

Consideração da Sequência Construtiva na Estimativa da Curva de Recalque em Aterros sobre Solos Compressíveis

Raphael Felipe Carneiro

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, raphaelfc1987@gmail.com

Denise Maria Soares Gerscovich

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, deniseg@uerj.br

Bernadete Ragoni Danziger

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, brdanzig@uerj.br

RESUMO: Um dos aspectos mais importantes em projetos e obras associados à Engenharia Geotécnica é a determinação das deformações (recalques) devidas a carregamentos verticais aplicados na superfície do terreno. A famosa equação do adensamento, desenvolvida por Terzaghi e Fröhlich com base na equação do fluxo, incorpora uma série de hipóteses simplificadoras. Dentre estas, está o fato de se pressupor um carregamento instantaneamente aplicado na superfície do terreno, o que é improvável na prática cotidiana. Terzaghi e Gilboy propuseram um método empírico para corrigir a curva de adensamento, considerando carregamento linearmente crescente com o tempo. O presente trabalho se propõe a apresentar uma expansão do método de Terzaghi-Gilboy, baseando-se nas mesmas ideias originais, para qualquer tipo de função de carregamento no tempo – e não apenas linear.

PALAVRAS-CHAVE: Argila Mole, Recalques, Carregamento Não Instantâneo.

1 INTRODUÇÃO

Do ponto de vista da Engenharia Civil, a magnitude dos carregamentos aplicados às camadas de solo não são suficientes para promover deformações das partículas sólidas. A água, por sua vez é considerada como incompressível. Assim sendo, as deformações no solo ocorrem basicamente pela variação de volume dos vazios. Como resultado, tem-se que os recalques ocorrem em função da variação no estado de tensões imposta no esqueleto sólido e da compressibilidade de sua própria estrutura.

Em solos argilosos saturados, além de a compressibilidade ser elevada, o tempo necessário para o fim do fenômeno do adensamento é também muito superior ao desejado, face ao seu baixo coeficiente de adensamento c_v . O processo de recalque é controlado pela drenagem da água contida nos vazios e sua magnitude é função do carregamento que a obra efetivamente impõe ao

solo. A velocidade com que tal carregamento é imposto influencia no formato da curva recalque vs tempo.

A equação clássica do adensamento, proposta por Terzaghi e Fröhlich (1936), pressupõe carregamento ocorrendo de forma instantânea. Isto significa que todo o acréscimo de tensão $\Delta\sigma'_v$ é imposto ao solo no instante inicial $t = 0$. Na prática, porém, é improvável que esta condição seja satisfeita. Um aterro convencional é construído em etapas e sua altura cresce gradativamente até a altura prevista em projeto. Dependendo da complexidade da obra, a duração do carregamento pode variar de alguns dias até anos. As cargas são aplicadas ao longo de um determinado período construtivo, em etapas também definidas em projeto. É o que se denomina carregamento não instantâneo.

2 CARREGAMENTO LINEARMENTE CRESCENTE

A maneira mais simples de considerar a não instantaneidade do carregamento é admiti-lo linearmente crescente com o tempo, como mostra a Figura 1. O gráfico carga vs tempo (ou altura do aterro vs tempo) apresenta a forma de degraus, de acordo com a sua sequência construtiva. No instante $t = 0$, a carga aplicada ainda é nula. No instante $t = t_c$, toda a carga q_c foi aplicada ao solo e o aterro atingiu sua altura de projeto. A aproximação linear é feita a partir de uma reta que parte de $t = 0$ e chega em $t = t_c$.

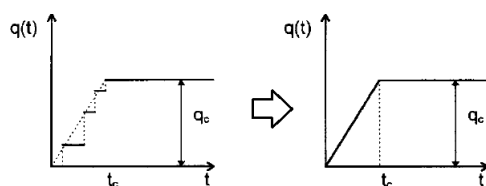


Figura 1. Carregamento linearmente crescente no tempo (adaptado de Da Mota, 1996).

2.1 Correção de Terzaghi-Gilboy

Cientes das implicações que o carregamento acarreta na previsão dos recalques no tempo, Terzaghi e Gilboy propuseram um método gráfico simples para corrigir a curva de adensamento. A correção, apresentada por Taylor (1942), é estabelecida considerando que exista uma relação aproximadamente linear entre a carga aplicada e o tempo de construção, como ilustra a Figura 2a. Toda a carga q_c (segmento QR) foi aplicada ao solo após o intervalo de tempo t_c (segmento PQ). A sequência construtiva é adotada como linear, de acordo com a reta PR.

