

Soft Soil Brazilian Review

**A interação
solo-fundação
nunca esteve tão
em evidência.**

Pág. 03

PROGRAMA

3 RECALQUES CAUSADOS PELA CONSOLIDAÇÃO DO SOLO MOLE E A INTERAÇÃO SOLO-ATERRO OU SOLO-FUNDAÇÃO.

10 A INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA E A UTILIZAÇÃO DE FUNDAÇÃO DIRETA COM RADIER.

20 - CONSULTA

A INTERAÇÃO SOLO-FUNDAÇÃO E A CAPACIDADE DE ESTIMAR A MOVIMENTAÇÃO DE UMA CONSTRUÇÃO, QUANDO HÁ SOLO COM GRANDE DEFORMABILIDADE.

26 HETEROGENEIDADE DO SOLO, FUNDAÇÃO DIRETA E RECALQUES DIFERENCIAIS. O QUE PRECISAMOS SABER SOBRE A INTERAÇÃO?

EDITORIAL

Interação solo-construção é a interdependência do comportamento mecânico entre ambos. A aplicação de uma carga em sua fundação, provoca deformações no solo e, paralelamente, uma redistribuição de tensões em suas peças estruturais, ambas dependentes das suas rigidezes. O conhecimento do estudo das tensões no contato solo-fundação, torna-se necessário, considerando-se o dimensionamento realista da construção e o crédito no limiar da capacidade de carga do solo. Este estado de tensões é susceptível de ser fortemente modificado, na medida em que o solo deforma, razão pela qual utiliza-se modelagem como processo de idealização dos projetos da vida real, onde confi-

gura-se sua geometria, propriedades do solo e o carregamento, afim de torná-los passíveis de análise e, portanto, de avaliação. A rigidez do solo de fundação depende de sua condição geotécnica, e qualquer movimento neste solo pode promover danos na construção, e este nível de sinistro depende da interação solo-fundação, razão pela qual necessita-se de seu domínio para estimar a transmissão de qualquer processo deformativo. Na edição anterior, apresentamos informações acerca desta interação. Nesta edição, procuramos reforçar outros conceitos necessários.

Boa leitura.



SEÇÕES



A interação solo-fundação diz respeito ao estudo dos efeitos recíprocos entre o solo e a construção, seja estradas, obras de arte, edificações, barragens, etc, o que implica em considerar a resistência e a deformabilidade do solo de fundação, influenciado por fatores como tipo, disposição, carregamento e etc, desempenhando papel crucial na estabilidade e durabilidade da construção. Entender esta interação é essencial para projetar de forma segura e eficiente, minimizando riscos de deformações e ruturas.



RECALQUES CAUSADOS PELA CONSOLIDAÇÃO DO SOLO MOLE E A INTERAÇÃO SOLO-ATERRO OU SOLO-FUNDAÇÃO.

Figura 1 – Neste empreendimento, com cerca de 10.000m², tendo presença de solo argiloso orgânico mole em sua fundação, colocou-se um espesso aterro e realizou-se estaqueamento para as paredes e pilares das construções. Todo o pavimento comum ficou apoiado no aterro sobre o solo mole. Ocorreram dois tipos de recalque diferencial. O primeiro, com bacias ao longo da área, evidenciando a heterogeneidade deformativa do solo mole. A segunda, o recalque do piso em relação as estacas.

A combinação de vários efeitos diferentes, nenhum verdadeiramente linear, onde alguns são dependentes do tempo, torna a interação solo-construção extremamente complexa mas necessária. Desta forma, não é possível considerar nenhum efeito separadamente dos demais, sobrepondo-os, sem ocorrer erros e aproximações. Alguns destes fatores são:

- O recalque imediato, provocado por cada incremento de carga, à medida em que a estrutura cresce;
- Grande quantidade do recalque, pertinente à consolidação (primário e secundário), que se sobrepõe ao recalque imediato, pode ocorrer ainda durante a construção;
- A gradual alteração da rigidez da estrutura, seja geotécnica ou não, a medida em que a cons-

trução avança;

- A redistribuição das cargas e tensões, no corpo da estrutura, devido ao recalque diferencial.

Uma boa estratégia de trabalho, objetivando-se compreender estes proble-

mas, identificando-se seus princípios, é isolando os fatores citados, considerando-os separadamente, da maneira mais simples possível, sempre ciente das aproximações introduzidas. Desta forma, dever-se-á considerar, primeiro, a questão do recalque imediato para, a

Visão em corte do solo mole podendo apresentar textura e cor escura

ou cinzenta. Para torná-lo rijo faça
MELHORAMENTO DE SOLO

Solicite informações
www.softsoilbrazilianreview.com.br

seguir, o de longo prazo (primário), tendo noção de sua extensão, devido a importante influência do problemático recalque diferencial, com sua velocidade e intensidade. Problemas inerentes, ao se estimar os recalques total e diferencial, são apresentados a seguir, com um exemplo de um radier sobre solo argiloso.

A proporção do recalque imediato para o primário.

Genericamente, poder-se-á fazer distinção entre deformações e os danos que possam ocorrer em uma construção, ou seja, anomalias nos acabamentos, revestimentos, etc, e lesões na estrutura propriamente. De um modo geral, observa-se que é menos frequente a ocorrência de grandes danos estruturais, provenientes de deformações resultantes do recalque imediato e do primário mas, sim, estragos de caráter “arquitetônico”, que podem ou não prejudicar a capacidade de serviço da construção. Observa-se, de um modo geral, a ocorrência de um pequeno recalque imediato, se os acabamentos forem

eficiente de permeabilidade. Contudo, dever-se-á fazer uma distinção clara entre dois tipos de solos argilosos. Os sobreconsolidados que, para alterações de tensões razoavelmente pequenas, comportam-se essencialmente como solo estável, mesmo que suas propriedades elásticas não sejam homogêneas e anisotrópicas. Já os normalmente consolidados não têm este comportamento. Fica claro, portanto, que sempre haverá problemas sérios de recalque diferencial em construções assentadas em solos argilosos normalmente consolidados, razão pela qual torna-se necessário proceder o melhoramento do solo com geoenrijecimento.

Efeitos das propriedades do solo para a estimativa do recalque.

Até o advento dos computadores, praticamente todos os cálculos do recalque baseavam-se em duas suposições:

- A distribuição das tensões de Boussinesq;

- A distribuição da tensão total vertical não alterada durante o processo de consolidação.

