

A INFLUÊNCIA DA COMPRESSIBILIDADE E ADENSAMENTO NO RECALQUE

Luana Queiroz Rocha¹

Charles William Rezende Moreira²

Dhais Pereira do Nascimento³

Manoel Gomes Silva Filho⁴

Fernando Rezende Silva⁵

Resumo: Trata-se de pesquisa bibliográfica sobre compressibilidade e adensamento de solos. Buscando apresentar os principais objetivos, desde a metodologia e seus métodos para determinar no solo esses esforços, contudo se faz necessário uma abordagem sobre recalque que está ligado a essas condições, tendo em vista que em uma obra seja ela na área de infraestrutura ou civil se faz necessário o estudo para prevenir ao máximo essa patologia, todavia será abordado os tipos de recalques, suas causas e controle dos mesmos.

Palavras-Chave: Concreto. Patologia. Solo.

Introdução

Conhecer as propriedades do solo é fundamental para a engenharia civil, pois praticamente tudo que se constrói depende de uma fundação sólida, resistente e não moldável, porém, temos algumas características do solo que são pertinentes a solidez da estrutura, como um dos principais fatores temos o recalque. O recalque é ocasionado pelo excesso de cargas no solo, onde ocorre o rebaixamento da estrutura seja ele uniforme ou não, levando a ocasionar o afundamento da edificação quando uniforme, ou trincas, fissuras e rachaduras quando há um recalque diferencial. O recalque está ligado basicamente a duas condições do solo, quais são a compressibilidade e o adensamento, e essas duas condições trabalham juntas, a compressibilidade é o processo onde ocorre a retirada dos vazios presentes no solo através da compactação dando assim uma maior estabilidade ao terreno e o adensamento trabalha

¹ Luana Queiroz Rocha – Cursando 7º Período de Engenharia Civil – e-mail: luanarocha@hotmail.com

² Charles William Rezende Moreira – Cursando 7º Período de Engenharia Civil – e-mail: charleswilliam06@hotmail.com

³ Dhais Pereira do Nascimento – Cursando 7º Período de Engenharia Civil – e-mail: dhaispereira15@gmail.com

⁴ Manoel Gomes Silva Filho – Cursando 7º Período de Engenharia Civil – e-mail: manoelfilho@hotmai.com

⁵ Fernando Rezende Silva – Professor Centro Universitário de Mineiros (UNIFIMES), graduação em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás (2015). – e-mail: fernandorsilva@unifimes.edu.br

com o mesmo princípio de dar estabilidade ao solo, mas com a retirada do excesso de água entre as partículas. Com o correto tratamento dessas propriedades é possível garantir que não haja problemas de recalque da fundação, com base na carga que será adicionada ao solo, evitando assim custos adicionais futuros para a reparação do mesmo.

Sendo assim a presente revisão tem os seguintes objetivos:

Objetivo geral:

Identificar a importância do estudo da compressibilidade e adensamento de solos.

Objetivos Específicos:

- Conceituar compressibilidade, adensamento e métodos de ensaio
- Identificar a influência dessas condições no recalque do solo
- Formas de se prevenir o recalque

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Compressibilidade dos Solos

A Engenharia Civil se subdivide em várias áreas, e qualquer que seja ela está ligada de uma forma ou de outra com o solo, construções civis, obras de arte, pavimentação, barragens dentre outros.

Um dos maiores riscos que se pode correr no campo de Engenharia de Construções é iniciar uma obra sem um conhecimento tão perfeito quanto possível do terreno (rocha ou solo) de fundação (CAPUTO,1988).

O solo é um mineral formado pela decomposição de rochas, tendo em vista que é constituído pelo agrupamento de partículas sólidas com vazios entre si que podem ser completado total ou parcial por água (CAPUTO,1988).

Em qualquer que seja a obra, se faz a necessidade de uma sondagem do solo para se determinar a característica do mesmo e assim tomar as devidas ações, tendo em vista que em cada obra há determinado o quanto de carga o terreno deve suportar e assim tentar minimizar as deformações do solo causada pela variação das tensões aplicadas.

A associação das tensões aplicadas com as deformações define compressibilidade, todavia uma característica dos solos de serem passíveis a compressão.

A compressibilidade é uma das principais causas do recalque, contudo a diminuição do volume através de cargas aplicadas; em particular, um caso de grande importância prática é aquele que se refere à compressibilidade de uma camada de solo, saturada e confinada lateralmente. Tal situação condiciona os chamados recalques por adensamento, que alguns autores preferem denominar recalques por consolidação. (CAPUTO,1988).

Diversos fatores condicionam a compressibilidade dos solos, tais como: tipo de solo, grau de saturação e estrutura do solo. Vai variar de solo para outro, sua compressibilidade pois determinados tipos de solos, possui uma facilidade maior de deslocar suas partículas, as estruturas dos solos se observa o índice de vazios que está diretamente ligado a compressibilidade do solo.