O método gráfico impõe uma correção à curva clássica de adensamento, traçada a partir de $t = 0$, como mostra a Figura 2b. Admite-se que, ao término do carregamento (ponto H), os recalques sejam iguais aos que ocorreriam caso o carregamento tivesse sido aplicado instantaneamente em $t = t_c/2$ (ponto E). Assim, o recalque no tempo de construção t_c (ponto K) será igual ao recalque em $t_c/2$ (ponto F) da curva original. Para tempos superiores a t_c , a curva corrigida é traçada simplesmente trasladando-se os pontos da curva original no eixo horizontal, em um tempo igual a $t_c/2$.

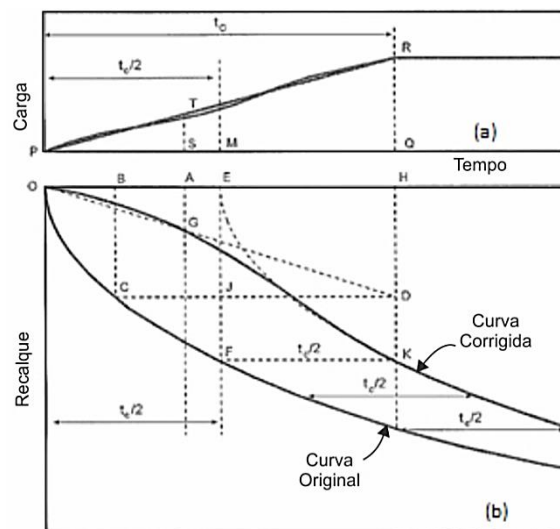


Figura 2. Método empírico de Terzaghi-Gilboy (Pinto, 2006). (a) Relação carga vs tempo. (b) Correção da curva clássica recalque vs tempo.

No caso de tempos inferiores a t_c , a correção da curva deve também contemplar o fato de que a carga aplicada está variando e ainda não atingiu o valor final (q_c). Assim sendo, a metodologia tem como base a premissa de que os recalques correspondam àqueles encontrados na metade do tempo decorrido e que também possuam uma relação de proporcionalidade com a carga aplicada.

A Figura 2b ilustra essa metodologia. O recalque corrigido para o tempo indicado no ponto A está associado ao recalque na curva original (ponto C) correspondente à metade deste tempo (ponto B). Adicionalmente, a carga transmitida até o ponto A (segmento ST na Figura 2a) é menor do que a carga total (segmento QR na Figura 2a). Assim sendo, a correção da curva original é feita do seguinte modo: i) translada-se o segmento BC até o ponto H, gerando o segmento HD; ii) liga-se o ponto D à origem (ponto O); iii) a interseção entre OD e AG (ponto G) é o recalque corrigido para o tempo indicado pelo ponto A.

A semelhança entre os triângulos OAG e OHD, na Figura 2b, e os triângulos PST e PQR, na Figura 2a, justificam a construção gráfica. O segmento AG está para HD, assim como ST está para QR. O recalque corrigido no ponto A deveria ser igual ao segmento BC (ou HD), mas isto não acontece porque a carga transmitida até esse momento é menor do que a carga total.

2.2 Método teórico

Schiffman (1958), a partir da clássica equação de fluxo, encontrou uma solução teórica para a equação de adensamento considerando carregamento linearmente crescente com o tempo. O desenvolvimento é realizado dividindo-se o problema em duas partes: durante a construção ($t \leq t_c$) e após o fim da construção ($t > t_c$). As demais hipóteses simplificadoras adotadas por Schiffman (1958) são análogas às de Terzaghi e Fröhlich, como, por exemplo, a linearidade entre índice de vazios e tensão efetiva.

Da Mota (1996) refez o desenvolvimento proposto por Schiffman (1958), corrigindo algumas considerações envolvendo a questão da variação do excesso de poropressão no tempo. As equações (1) e (2) mostram a solução para a porcentagem média de adensamento U , considerando carregamento linearmente crescente no tempo, para $t \leq t_c$ e $t > t_c$, respectivamente.

$$U = \frac{T}{T_c} \left[1 - \frac{2}{T} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{M^4} (1 - e^{-M^2 T}) \right] \quad (1)$$

$$U = 1 - \frac{2}{T_c} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{M^4} (1 - e^{-M^2 T_c}) e^{-M^2 (T - T_c)} \quad (2)$$

Onde $M = (2m + 1)\pi/2$, $T = c_v t / H_d^2$, $T_c = c_v t_c / H_d^2$, H_d é a altura de drenagem e c_v é o coeficiente de adensamento.