O cálculo por elementos finitos permite que modelos mais realistas de comportamento do solo e condição de contorno, sejam adotados para qualquer problema específico. Os principais avanços foram na representação dos solos argilosos sobreconsolidados ou de solos arenosos compactos, como materiais elásticos sem homogeneidade, anisotropia ou ambos. A forma da não homogeneidade, geralmente consiste em um aumento linear do módulo elástico (o módulo elástico, módulo de elasticidade ou módulo de Young de um solo é um parâmetro elástico comumente utilizado na estimativa do recalque, a partir das cargas existentes) com a profundidade, e o tipo de anisotropia tem sido o da simetria em torno do eixo vertical, ou seja, cruzada ou ortotrópica.



Figura 2 – A questão do monitoramento geotécnico, em áreas industriais, permite detectar sua intensidade e velocidade, de modo a corrigi-los.

realizados antes que toda a carga morta seja imposta. Torna-se interessante, estabelecer, se possível, a presença do recalque total, que ocorra antes que os acabamentos sejam aplicados à construção. Se o projeto permitir, dever-se-á providenciar que esta proporção seja a maior possível, e dependerá das propriedades do solo, sendo preocupante quando o solo for argiloso, com baixo coe-



A solotest equipa os melhores laboratórios de solos, concreto e misturas asfálticas da América Latina, com equipamentos próprios e de seus parceiros internacionais.



1.014.250 - Extrator Shelby de Bancada



1.055.001 - Prensa de Adensamento



1.022.250 - Prensa CBR / Marshall Digital Microprocessada



4.100.030 - Medidor de Densidade de Solo Não Nuclear (SDG)



4.100.300 - LWD "Light Weight Deflectometer"



4.688.020 - Sistema hidráulico para realização de ensaio CPT em diversos tipos de Solos



4.100.035 - Penetrômetro Dinâmico Eletrônico para Solos Panda

Rua Conselheiro Carrão, nº 275
Bela Vista - SP - Brasil - CEP 01328-000
Tel: (11) 3289-0211
www.solotest.com | solotest@solotest.com



Figura 3 – Áreas industriais com uma diversidade de soluções para fundações. A necessidade de se fazer a interação solo-fundação, para se evitar recalques diferenciais.

A interação visco-elástica solo-aterro ou solo-estrutura.

O conhecimento da interação solo-estrutura (ISE) cada vez mais torna-se importante para projetos e, para o controle de custos e riscos na construção de qualquer obra. Há diversos estudos do comportamento do recalque imediato, baseado na teoria elástica, com a proposição de vários métodos que, apenas, assumem o recalque imediato do solo. Contudo, considerando-se solos argilosos moles, o fenômeno da consolidação nos leva a um comportamento mais complexo para a ISE, provocado pela deformação lenta, fazendo com que estes casos sejam considerados

pela teoria da consolidação. Neste contexto, há diversos métodos manuais para estimar o recalque primário da consolidação, mas com suposições limitadas, o que impede de serem utilizados em trabalhos mais complexos. Emprega-se, com frequência, uma formulação com elementos finitos viscoelástico tridimensional, para estudar a ISE, considerando-se as respostas dependentes do tempo para consolidação e fluência. Torna-se evidente, então, que a simulação numérica da ISE, considerando-se longos prazos é, uma excelente ferramenta, sempre tendo em mente os exemplos clássicos da Torre de Pisa, construções na cidade do México e os edifícios

à beira mar da cidade de Santos, submetidos a recalques da consolidação, com grandes deslocamentos. Recentemente foi apresentado uma metodologia de análise, para tratar o comportamento viscoelástico do solo, associado a efeitos estruturais não lineares, recorrendo-se a um processo iterativo para o acoplamento com métodos de elementos finitos (MEF) e de elementos de contorno (MEC). O MEF é utilizado para simular a não linearidade da estrutura, e o MEC, com a solução de Mindlin, é utilizado para calcular o deslocamento resultante da interferência entre bulbos de pressão no solo de fundação, ao invés do modelo de Winkler, que negligenciava a interação entre molas adjacentes, o que faz crescer erros na presença de solos moles. Para uma avaliação quase estática, dos deslocamentos e tensões, considerando-se uma longa duração, parametrizou-se o modelo reológico de Kelvin-Voigt. A construção de aterros e estruturas sobre solos moles pode ser verificada pela alteração da rigidez do solo, causado pela interação entre água e grãos. A carga da construção faz com que a água intersticial flua entre grãos, causando aumento ou excessos de

Tipos de Recalques

Se considerarmos apenas o solo, poder-se-á ter três tipos de recalques:

1- Recalque imediato

É a primeira variação ao nível do solo, em decorrência da ação das tensões impostas. Nesta etapa, o solo tem comportamento elástico;

2- Recalque primário

É a etapa de deformação, ocasionada pela ação do peso do aterro e/ou estrutura, sendo totalmente dependente do tempo;

3- Recalque secundário

É caracterizado pela variação volumétrica do solo, a partir de um outro mecanismo representado pelo deslocamento das partículas do solo.

Agora, se considerarmos apenas a estrutura, que foca nos efeitos causados, ter-se-á três tipos de recalque:

1- Recalque uniforme ou absoluto (ρ)

Dos males o menor, o processo deformativo da estrutura ocorre todo por igual, de forma que se tiver pouca intensidade torna-se difícil de detectá-lo. O solo responde de forma homogênea.

2- Recalque diferencial ($\Delta\rho$)

Essencialmente ocorre em solos com características heterogêneas, modificando-se ao longo de uma direção linear, fazendo com que um aterro ou uma edificação apresente desnivelamentos. É a diferença dos recalques entre dois pontos considerados.

3- Recalque distorcional (γ)

Nada mais é do que a relação entre o recalque diferencial e a distância (L) entre os dois pontos considerados. Ou seja:

$$\gamma = \text{tang } \theta = \Delta\rho/L$$

SOLICITE SEU **WEBINAR** E FIQUE POR DENTRO DE TODAS AS NOVIDADES DO **MEIO GEOTÉCNICO**

● **Conhecimento**

Mantenha-se atualizado em relação às tecnologias de melhoramento de solos moles

● **Comodidade**

Acesse a nossa plataforma de ensino à distância, em seu tablet, computador ou smartphone.

● **Feedback**

Tire todas as dúvidas com profissionais do mercado, gratuitamente.