O grau de saturação está ligado a quantidade de água contida nos solos, sendo discrepante a diferença da compressibilidade dos solos com vazios preenchidos de ar e água, todavia que a compressibilidade do ar pode interferir na magnitude das deformações.

O método para a determinação da resistência da compressão do solo, é determinado pela NBR 12770.

Esta Norma prescreve o método para a determinação da resistência à compressão, não confinada (ou simples), de corpos-de-prova constituídos por solos coesivos, mediante a aplicação de carga axial, com controle de deformação. Tais corpos-de-prova podem ser indeformados ou obtidos por compactação ou mesmo por remoldagem (TÉCNICAS, Solo coesivo - Determinação da resistência à compressão não confinada, 1992).

O solo utilizado para a realização desse método, deve possuir características ligantes bem definidas (coesão), para que quando realizado a moldagem do corpo de prova, após receber as cargas da compressão, não haja a expulsão da água e que ao se desenformar, não venha a se desfazer a modelagem. Este teste é indicado para solos de granulometria “fina”, tais como é o caso do silte e da argila.

Os equipamentos utilizados para este teste, são basicamente uma prensa hidráulica, ou qualquer outra que atenda as exigências da norma, um paquímetro para aferimento das dimensões do corpo de prova uma balança, com precisão de 0,1% em relação a

massa total do CP, cronometro e um extrator de amostras. Após a realização do ensaio descrito na NBR 12770 e de posse das medidas, deve ser realizado os seguintes cálculos:

Calcular a deformação axial específica,

ϵ para uma dada carga aplicada, como segue:

$$\epsilon = (\Delta H/H) 100$$

Onde:

ϵ = deformação axial específica, em %

Δf = variação da altura do corpo-de-prova, obtida pelo indicador de deslocamento, em mm

H = altura inicial do corpo-de-prova, em mm

Calcular a área da seção transversal média, A, para uma dada carga aplicada, como segue:

$$A = (100A_i) / (100 - \epsilon)$$

Onde:

A_i = área da seção transversal média inicial, em m²; e

ϵ = deformação axial específica, correspondente a esse carregamento, em %

5.3.3

Calcular a tensão de compressão, q, para uma dada carga aplicada, como segue:

$$q = P/A$$

Onde:

P = carga aplicada, em kN

Elaborar um gráfico mostrando a relação entre a tensão de compressão (ordenadas) e a deformação axial específica (abscissas).

Caso se tenha realizado também o ensaio sobre corpo-de-prova remoldado, calcular a sensibilidade, ST, como segue:

$$ST = q_u (\text{corpo-de-prova indeformado}) / q_u (\text{corpo-de-prova remoldado})$$

Após obtido os resultados dos cálculos deve ser o construído o gráfico da tensão x deformação, assim como imagens do corpo de prova rompido descrevendo as características físicas e táteis antes e depois do processo.

O solo é constituído por solo, ar e água, sendo assim a evaporação pode diminuir a quantidade de água, e a compressão do solo pode provocar a saída de água e ar, reduzindo o volume de vazios, alterando a resistência do solo e contribuindo para a ocorrência de recalque (SANTOS, 2015).

Recalque

O Recalque consiste na deformação do solo quando é submetido a esforços, provocando uma movimentação e dependendo da intensidade pode resultar em sérios danos a estrutura (REBELLO, 2008).

Conforme a magnitude do recalque em uma obra pode acarretar na decadência, porém umas simples trincas ou rachaduras podem ser solucionadas, se faz necessário então o estudo dos tipos de recalques assim como formas de solucionar e prever tais problemas.

Quando um elemento de fundação se desloca verticalmente, é configurado um recalque absoluto. A diferença entre os recalques absolutos de dois elementos da fundação é denominada recalque diferencial. O recalque diferencial impõe distorções à estrutura que pode acarretar em fissuras (Alonso, apud SANTOS, 2014).

O recalque é subdividido em três classificações conforme sua carga estática, sendo eles: por deformação elástica, escoamento lateral e adensamento.

Na deformação elástica o recalque ocorre imediatamente após a aplicação de esforços e são maiores em solos não argilosos, ou seja, coesivos. (REBELLO, 2008)

Segundo Rebello (2008) o recalque por escoamento lateral tende a ocorrer com mais frequência em solos não coesivos, tendo em vista que seu deslocamento se dá do centro para a lateral, com transição de solos das regiões mais solicitadas para as 55 menos solicitadas.

A deformação por adensamento ocorre pela diminuição no volume aparente do maciço de solo, causada pelo fechamento dos vazios deixados pela água expulsa em função da pressão da fundação aplicada ao solo (SANTOS, 2014).