Da Mota (1996) realizou ensaios de laboratório na argila mole da Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, com carregamento crescente com o tempo. Para tal, o autor admitiu uma duração total para o estágio de carga e a dividiu em 100 partes iguais. Assim, a cada intervalo de tempo correspondente a 1% do tempo total impôs-se um acréscimo de carga igual a 1% da carga prevista. A intenção era comparar os resultados do ensaio com a sua equação teórica e também com o método empírico de Terzaghi-Gilboy.

A Figura 3 apresenta a comparação feita por Da Mota (1996), para um carregamento total de 100 kPa, com duração do ensaio de 2 horas. É possível notar uma ótima concordância entre as curvas, indicando que tanto a solução teórica

quanto o método empírico atendem muito bem ao problema proposto.

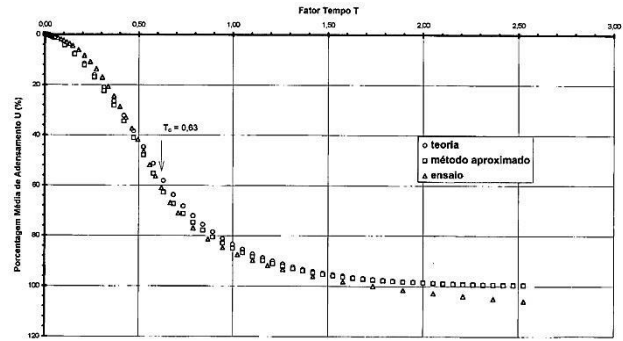


Figura 3. Gráfico Porcentagem média de adensamento ($U\%$) vs Fator tempo (T) (Da Mota, 1996).

3 EXPANSÃO DO MÉTODO DE TERZAGHI-GILBOY

A correção de Terzaghi-Gilboy para carregamento não instantâneo pode ser analisada não apenas graficamente, mas também sob o ponto de vista analítico. O método considera que existam duas situações distintas: no caso 1, $t \leq t_c$ (representado por t_1 na Figura 4); no caso 2, $t > t_c$ (representado por t_2).

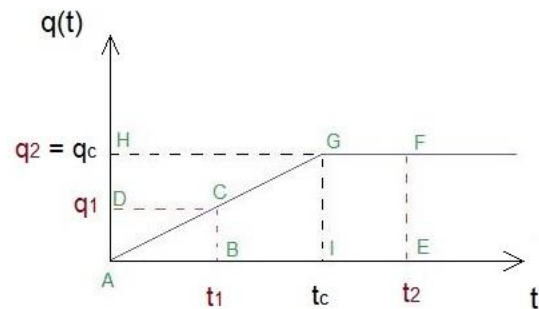


Figura 4. Análise do método de Terzaghi-Gilboy.

3.1 Estudo analítico

No caso 1 ($t = t_2$), todo o carregamento previsto já foi aplicado; isto é, a carga transmitida ao solo é $q_2 = q_c$. O tempo t' que causaria o mesmo recalque, caso o carregamento fosse aplicado instantaneamente, seria igual a $t' = t_2 - t_c/2$, conforme já observado na Figura 2.

No caso 2 ($t = t_1$), o aterro ainda está sendo construído. Assim, a carga transmitida é q_1 e o tempo t' que causaria o mesmo recalque passa a ser igual a $t' = t_1/2$.

Em termos de porcentagem de adensamento há uma diferença entre os casos. No caso 1, o recalque parcial $r(t)$ é calculado multiplicando-se o recalque total (r) pela porcentagem média de adensamento $U(t')$ associada ao tempo t' :

$$r(t) = r \cdot U(t') \quad (3)$$

Já no caso 2, como apenas uma parte do carregamento q_c foi aplicado, é preciso corrigir o recalque parcial $r(t)$ pela razão t_1/t_c :

$$r(t) = r \cdot U(t') \cdot \frac{t_1}{t_c} \quad (4)$$

Embora pareçam situações distintas, verifica-se que, na realidade, os procedimentos de correção a serem realizados em ambos os casos são os mesmos. Eles representam uma mera relação entre áreas, que pode ser verificada através da Figura 4. A ideia de considerar metade do tempo decorre do fato de a área de um triângulo ser metade da área de um retângulo de mesmas base e altura.