Solicite seu Webinar através do número (21)99359-9105

Para mais informações, acesse: softsoilgroup.com.br

Ou envie um e-mail para: atendimento@softsoilgroup.com.br





Figura 4 – Grandes estruturas horizontais precisam da interação solo-fundação. Para evitar problemas com recalques.

tensões (poropressão no solo argiloso mole), extremamente perigosa para a estabilidade e deformabilidade do que está se construindo, seja uma estrada, talude ou uma edificação, devido a enorme dificuldade de drenagem, tornando o problema tempo dependente. É o problema do recalque primário da consolidação, extremamente complexo. Para complicar ainda mais, há o recalque secundário da consolidação, também conhecido como fluência, que sempre ocorre após a paralização do recalque primário (dissipação dos excessos de poropressão), estando o solo sob condição de tensões efetivas. Para a maioria dos solos, o processo de fluência é menos importante, pelo fato de que sua intensidade é bem inferior aos outros tipos de recalque. Por esta razão, é pouco considerado na maioria das análises, estabelecendo-se uma parcela em torno de 3 a 10% do recalque total do processo de consolidação. O mecanismo clássico do processo de recalque, em solos argilosos moles, assume que as partículas do solo e a água de seus poros é incompreensível. As alterações em seu volume, devem ser motivadas por alterações no índice de vazios, na medida em que a água flui pela massa do solo. Assim, a variação volumétrica é nula, no início do carregamento. Em solos não saturados, de forma característica, o recalque imediato mani-

fasta-se no início do carregamento e sempre antes de iniciar o mecanismo do recalque primário, desencadeado pelo princípio do processo da consolidação. O recalque imediato pode ser tratado numericamente, com aplicação da teoria da elasticidade, na qual o comportamento do solo é, simplesmente, representado pelo módulo de Young e pelo coeficiente de Poisson, ou ainda por métodos numéricos mais elaborados, considerando-se o comportamento elastoplástico do solo. Com relação ao coeficiente de consolidação, que determina a velocidade da dissipação dos excessos de poropressão é,

geralmente, determinado a partir da evolução do recalque, ao longo do tempo admitindo-se estratégias de carregamento. Para se conhecê-lo, poder-se-á utilizar os métodos da raiz quadrada do tempo e o do tempo logarítmico, ambos desenvolvidos a partir do ajuste de dados dos resultados experimentais da consolidação, visando ajustar os resultados experimentais à solução teórica. Embora se trabalhe com um coeficiente de consolidação constante, sabe-se que o índice de vazios e os coeficientes de compressibilidade e permeabilidade variam durante o processo compressivo, o que resulta em consequente variação. No entanto assume-se, geralmente, que estas variações não afetam substancialmente o resultado.

Modelando o solo para compreendê-lo. O conceito do solo viscoelástico.

Utiliza-se para descrever o comportamento mecânico do solo, que apresenta características intermediárias, entre solos puramente elásticos e viscosos, que exibem deformações dependentes do tempo e sensíveis à fatores como tensões aplicadas, velocidade de carregamento e umidade. Solos argilosos moles, sempre compressíveis, evi-



Figura 5 – A presença de argilas moles, no solo de fundação de estradas, necessita de um estudo prévio de interação solo-aterro. O melhoramento do solo, com geonrijecimento, costuma ser a melhor solução.

denciam comportamento dependente do tempo, incluindo com fluência. O conceito de viscoelasticidade, permite representar melhor esses fenômenos em análises geotécnicas. Em projetos de taludes, barragens, aterros e fundações é importante compreender o comportamento viscoelástico, essencial para prever deformações ao longo do tempo e evitar problemas de recalques. Com relação a taludes e margens fluviais, o comportamento viscoelástico influencia sua estabilidade ao longo do tempo, particularmente com a presença de solos moles. O modelo Kelvin-Voigt representa solos com componentes elásticos e viscosos em paralelo, útil para prever deformações instantâneas e dependentes do tempo. A aplicação do conceito de viscoelasticidade é, portanto, uma forma avançada de abordar a complexidade do solo, otimizando o desempenho de projetos geotécnicos específicos. O problema do comportamento da consolidação

unidimensional é resolvido com o conceito do solo viscoelástico, através da teoria da consolidação de Terzaghi, que incorpora o comportamento viscoelástico do solo, reconhecendo que além do fluxo da água dos poros, a deformação do solo também depende de fenômenos relacionados ao tempo. A consolidação viscoelástica combina a equação do fluxo da água com as equações constitutivas do comportamento viscoelástico do solo, com modelos como o de Kelvin-Voigt. Na maioria dos problemas de geomecânica, aplica-se o método dos elementos de contorno (MEC). Os procedimentos com o método de elementos finitos (MEF), diferenças finitas (MDF) ou com MEC, são aplicados extensivamente a mais de 40 anos, para resolver estes cenários a três dimensões. Uma das vantagens do MEC, é a redução da dimensão do problema, e o atendimento implícito da condição de radiação para domínios ilimitados, tornando-se o

preferido para cálculos de domínios infinitos ou semi-infinitos.

O caminho para a obtenção do recalque.

Há diversos estudos e trabalhos internacionais e nacionais, para prognóstico do recalque da consolidação pelo modelo de Kelvin-Voigt, aplicando-se a compatibilidade dos deslocamentos à estrutura levantada, seu corpo de fundação e à massa do solo por meio do MEF, acoplado ao MEC e a teoria da consolidação de Terzaghi. O método pode ser utilizado por qualquer outro sistema construtivo, que seja susceptível à recalques da consolidação. O MEC mostra-se interessante para modelar meios elásticos e viscoelásticos, com custo computacional consideravelmente menor, comparando-se a metodologia considerada com o solo convencional modelado por elementos finitos.



