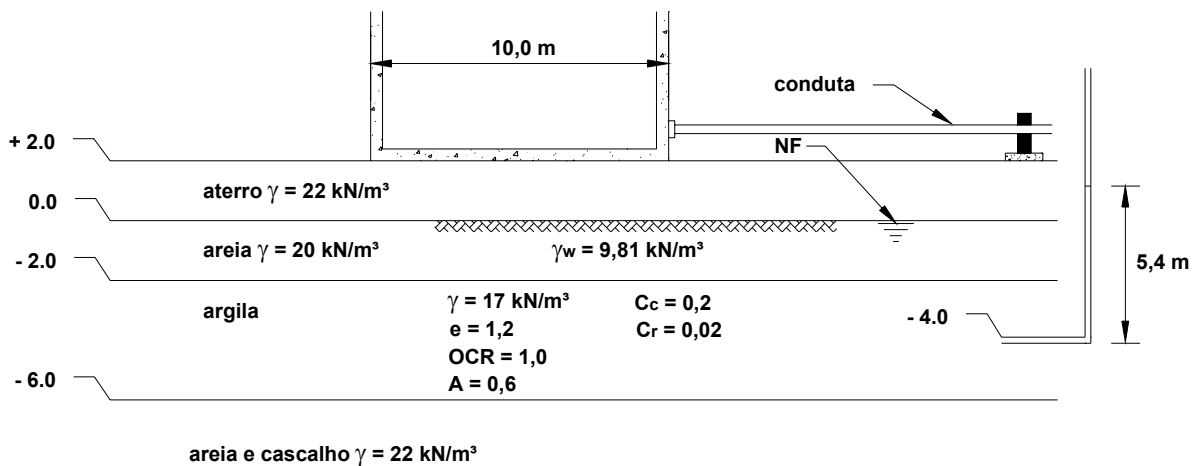


Figura 11