No primeiro caso, em que $t = t_2 > t_c$, tem-se que:

$$t' = t_2 - \frac{t_c}{2} \quad (5)$$

A expressão pode ser reescrita da seguinte forma:

$$t' = t_2 \cdot \frac{t_2 - t_c/2}{t_2} \quad (6)$$

Multiplicando-se o numerador e o denominador por q_c , chega-se a:

$$t' = t_2 \cdot \frac{q_c \cdot t_2 - q_c \cdot t_c/2}{q_c \cdot t_2} \quad (7)$$

O produto $q_c \cdot t_2$ corresponde à área do retângulo AEFH na Figura 4. Já o produto $q_c \cdot t_2/2$ é a área do retângulo AGI, que é numericamente igual à área do triângulo AGH. Sendo assim, o numerador da fração da equação (7) é igual à área do trapézio AEFG. Desse modo, a equação pode ser expressa a partir das áreas descritas, ou seja:

$$t' = t_2 \cdot \frac{AEFG}{AEFH} \quad (8)$$

E, genericamente, torna-se:

$$t' = t \cdot \frac{A_{real}(t)}{A_{máx}(t)} \quad (9)$$

Na equação (9), o termo $A_{real}(t)$ é a área do gráfico q vs t associada à sequência construtiva do aterro – neste caso, considerada linearmente crescente. Por outro lado, $A_{máx}(t)$ é a área que seria encontrada caso o carregamento fosse instantâneo em $t = 0$. Assim sendo, o tempo t' fica determinado pelo produto entre o tempo t e a razão entre essas duas áreas.

A mesma análise pode ser feita no segundo caso, quando $t = t_1 \leq t_c$, correspondente ao período em que a construção do aterro ainda não foi concluída. O tempo t' , como foi visto, é a metade do tempo analisado, ou seja:

$$t' = t_1/2 \quad (10)$$

Como $t_1 < t_c$, a carga atuante (q) no instante t_1 não é q_c e sim q_1 . Multiplicando-se o numerador e denominador por q_1 e também por t_1 , obtém-se:

$$t' = t_1 \cdot \frac{q_1 \cdot t_1/2}{q_1 \cdot t_1} \quad (11)$$

Na Figura 4, o produto $q_1 \cdot t_1$ é a área do retângulo ABCD, que corresponde a uma situação de carregamento instantâneo cujo acréscimo de tensão é $q = q_1$. Da mesma forma, o produto $q_1 \cdot t_1/2$ é a área do triângulo ABC, ou seja, a área do gráfico até o instante $t = t_1$ que de fato ocorreu. Isto significa que, analiticamente, não há diferença no cálculo de t' se o aterro ainda está sendo construído ou não. A expressão é sempre o produto entre o tempo analisado e a razão entre as áreas real e máxima, como indicado na equação (9).

O método gráfico de Terzaghi-Gilboy, para o caso 2, embute uma parcela adicional t_1/t_c (equação (4)) que equivale a considerar, por semelhança entre os triângulos ABC e AIG:

$$t_1/t_c = q_1/q_c \quad (12)$$

A proporcionalidade entre t_i e q_i pressupõe que o índice de vazios varie linearmente com a tensão efetiva aplicada. Na prática, esta relação não é linear. No entanto, para $t < t_c$, pode ser considerada uma aproximação válida, visto que as porcentagens médias de adensamento U durante a fase de construção do aterro tendem a ser pequenas. Consequentemente, os recalques parciais também o são e, portanto, o erro resultante não deve ser muito relevante.

Combinando as equações (4) e (12), o recalque parcial fica definido como:

$$r(t) = r \cdot U(t') \cdot \frac{q(t)}{q_c} \quad (13)$$

Cabe ressaltar que esta equação é também válida para o caso em que $t > t_c$. Ao final da construção do aterro, a carga atuante seria igual a q_c e, portanto, a razão q/q_c seria igual a 1.

3.2 Metodologia aplicada a um caso geral

A Figura 5 apresenta uma sequência de construção hipotética de um aterro. O tempo t , indicado pelo ponto B, está associado a uma carga aplicada q , indicada pelo ponto H. Embora a relação carga vs tempo não seja linear, a mesma razão entre áreas pode ser aplicada.