SOLO MOLE NO SEU PROJETO?
NÃO TRABALHE COM TÉCNICAS
ALTERNATIVAS OU ADAPTADAS

FAÇA MELHORAMENTO DE SOLO

MELHORAMENTO DE SOLOS MOLES É
GEOENRIJECIMENTO*

*100% TEORIA DO ADENSAMENTO DA ARGILA

 facebook.com/engegraut

 @engegraut

 www.engegraut.com.br

VISITE NOSSO SITE: WWW.ENGEGRAUT.COM.BR

REFERÊNCIAS

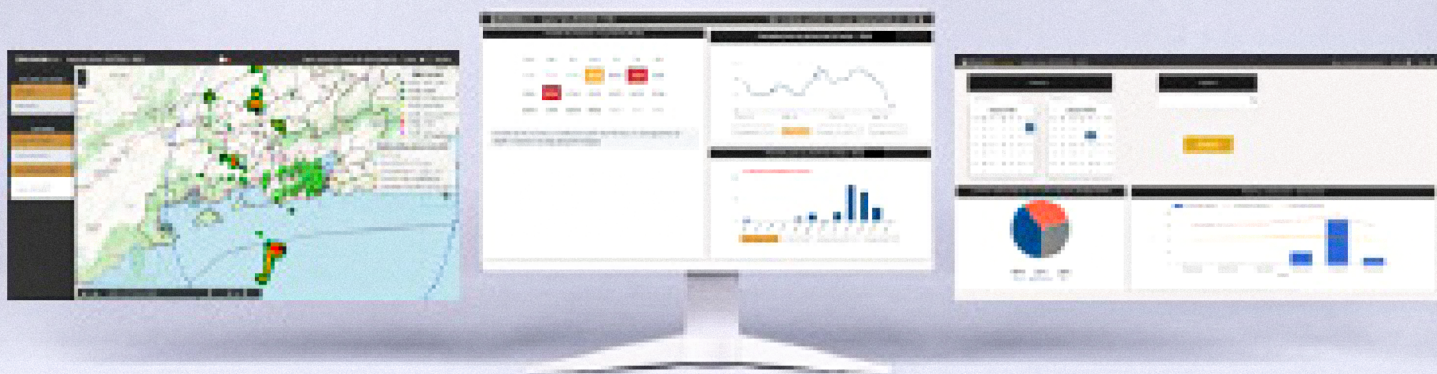
- Joaquim Rodrigues é engenheiro civil M.Sc. Formado no Rio de Janeiro em 1977, pós-graduado pela COPPE na Universidade Federal do Rio de Janeiro em 1999. Diretor do Soft Soil Group e da Engegraut Geotecnia e Engenharia, associada à ABMS e ao American Society of Civil Engineers desde 1994. Desenvolveu duas técnicas de melhoramento de solos moles, sendo motivo de patente o GEOENRIJECIMENTO, utilizada hoje em todo o Brasil.
- B. Avcı, A. Gürbüz, Modulus of subgrade reaction that varies with magnitude of displacement of cohesionless soil. Arab J Geosci 11, 351 (2018). <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3713-1>
- K. Terzaghi, Evaluation of coefficient of subgrade reaction. Geotechnique 5, 297-326 (1955). <https://doi.org/10.1680/geot.1955.5.4.297>
- A.B. Vesic, Beams on elastic subgrade and the Winkler's hypothesis, in Proceedings of the 5th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Paris. pp. 845-850 (1961)

DIMINUIR INCERTEZAS GERA MAIS
SEGURANÇA



AS VARIAÇÕES DO CLIMA TRAZEM MUITAS INCERTEZAS E PROBLEMAS PARA A REALIZAÇÃO DE OBRAS E SÃO RESPONSÁVEIS POR + DE 15% DOS ATRASOS E AUMENTOS DE CUSTOS DO SETOR.

SISTEMA PARA GESTÃO DE RISCO DE IMPACTO CLIMÁTICO NO PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DE OBRAS.



AUMENTE A PRODUTIVIDADE E REDUZA CUSTOS DURANTE A OCORRÊNCIA DE CHUVAS COM PREVISÃO PERSONALIZADA E ALERTAS DE TEMPESTADES EM TEMPO REAL.



<https://www.nimbusmeteorologia.com.br/>

<https://www.linkedin.com/company/nimbusmeteorologia>

A INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA E A UTILIZAÇÃO DE FUNDAÇÃO DIRETA COM RADIER.

Figura 1 – Com a análise da interação solo-estrutura, em empreendimentos horizontais, fica claro a não necessidade de estaqueamento, considerando-se as baixíssimas tensões aplicadas ao solo da ordem de 5 a 10 ton/m². O melhoramento do solo, com geoenjuncimento, costuma ser a solução. Neste empreendimento horizontal, com presença de solos moles, colocou-se aterro para chegar à cota de projeto. Pilares e paredes foram apoiados sobre estacas, e todo o piso sobre o aterro. O resultado foi a surgência de recalques diferenciais generalizados.

É muito comum, quando há presença de solos argilosos moles, em construções horizontais, como galpões logísticos, centros de distribuição e etc, caracterizadas por grandes áreas e pequenas tensões aplicadas, da ordem de 5 a 10 toneladas/ m², a utilização de estaqueamento. As consequências são sempre as mesmas, recalques diferenciais entre as áreas estaqueadas e as apoiadas no próprio solo. Desconhecimento das técnicas de melhoramento de solos? Sim, exatamente por que com o melhoramento do solo, possibilita-se a utilização de fundação

direta, para este nível de tensões, particularmente com radier, que tem grandes vantagens em relação aos demais tipos de fundação, principalmente fundações profundas. As vantagens da utilização de fundação em radier são as seguintes:

- Promove base estável para estruturas, inclusive pesadas, (podendo ser necessário o melhoramento do solo com geoenjuncimento);
- Distribue o peso da construção de maneira uniforme, sobre grandes áreas, reduzindo a pressão no solo;
- É bem mais barata do que a fun-

dação profunda, exigindo menos escavação, utilizando-se a laje como piso. Elimina os problemas comuns de recalque diferencial;

- Simplificam a construção, eliminando a necessidade de fundação para cada pilar, o que economiza tempo e mão de obra;
- Minimiza o impacto ambiental ao redor;
- Acomodam formas construtivas complexas e irregulares;
- São particularmente úteis quando



o lençol freático á alto.

Empregando-se fundação direta, com radier, em construções horizontais, comumente utiliza-se o modelo de Winkler, onde o solo é representado por um número de molas elásticas lineares, tendo uma constante chamada de módulo de deformabilidade vertical, E_v , e/ou módulo de reação K do solo, pertinente ao subleito, conforme figura ao lado, exigindo-se uma estimativa precisa deste valor, o que é obtido com o ensaio de placa, normatizado pela NBR – 6489 “Prova de carga direta sobre ter-

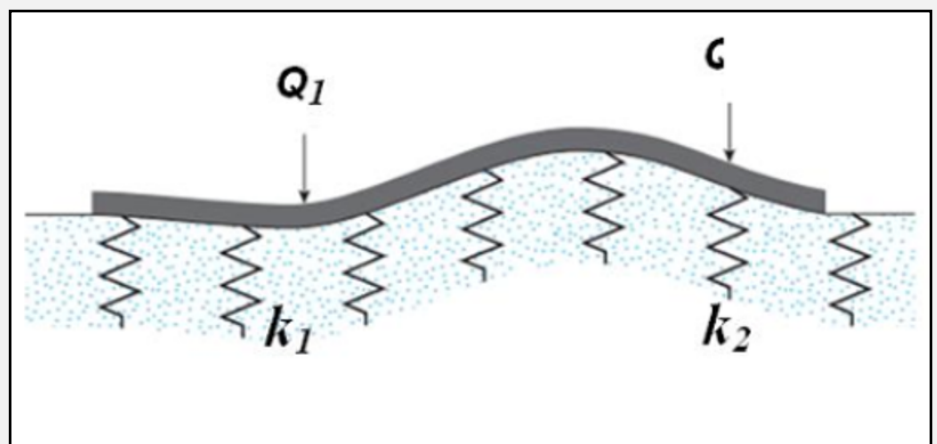


Figura 2 – Projeto de fundação flexível com o modelo de Winkler.