Segundo Rebello (2008), o recalque por adensamento pode ser estabilizado quando toda a água entre os grãos de solo é expulsa, não mais havendo diminuição do volume do solo. Se o recalque não afetou a estrutura, o problema passa a ser apenas vedar a trinca na alvenaria.

Recalques por adensamento ocorrem em solos de grão fino, que possuem baixo coeficiente de permeabilidade, normalmente saturados ou próximos à saturação, sendo associados ao tempo de ocorrência e à redução permanente do índice de vazios (BRANDI, 2012).

Com intuito de se determinar a magnitude dos recalques através do estado temporal de tensão efetivas devem ser identificadas, se for submetida a pressão superior a pressão geostática é denominada adensada caso contrário, pré-adensada, todavia essas condições tem uma relação direta com a quantificação do recalque (Terzaghi, Peck apud BRANDI, 2004).

Adensamento

Normatizado pela ABNT NBR 12007, o ensaio de adensamento tem por objetivo determinar as características do solo quando submetido a pressões, simulando o que ocorre quando a fundação transfere sua carga ao solo.

Segundo Santos (2015) o ensaio consiste em comprimir em um aparelho (edômetro) uma amostra do solo, confinada entre duas pedras porosas e lateralmente por um anel rígido. Uma carga vertical é aplicada e gradualmente aumentada seguindo uma escala de tempo. A cada aumento da carga é anotado o valor das deformações, e com esses valores determinar o índice de vazios em cada estágio de carga aplicada.

Como resultado de um ensaio de adensamento, traçam-se também as curvas tempo-recalque para cada um dos estágios de carregamento. Essas curvas permitem a determinação do coeficiente de adensamento e permeabilidade do solo (CAPUTO, 1988).

O adensamento ocorre através do excesso de cargas no solo, fazendo com que o mesmo venha a perder água entre suas partículas, ou seja a poro-pressão ou pressão neutra causando o afundamento de estruturas, também conhecidas como recalque. Para o teste de adensamento é utilizado a NBR 12007 onde se encontra descrito o passo a passo para a realização do mesmo, no intuito de evitar problemas futuros em relação ao mesmo.

Esta Norma prescreve o método de determinação das propriedades de adensamento do solo, caracterizadas pela velocidade e magnitude das deformações, quando o solo é lateralmente confinado e axialmente carregado e drenado (TÉCNICAS, MB-3336-Solo - Ensaio de adensamento, 1990).

Para realização do ensaio são necessários materiais tais como: cronômetro, aparador de amostras, extrator de amostras, pedra porosa, célula de adensamento e anel de adensamento, e realizado conforme as Técnicas, MB-3336-Solo a seguir:

Aplica-se o primeiro estágio de carregamento que funciona como uma carga de ajuste, ou pré - carga, que quase nunca fornece resultados satisfatórios para cálculo de parâmetros. Este primeiro carregamento pode ser de 0,0625 kgf/cm² (para solos moles) a 0,125 kgf/cm² (para solos médios a rijos).

Após deixar o primeiro carregamento sobre o solo por tempo suficiente para estabilização das deformações (pode ser até menos que 24 horas), aplica-se o primeiro incremento de carga e simultaneamente iniciam-se as leituras no extensômetro nos tempos indicados na seguinte sequência:

0, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 15, 30 minutos, 1, 2, 4, 8, 24 horas.

A duração dos incrementos de carga pode ser variável para mais ou para menos de 24 horas. Incrementos que durem o tempo suficiente para que se efetive o final do primário também são permitidos, basta que se acompanhem as deformações pela construção gráfica de Taylor e então realizar o próximo carregamento assim que ocorrer a leitura correspondente ao final do primário.

Devem ser apresentados os resultados e informações, indicados a seguir:

Curva índice de vazios, em função do logaritmo da pressão aplicada acompanhada das seguintes indicações:

- a) índice de vazios inicial;
- b) pressão de pré-adensamento, processo empregado
- e) índice de compressão, quando determinado;
- d) condição de ensaio (sem inundação ou inundado, neste caso indicando a pressão de inundação).

Curvas de adensamento (altura do corpo-de-prova em função do logaritmo do tempo) para todos os estágios de pressão.

Curva do coeficiente de adensamento, em função do logaritmo da pressão média no estágio, com indicação no eixo das ordenadas, o valor do índice de vazios correspondente à pressão de pré-adensamento método empregado para a determinação do coeficiente de adensamento.

Curva logaritmo do coeficiente de permeabilidade, em função do índice de vazios, para os ensaios em que foi feita a determinação do coeficiente de permeabilidade (TÉCNICAS, 1992).

Com intuito de trabalhar com adensamento Terzaghi desenvolveu uma teoria embasada nas seguintes hipóteses: solo isotrópico, completamente saturado; grãos minerais e água incompressíveis; validade da lei de Darcy; o coeficiente de permeabilidade vertical k_z permanece constante durante o adensamento; há uma única relação linear entre índice de vazios e tensão vertical efetiva que permanece constante durante o adensamento; as deformações do solo são infinitesimais.