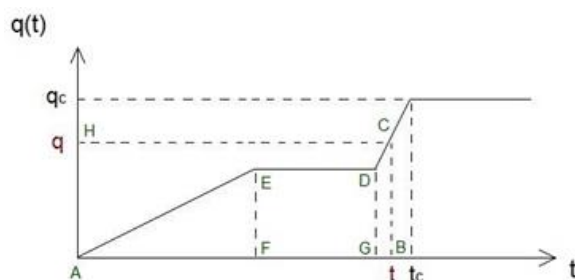


Figura 5. Sequência de construção hipotética de um aterro.

O cálculo do recalque parcial $r(t)$ no instante t deve ser realizado da seguinte forma:

- i) Calcula-se a razão entre a área real (polígono ABCDE) e a área máxima (ABCH);
- ii) Calcula-se t' , o tempo necessário para ocorrer o mesmo recalque parcial caso a carga

fosse aplicada instantaneamente, através da equação (9);

iii) Calcula-se a porcentagem média de adensamento $U(t')$;

iv) Calcula-se o recalque parcial $r(t)$ utilizando a equação (13).

O cálculo das áreas em cada instante de tempo pode ser resolvido facilmente por meio de planilhas eletrônicas. Para o instante t da Figura 5, calculam-se as áreas AEF, DEFG e BCDG. A soma destas áreas resulta na área real até o tempo t , enquanto a área máxima é o produto entre o tempo t e a carga q .

Embora sejam figuras geométricas diferentes, a área sempre poderá ser calculada por meio da fórmula da área de um trapézio: média entre as bases vezes altura. Neste caso, as bases são as cargas inicial e final de cada polígono e a altura é o intervalo de tempo. Os retângulos terão a base maior igual à menor e os triângulos terão a base menor nula.

4 CASO ANALISADO

4.1 Descrição do aterro

O método foi aplicado para reproduzir a curva recalque vs tempo de um aterro construído sobre depósito argiloso, situado às margens do rio Sarapuí, na Baixada Fluminense, Rio de Janeiro. Este aterro fez parte de um amplo projeto de pesquisa, realizado em meados dos anos 70 até início dos anos 90. Deste participaram a COPPE/UFRJ, a PUC-Rio e o DNER/IPR (Ortigão, 1980). Dentre os diversos estudos na área, foram construídos 2 aterros experimentais instrumentados. O Aterro I foi levado à ruptura em 1977 (Ortigão, 1980). O Aterro II, que serviu de base para estudo dos recalques naquele depósito, teve sua execução iniciada em 1978 (DNER/IPR, 1984) e é o objeto de estudo deste trabalho.

A Figura 6 apresenta o perfil da região. A espessura de argila mole no local é da ordem de 11 metros, assente sobre areia fina. Os valores de N_{SPT} são praticamente nulos em toda a camada argilosa, à exceção de uma crosta mais resistente. O nível d'água coincide com a superfície do terreno.

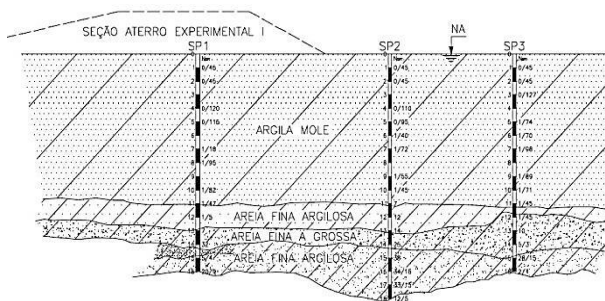


Figura 6. Perfil da área em estudo às margens do Rio Sarapuí (adaptado de Ortigão, 1980).

Almeida et. al. (2005) fizeram uma compilação de dados provenientes dos estudos na região, como mostra a Figura 7. É possível notar que o peso específico do solo é extremamente baixo, da ordem de 13 kN/m^3 . Os valores de C_c variam de 1,5 a 3,0, enquanto a razão $C_c/(1+e_0)$ é aproximadamente constante, igual a 0,4. O OCR é elevado próximo à superfície, mas logo cai para valores entre 1,5 e 2,0. De acordo com Lima (2007), o coeficiente de adensamento (c_v) varia de $3,0 \times 10^{-8}$ a $10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$.