reno de fundação”, que consiste da aplicação de carregamento, em modelo reduzido de uma placa, obtendo-se parâmetros de defor-

mação do solo, a partir da variação da intensidade da carga aplicada. O módulo de deformabilidade ou de reação do subleito é a razão entre

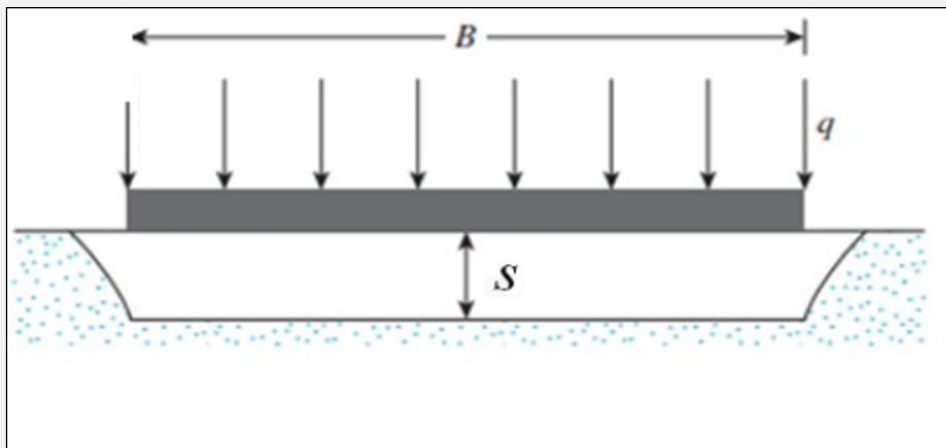


Figura 3 – Projeto de Fundação flexível com o ensaio de placa.

Referência	Equação	Explicação
Terzaghi 1955 [3]	$k = k_{PLT} \cdot \left(\frac{B + B_{PLT}}{2B}\right)^2$	Para areias
	$k = k_{PLT} \cdot \left(\frac{B_{PLT}}{B}\right)$	Para argilas
Biot 1941 [4]	$k = \frac{0.95 \cdot E}{B \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left[\frac{B^4 \cdot E}{(E_f \cdot I_f) \cdot (1 - \nu^2)} \right]^{0.108}$	K_{PLT} : Módulo de reação do subleito do ensaio de placa
		$B_{PLT} = 2 \sqrt{\frac{\pi \cdot D^4}{4}}$
Vesic 1961 [5]	$k = \frac{0.65 \cdot E}{B \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left[\frac{B^4 \cdot E}{(E_f \cdot I_f)} \right]^{0.083}$	D: Diâmetro da placa.
		B: Largura da Fundação
Meyerhof e Baikie 1963 [6]	$k = \frac{E}{B \cdot (1 - \nu^2)}$	E: Módulo de Elasticidade do solo
		ν : Coeficiente de Poisson do solo
Bowles 1996 [7]	$k = \frac{q_u}{s}$	I_f : Módulo de elasticidade do solo de fundação
		E_f : Momento de inércia da fundação
		q_u : Capacidade de carga última
		s: Recalque permitido

Figura 4 – Equações recomendadas por vários pesquisadores para estimar o módulo de reação do subleito.

a pressão de contato em qualquer ponto considerado e o recalque causado pela pressão no ponto, conforme equação abaixo, obser-

$$K = \frac{q}{s}$$

vando-se a figura ao lado. Este método permite medir o deslocamento vertical, em um ponto à superfície do solo, situado no centro de gravidade de uma placa rígida, carregada verticalmente. Em cada ponto do ensaio, medem-se as deflexões produzidas em um ou mais ciclos, relativos à posição inicial de referência. Determinadas as deflexões no solo e as respectivas cargas, transmitidas pela placa, poder-se-á calcular o módulo. Este procedimento de cálculo foi aperfeiçoado por diversos pesquisadores, desenvolvendo-se vários métodos para a estimativa precisa dos valores K, conforme tabela ao lado. O instituto Alemão para normalização (German Institute for Standardization) DIN – 4018 – 1974 sugere o valor da rigidez relativa K, para estimar o comportamento de sistemas solo-fundação, informando que para valores de $K \geq 0,1$, considera-se o sistema rígido. Para valores $K < 0,001$ considera-se como sistema flexível. A equação proposta é a seguinte:

$$K = \frac{1}{12} \cdot \frac{E_f}{E_s} \cdot \left(\frac{d}{L}\right)^3$$

ROCTEST



PIEZÔMETRO AUTOCRAVÁVEL (PWP)

A série PWP de piezômetros de corda vibrante (autocraváveis) foi projetada para medir, com precisão, a poropressão em depósitos de solos moles. Suas características são:

- **ROBUSTEZ**
- **PRECISÃO**
- **CONFIABILIDADE**

Representante exclusivo no Brasil: **3GEO TECNOLOGIA LTDA**
+55 21 2718 3968 / vendas@3geotecnologia.com / www.3geotecnologia.com



Geotechnical Analysis SIG: Simulating Soil Lab Tests for PLAXIS Soil Model Parameters



Micha van der Sloot
Technical Support Manager
Bentley Systems, Inc.

PLAXIS: Simulating Soil Lab Tests

www.bentley.com

Dear User,

When conducting laboratory test results – such as Triaxial and Oedometer tests – you want to make sure that the behavior of your chosen constitutive soil model captures the test result data. With the SoilTest feature, PLAXIS offers a quick and simple method to simulate these lab tests and verify the model behavior. To learn more, this Geotechnical Special Interest Group virtual workshop is a must see!

The agenda for the one-hour session encompasses:

- How to start a soil lab simulation
- Optimizing your model parameters to replicate real-life behavior
- After optimizing, how to quickly update the soil material definition in PLAXIS

The Geotechnical Analysis SIG is open to all Bentley users, so invite your colleagues!