A teoria de Terzaghi surgiu no ano de 1943, a partir dos estudos de Prandtl (1920), relacionado a rupturas plásticas por puncionamento dos metais. Baseado nesses estudos Terzaghi desenvolveu uma teoria para cálculos da capacidade de cargas de fundações superficiais e diretas.

De acordo com essa teoria, quando um solo se rompe por ser submetido à uma tensão, sucessivamente o solo posterior a fundação forma o que chamamos de "Cunha", é o lugar onde a superfície a ruptura a iguala -se ao um trecho reto. Em seguida, por forma de

puncionamento, que é onde ocorrerá um deslocamento de aspecto vertical da Cunha ligado a fundação, em função desse deslocamento da Cunha ocorrerá uma força no solo gerando das zonas de cisalhamento: zona I, zona II. A zona I é definida pela superfície e potencial e ruptura, tem a forma de uma espiral logarítmica, e está sujeita ao estado de tensões passivas de Rankine.

No caso das tensões passivas Rankine, a tendência da Cunha, é resistir ao movimento da estrutura, ao longo de toda a superfície e ruptura, por sua resistência ao cisalhamento (M. Marangon 2009).

Na zona II é definida pela superfície potencial de ruptura que apresenta um trecho reto. A partir dos estudos acima Terzaghi proporcionou uma fórmula para calcular a capacidade dos solos:

$$\gamma_r = C * N_C * S_C + 0,5\gamma * B * N_y * S_y + q * N_q * S_q$$

Onde:

γ_r = tensão de ruptura do solo

C = coesão efetiva do solo

γ = peso específico do solo

q = tensão efetiva do solo, na cota de apoio da fundação ($q = \gamma * h$)

N_c , N_y e N_q = fatores de cargas obtidas e função dos ângulos de atritos dos solos

S_c , S_y , S_q = fatores de forma

Considerações Finais

A presente pesquisa utilizou-se a metodologia de revisão bibliográfica que proporcionou facilidade na execução e respostas nos questionamentos efetuados no conteúdo deste projeto. A partir da pesquisa constatou-se a importância de se fazer o estudo do solo, através de sondagens pois assim é possível classificar alguns níveis, como porosidade, granulometria, saturação, entre outras características quais são fundamentais para que se possa aplicar os testes de compressibilidade e adensamento de forma adequada, visto que essas duas condições estão diretamente ligadas aos recalques das estruturas, que se não tratada de forma sistemática pode acarretar em problemas estruturais de pequeno, médio e grande porte, custos financeiros elevados para a reparação quando possível, desconforto para quem reside em habitações do tipo e em seu pior caso a necessidade de demolição da estrutura, tendo em vista tantas problemáticas do não tratamento adequado do solo, é visível que métodos de calcular o adensamento e compressibilidade do solo pode ajudar a prever patologias.

Referências

ABNT, NBR. 12007: ensaio de adensamento unidimensional. Rio de Janeiro, 1990. 13p. 2013.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. MB-3336 – Solo – Ensaio de adensamento unidimensional. Rio de Janeiro, 1990.

BRANDI, Jose Luiz Gonçalves. **Previsibilidade e controle de recalques em radiers sobre solo mole.** 2004. Disponível em: < <http://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/27921/R%20-%20D%20-%20JOSE%20LUIZ%20GONCALVES%20BRANDI.pdf?sequence=1> > Acesso em: 02 de março de 2018.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações.** 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. I, 1988. Disponível em: < <https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2015/05/mecanica-solos-fundamentos-vol1-6ed-caputo.pdf> > Acesso em: 20 de março de 2018.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações.** 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 2, 2012

MARANGON, Professor M. **Capacidade de carga dos solos.** 2013. Disponível em: < <http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/09-MS-Unidade-07-Capacidade-de-Carga-2013.pdf> > Acesso em: 03 de abril de 2018.

MARANGON, Professor M. **Empuxos de terra.** 2009. Disponível em: < http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/ms2_unid06.pdf > Acesso em: 15 de março de 2018.

REBELLO, Y. C. P. **Fundações: guia prático de projeto, execução e dimensionamento.** 4. ed. São Paulo: Ziguarte, 2008. Disponível em: < <http://wiwin.site/descarregar/8585570105-fundacoes-guia-pratico-de-projeto-execucao-e-dimensionamento> > Acesso em : 20 de março de 2018.

SANTOS, Guilherme Veloso dos. **Patologias devido ao recalque diferencial em fundações.** 2015. Disponível em: < <http://repositorio.uniceub.br/handle/235/6389> > Acesso em: 02 de abril de 2018.