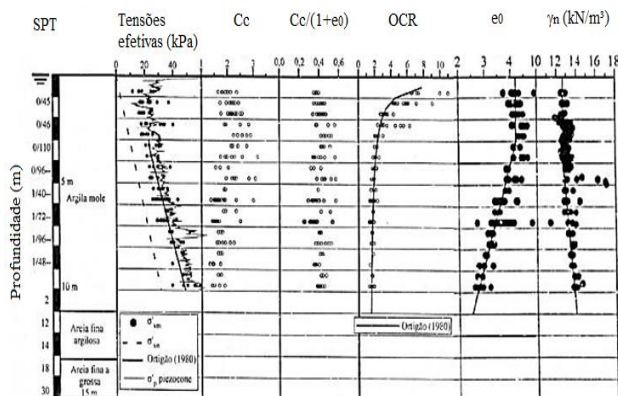


Figura 7. Parâmetros da argila do Sarapuí (Almeida et. al., 2005).

O presente estudo será feito na seção A, construída sem drenos verticais, cuja geometria está apresentada na Figura 8. Nesta região a camada argilosa possui espessura de 10,5m. O aterro, com peso específico de $19,3 \text{ kN/m}^3$, atingiu 1,79m de altura. Foram instaladas três placas de recalque (indicadas pela letra R na Figura 8) e um extensômetro magnético vertical (indicado pelas letras EM), dispostos no eixo do aterro (DNER/IPR, 1984). As leituras se estenderam por 41 meses.

A Tabela 1 mostra as etapas de construção do aterro e a Figura 9 mostra esta relação no tempo, com as indicações do total de dias decorridos após cada etapa. Foram necessários 334 dias para que a construção do aterro fosse finalizada.

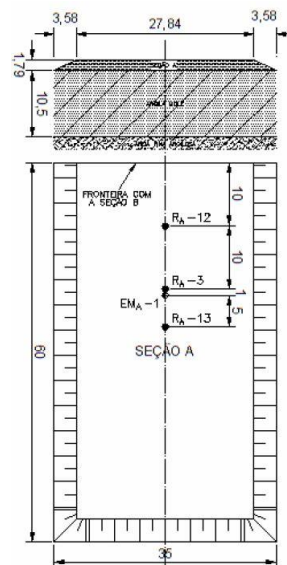


Figura 8. Seção G do Aterro Experimental II e localização das placas de recalque (adaptado de DNER/IPR, 1984).

Tabela 1. Sequência construtiva do aterro.

Etapas	Duração (dias)	Altura (m)
1	25	0,70
2	30	0,00
3	16	0,32
4	214	0,00
5	1	0,37
6	43	0,00
7	5	0,40
Total	334	1,79

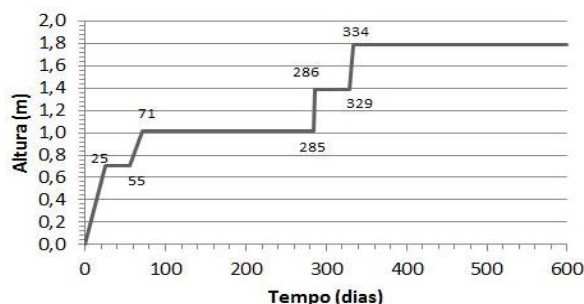


Figura 9. Altura de aterro vs tempo (adaptado de DNER/IPR, 1984).

4.2 Aplicação do Método

O aterro foi aproximado por uma seção retangular de largura 31,42m, que, para uma

altura de 1,79m, resulta numa sobrecarga de 32,94kPa. Para fins de cálculo de recalques, a camada mole foi dividida em 11 subcamadas, de metro em metro, para maior acurácia nos resultados.

O recalque primário foi determinado sob a consideração de carregamento finito. Sendo assim, o excesso de poropressão a ser dissipado foi calculado com base na equação de Skempton (1954). Os valores do parâmetro A foram obtidos de Ortigão (1980), enquanto o parâmetro B foi considerado igual a 1. Os acréscimos de tensão vertical e horizontal foram determinados através das equações da Teoria da Elasticidade (Poulos e Davis, 1974) para a condição de carregamento semi-infinito.

O recalque secundário foi estimado conforme a proposta de Martins (2005). O parâmetro OCR_{sec} foi definido a partir dos estudos de Feijó e Martins (1993).

Foram calculados o recalque primário igual a 1,17m e o secundário igual a 0,78m. Portanto, o recalque total foi igual a 1,95m.

Para descrever a evolução dos recalques considerando primário e secundário ocorrendo simultaneamente foi utilizada a teoria de Taylor e Merchant (1940). Foi utilizado um valor de c_v médio pertencente à faixa apresentada por Ortigão (1980), igual a $5,0 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$.