**Geotechnical Analysis SIGs – complimentary virtual
workshops to keep you working optimally!**

O significado do K e a rigidez do solo

Diversos leitores perguntam “K significa rigidez?” O K representa a constante de proporcionalidade, também conhecida como “constante da mola”. Leigamente pode-se dizer que a variável K, na lei de Hooke ($F=Kx$) indica rigidez e resistência. Quanto maior o valor de K, mais carga é necessário para deformar um solo, até um determinado deslocamento. Outra questão frequente “como calcular a rigidez do solo?” Simplificando, rigidez é uma medida de resistência de um solo contra deformações, quando há carga aplicada. Em materiais lineares e isotrópicos, a rigidez pode ser calculada com a fórmula comum. O que é o módulo de reação do subleito K? É frequentemente utilizado como entrada primária em projetos de pavimentos rígidos, para estimar a capacidade suporte das camadas do solo abaixo do pavimento, sendo determinado por testes de campo ou por correlação com outros testes. Outra pergunta frequente “Qual o valor da rigidez relativa?” É um conceito utilizado para descrever a capacidade da fundação, com carga, resistir ao processo de recalque, comparando-se com a rigidez do solo em que esta assentada. Em termos simples, ela avalia o quão “dura” ou “flexível” é a fundação, considerando-se as propriedades do solo e da fundação. A rigidez relativa é importante para entender como as cargas transmitidas

pela fundação interagem com o solo. Quando a rigidez da fundação é alta em relação ao solo base, tende a transmitir as cargas de forma mais eficiente e com menor recalque, ou seja, a fundação será mais “rígida”. Se, ao contrário, a fundação for mais flexível, em relação ao solo, a fundação recalcará mais, considerando-se uma mesma carga. A rigidez relativa é influenciada por fatores como a geometria do sistema de fundação (dimensão e forma), o tipo de solo existente e outras propriedades mecânicas, assim como uma capacidade compressiva e seu módulo de elasticidade. Em termos matemáticos, a rigidez relativa pode ser expressa pela razão entre a rigidez do elemento de fundação (dependente da geometria) e a do solo (dependente de sua deformabilidade). Se houver dúvida sobre que tipo de medida de rigidez está se procurando poder-se-á, genericamente, pegar a carga aplicada em um ponto e dividi-la pelo deslocamento causado naquele ponto. Com isso, ter-se-á uma medida da rigidez. Outra pergunta “como melhorar a rigidez de um solo?” A única maneira de se melhorar a rigidez de um solo é comprimindo-o e drenando-o. No campo, só é feito com o melhoramento do solo, seja com Compaction Grouting, para solos arenosos ou CPR Grouting, para solos argilosos.

Onde E_r é o módulo de Young do solo de fundação, E_s é o módulo do solo confinado, d é a espessura da fundação e L é o comprimento da fundação. Procurou-se investigar o efeito da dimensão da fundação, assim como o solo no módulo de reação do subleito, observando-se o módulo do solo confinado, para fundações quadradas, recebendo carga uniformemente distribuída. Realizou-se análises com Software GGU-Slab e os resultados foram comparados com os obtidos em casos infinitamente flexíveis utilizando-se o software GGU-Settle, que

calcula o aumento da tensão vertical, devido a pressão do contato, com base na teoria de Boussinesq. A partir daí, o recalque é calculado utilizando-se o método analítico convencional, com base na teoria da elasticidade.

As análises numéricas

Utilizou-se o método do módulo confinado, E_s , para representar a interação solo-fundação, correspondente ao módulo de rigidez do teste de consolidação unidimensional, calculado com a equação

abaixo.

$$E_s = \frac{\Delta \rho_i}{\Delta \varepsilon_i}$$

Onde $\Delta \rho_i$ é o intervalo de tensão, $\Delta \varepsilon_i$ é o intervalo de deformação correspondente ao $\Delta \rho_i$, que assume o solo com comportamento linear dentro deste intervalo. A relação entre o módulo confinado e o módulo de Young do solo é obtido utilizando-se a lei de Hooke e as condições de contorno do teste de consolidação unidimensional, conforme a equação abaixo.

$$E_s = \frac{E \cdot (1 - \nu)}{(1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)}$$

Onde E e ν são o módulo de Young e o coeficiente de Poisson do solo. A interação solo-fundação foi considerada utilizando-se o Software GGU-Slab, que exige um proces-



Figura 5 – Grandes estruturas horizontais, quando apoiadas sobre solos moles, necessitam da interação solo-estruturas.

so de interação para a solução numérica. Na primeira etapa das análises, calculou-se os recalques em um semiespaço elástico isotrópico, em todos os nós da malha de elementos finitos, resultantes de uma pressão de contato de 1KN/m². Para este propósito, a equação de Bousinesq é numericamente integrada e a pressão de contato (1KN/m² na 1º etapa) é dividida pelos recalques calculados, para se determinar a distribuição do módulo de reação do subleito em cada nó. Posteriormente, calculou-se a flexibilidade da fundação, com base na equação abaixo, obtida utilizando-se o MEF. Finalmente, o módulo de reação do subleito é aplicado em etapas de interação posteriores, até que a flexibilidade da fundação, corresponda ao recalque do solo em um meio espaço elástico isotrópico.

$$\frac{d^4 \cdot S}{d_x^4} + 2 \cdot \frac{d^4 \cdot S}{d_x^2 \cdot d_y^2} + \frac{d^4 \cdot S}{d_x^4} + (-q + k \cdot S) \cdot \frac{12(1 - \nu_f)^2}{E_f \cdot d^3} = 0$$

Onde S é o recalque, d é a espessura da fundação, E_f e ν_f os módulos de Young e o coeficiente de Poisson do solo de fundação, q é a pressão de contato e K é o módulo de reação do subleito. A tabela a seguir, apresenta os parâmetros aplicados, onde considera-se a fundação em formato quadrado, com uma carga uniformemente distribuída de 50KN/m², em um meio espaço elástico com peso unitário de γ=19KN/m³, uma fundação com largura B, de 10m, espessura, d, de 0,5m, módulo de Young E_f=35.000mPa, coeficiente de Poisson 0,2 e peso unitário γ igual a 25 KN/m³.

Os resultados aparecem

Forneceu-se, para diversos tamanhos da fundação, os módulos de reação do subleito, obtidos com o software GGU-settle, tendo uma carga uniformemente distribuída de 50KN/m², conforme figura ao lado, em um solo com superfície

Módulo do solo confinado E _c (MPa)	Largura da Fundação (= comprimento) B(m)	Espessura da Fundação d(m)	Módulo de Young do material da fundação, E _f (MPa)
2.5	5/10 ^a /20	0.25/0.5 ^a /1.0	29000/35000 ^a /41000
5.0			
10			
50			
100			

a parâmetros chave*

Figura 6 – Parâmetros aplicados.

elástica linear, tendo Es=10Mpa e γ=19KN/m³. Observa-se que a espessura e o módulo de Young da fundação não são importantes para casos infinitos. Além disso, o módulo de reação do subleito, K, para qualquer valor do Es, pode

ser calculado por meio de valores de um K_{infinitamente flexível} como na figura abaixo, exatamente por que o módulo de reação do subleito é diretamente proporcional aos valores do Es, considerando-se um determinado tamanho da fundação.