A Tabela 2 resume o cálculo das áreas para cada uma das 7 etapas da sequência construtiva do aterro. Cabe ressaltar que o traçado de uma curva recalque vs tempo representativa requer um número de pontos bastante superior. Neste trabalho foram utilizados 160 pontos, estendendo a curva até os 1000 meses.

A comparação entre a curva calculada, utilizando a proposta de cálculo apresentada neste trabalho, e as leituras de campo mostrou um excelente ajuste, como mostra a Figura 10.

A previsão para o fim dos recalques ($U = 90\%$) é de aproximadamente 300 meses ou 25 anos.

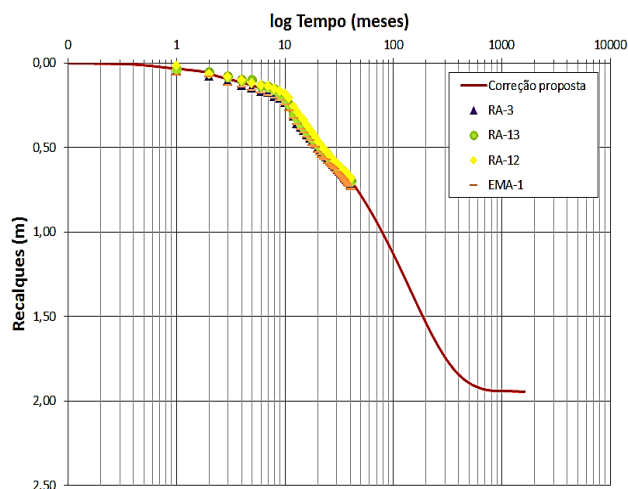


Figura 10. Comparação entre a curva recalque vs tempo corrigida pelo método proposto e as leituras de campo.

Examinando com detalhes as leituras de campo, apenas nos primeiros 30 meses, observa-se pela Figura 11 uma boa concordância entre a curva calculada e a instrumentação de campo. Nesta figura encontram-se também a curva correspondente ao carregamento instantâneo (sem correção) e a curva com a correção gráfica de Terzaghi-Gilboy.

É possível perceber que sempre que há um incremento de carga (novas etapas da construção do aterro) ocorre um processo de aceleração de recalque. Ao final da construção do aterro, a correção gráfica de Terzaghi-Gilboy se aproxima da curva calculada pelo método proposto neste trabalho. No entanto, há uma diferença significativa durante a construção, devido ao fato de a sequência construtiva não se ajustar a uma taxa de evolução constante.

Tabela 2. Cálculo das áreas para cada etapa de construção.

Etapa	Duração (dias)	Duração total (dias)	Tensão acrescida (kPa)	Tensão acumulada (kPa)	Área real acrescida (kPa x dias)	Área real acumulada (kPa x dias)	Área máxima (kPa x dias)	Razão entre as áreas	Razão entre as tensões
0	0	0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0%	0,0%
1	25	25	13,51	13,51	168,9	168,9	337,8	50,0%	39,1%
2	30	55	0,00	13,51	405,3	574,2	743,1	77,3%	39,1%
3	16	71	6,18	19,69	265,6	839,7	1397,7	60,1%	57,0%
4	214	285	0,00	19,69	4212,8	5052,5	5610,5	90,1%	57,0%
5	1	286	7,14	26,83	23,3	5075,8	7672,5	66,2%	77,7%
6	43	329	0,00	26,83	1153,6	6229,4	8826,1	70,6%	77,7%
7	5	334	7,72	34,55	153,4	6382,8	11538,7	55,3%	100,0%

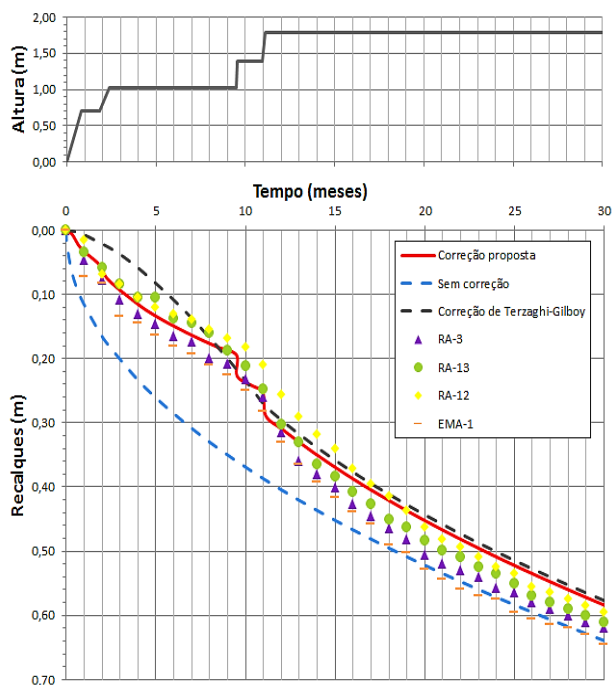


Figura 11. Comparação entre as várias curvas recalque vs tempo, as leituras de campo e a sequência construtiva.