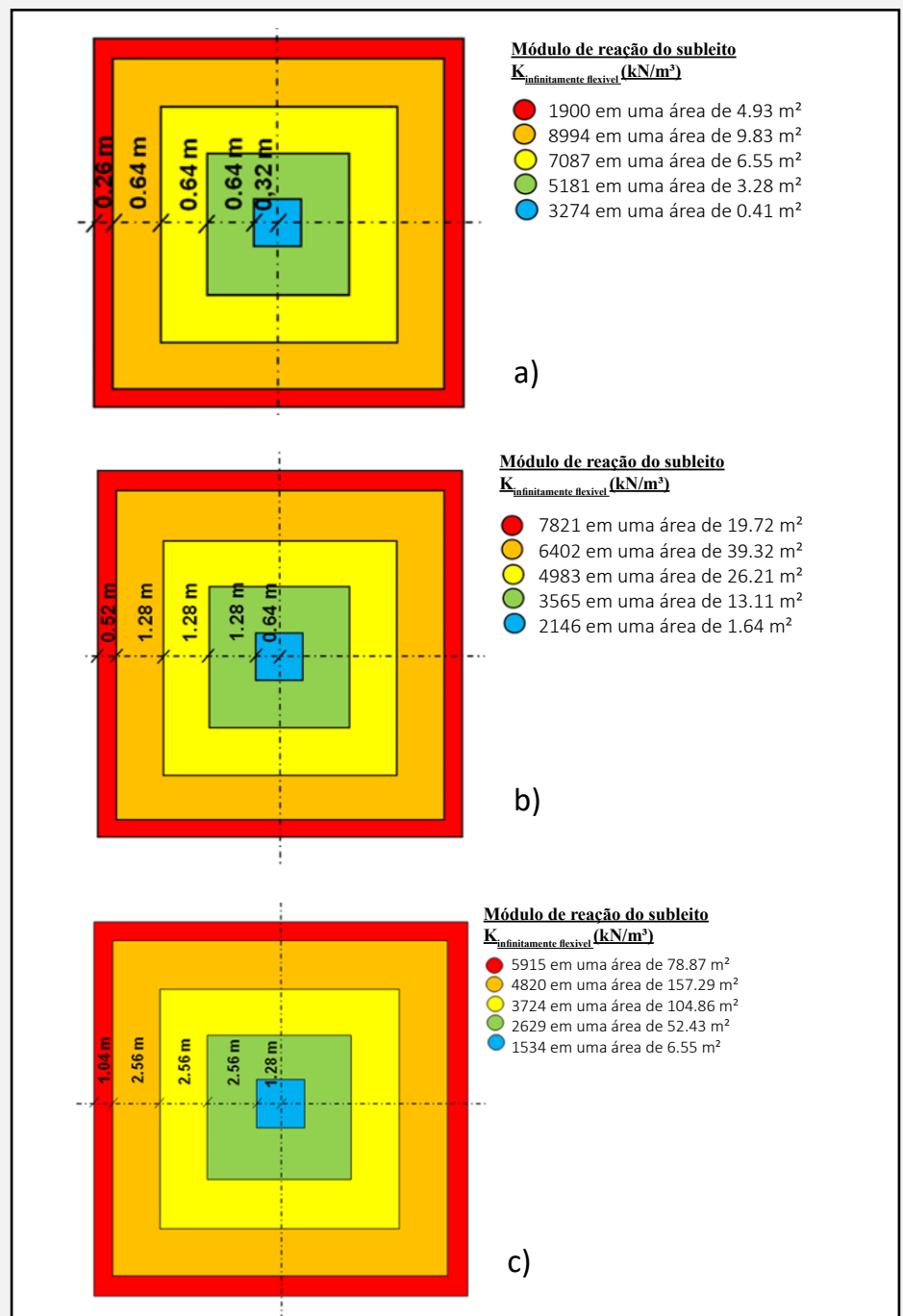


Figura 7 – Módulo de reação do subleito para um caso infinitamente flexível: a) B=5m b) B=10m c) B=20m

Fornecer-se, de acordo com a figura 8, os módulos de reação do subleito, obtidos no GGU-Slab, nas regiões do meio e do canto da fundação, bem como no meio da borda para os sistemas solo-fundação observados na figura 7. Nas análises, considerou-se uma espessura

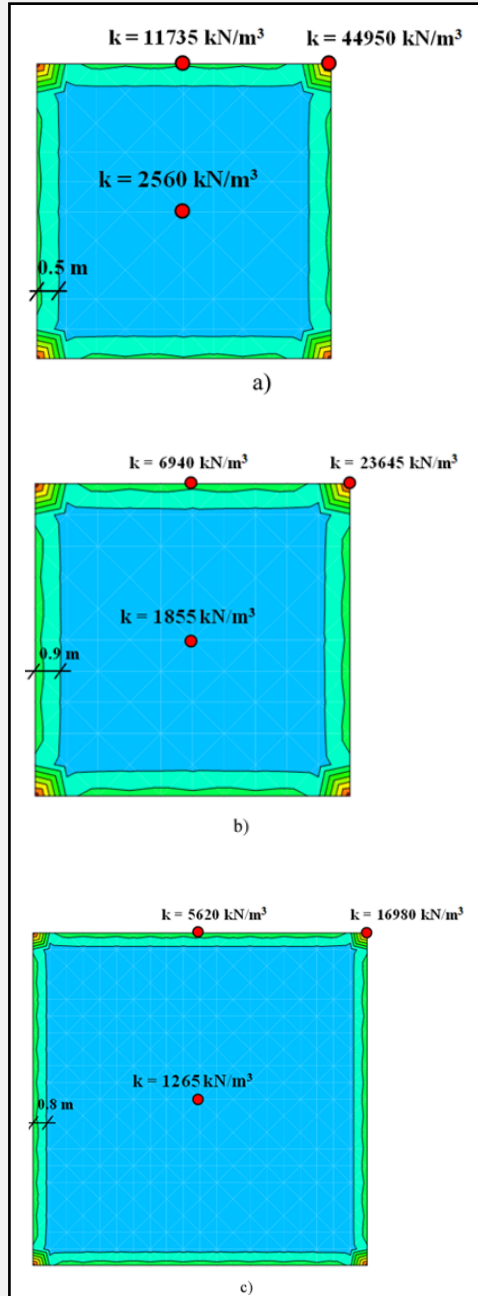


Figura 8 – Módulo de reação do subleito considerando a interação solo-fundação. a) B=5m. b) B=10m. c) B=20m

de solo de $d=0,50\text{m}$ e um módulo de Young $E_f=35.000\text{MPa}$. Considerando-se uma carga uniforme de $12,5\text{KN/m}^2$ ($=0,5\text{m} \times 25\text{KN/m}^3$), resultante do seu peso próprio, carregou-se as fundações, modeladas no GGU-Slab, com uma carga uniforme de $37,5\text{KN/m}^2$. Para casos onde a condição seja infinitamente flexível,