Destaca-se que outros fatores que podem afetar a curva de recalque no tempo, tais como a submersão do aterro e as grandes deformações (Martins e Abreu, 2002). No entanto, como a influência desses efeitos se dá com maior intensidade nos 50% finais do processo de adensamento e o foco deste trabalho é o trecho inicial da curva, optou-se por negligenciá-los.

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver um método para consideração da sequência construtiva de um aterro na curva recalque vs tempo.

O método proposto é uma extensão de método gráfico de Terzaghi-Gilboy. Tem como vantagens poder ser utilizado em qualquer tipo de sequência construtiva e ser facilmente programado em planilhas eletrônicas, dispensando o trabalho gráfico.

A proposta foi aplicada a um caso histórico e mostrou reproduzir satisfatoriamente os dados de instrumentação de campo, mesmo para o período de construção. O método gráfico de Terzaghi-Gilboy não obteve o mesmo êxito no trecho inicial, pois a sequência construtiva não se assemelhava a uma reta.

Por fim, o método proposto consegue se ajustar adequadamente aos instantes em que há aceleração de recalque causada por novos incrementos de carga.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Capes pelo apoio financeiro ao projeto.

REFERÊNCIAS

- Almeida, M. S. S.; Marques, M. E. S.; Lacerda, W. A.; Futai, M. M. (2005). Investigações de campo e de laboratório na argila de Sarapuí. *Solos e Rochas*, v. 28, p. 3-20.
- Da Mota, J. L. C. P. (1996). *Estudo do Adensamento Unidimensional com o Carregamento Crescente com o Tempo*, Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- DNER/IPR (1984). *Relatório sobre a pesquisa de aterro sobre solos compressíveis – 2ª Fase – Aterro II sobre diversos tipos de elementos drenantes verticais*, DNER, Rio de Janeiro, Brasil, 104 p.
- Feijó, R. L., Martins, I. S. M. (1993). Relação entre Compressão Secundária, OCR e K₀, *COPPEGEO 93 – Simpósio Geotécnico em Comemoração aos 30 Anos da COPPE/UFRJ*, Rio de Janeiro, pp. 27-40.
- Martins, I. M. & Abreu, F. (2002). Uma Solução Aproximada para o Adensamento Unidimensional com Grandes Deformações e Submersão de Aterros. *Solos e Rochas*, 25, 3-14.
- Martins, I. S. (2005). Palestra proferida no Clube de Engenharia. Rio de Janeiro. Não publicada.
- Ortigão, J. A. R. (1980) *Aterro experimental levado à ruptura sobre argila cinza do Rio de Janeiro*, Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 715p.
- Pinto, C.S. (2006). *Curso Básico de Mecânica dos Solos*. 3ª ed. São Paulo, SP: Oficina de Textos.
- Poulos, H.G., Davis, E.H. (1974). Distributed Loads on the Surface of a Semi-Infinite Mass, *Soils and Rock Mechanics*, pp. 36.
- Schiffman, R. L. (1958). Consolidation of Soil Under Time Dependent Loading and Varying Permeability, in *Proc. Highway Research Board*, Vol. 37, pp. 584–615
- Skempton, A.W. (1954) The Pore Pressure Coefficients A and B. *Geotechnique*, 4, 143-147.
- Taylor, D. W., Merchant, W. (1940). A Theory of Clay Consolidation Accounting for Secondary Compression, *Journal of Mathematics and Physics*, Vol. 19, N° 3, pp. 166-185.
- Terzaghi, K., Frölich, O. K. (1936). Theorie der Setzung von Tonschichten, *F. Deutsche*, Viena, Austria.
- Taylor, D.W., 1942. Research on consolidation of clays. *Dept. of Civil and Sanitary Eng., M.I.T.*, Ser. 82, 147 pp.