Módulo do solo confinado E_s (MPa)	Rigidez relativa K (-)		
	B = 5 m	B = 10 m	B = 20 m
2.5	1.167 ^a	0.146 ^a	0.018
5.0	0.583 ^a	0.073	0.009
10	0.292 ^a	0.037	0.005
50	0.058	0.007	0.001 ^b
100	0.029	0.004	0.0005 ^b

Figura 9 – Valores K da rigidez relativa dos sistemas solo-fundação com vários valores de B. Obs: a) Sistema rígido e B) Sistema Flexível.

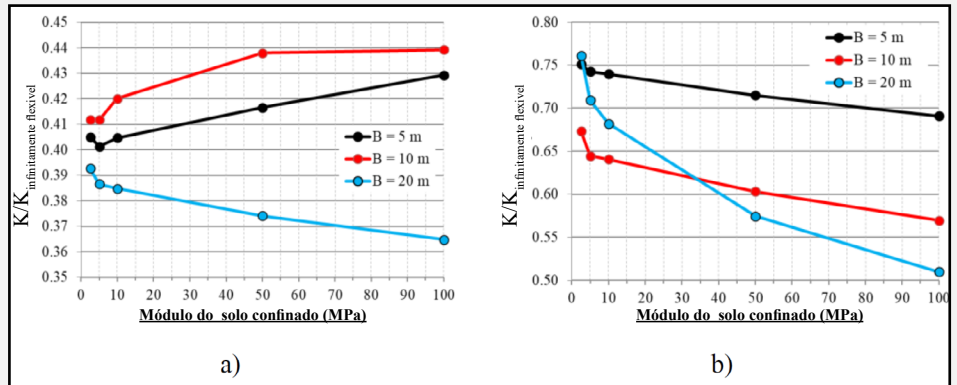


Figura 10 – Efeito da largura B do elemento de fundação sobre o valor K: a) no meio de fundação; b) em suas extremidades.

o módulo de reação do subleito aumenta etapa por etapa, do centro para as bordas externas da fundação, conforme figura 7. Para os casos onde a interação solo-fundação é considerada, os valores dos módulos ficam relativamente constantes, exceto nas bordas externas, com espessuras de 0,5 a 0,9m. Se for necessário comparar os resultados de ambos os métodos, calcula-se os módulos médios utilizando as áreas fornecidas na figura 7. Na figura 10, verifica-se o efeito da largura, B, da fundação sobre o valor do módulo. Considerou-se uma espessura e um módulo de Young para as fundações, ou seja, $d=0,5\text{m}$ e $E_f=35.000\text{MPa}$, ao mesmo tempo em que variou-se sua largura para 5,10 e 20m. A razão do módulo, obtido nas análises, em relação a interação solo-fundação, em casos de infinitamente flexível, varia de 0,36 a 0,44 na região do meio da fundação, e de 0,50 a 0,76 em suas bordas, conforme é apresentado na figura 10. Os valores da rigidez relativa, K, foram calculados utilizando-se a equação do K, e são apresentados na tabela

da figura 9 acima. Com este procedimento esperava-se uma concordância mais próxima entre ambos os métodos, o que não aconteceu pelas análises numéricas. A figura abaixo ilustra o

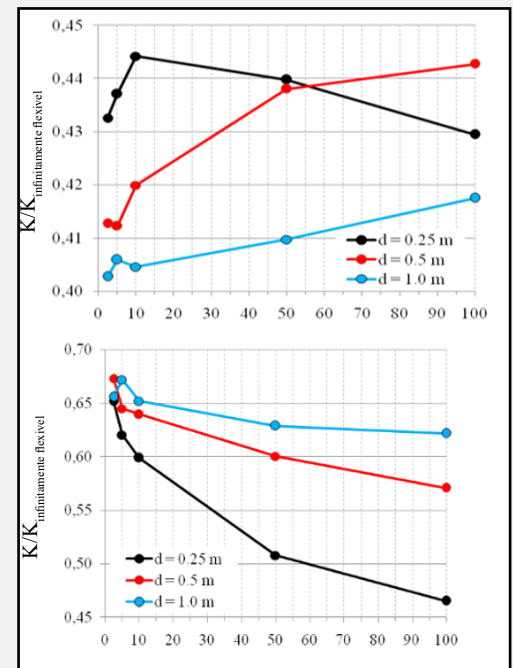


Figura 11 - Efeito da espessura da fundação, d, no valor K: a) No meio da fundação; b) Nas bordas.

efeito da espessura da fundação, d, atuando no valor K, considerando-se a largura $B=10\text{m}$ e o módulo de Young de $E_f=35.000\text{MPa}$, levando-se em conta uma variação na espessura do elemento de fundação de 0,25m, 0,50m e 1,0m. A razão do $K/K_{\text{infinitamente flexível}}$ varia entre

Formação em Gestão de Riscos

ALTO

MÉDIO

BAIXO



Gestão de Riscos 1

[CLIQUE AQUI!!](#)

Curso introdutório, necessário para refletirmos e nos questionarmos de como devemos interagir com o que nos rodeia e para transformar riscos em aliados.



Gestão de Riscos 2

[CLIQUE AQUI!!](#)

Um curso prático para aquelas pessoas que tem objetivos na vida e desejam viver melhor, sem riscos. É um curso completo para preparar o aluno para ter disciplina e perseverança na sua profissão e na identificação e gestão de riscos continuamente.



Gestão de Riscos 3

[CLIQUE AQUI!!](#)

Um curso avançado para aquelas pessoas que querem ir além, que gostaram do tema gestão de riscos e querem aprender a estimar probabilidade, impacto e conhece a terceira dimensão. O tempo até o impacto.

+1.5k

Alunos Treinados ao longo dos anos.

Prof. Fernando Affonso
Especialista em Riscos

Sobre o Curso

Em um mundo dinâmico e repleto de incertezas, a capacidade de identificar, avaliar e gerenciar riscos é essencial para o sucesso de qualquer pessoa ou organização. A Formação em Gestão de Riscos foi desenvolvida para oferecer um conhecimento sólido e prático sobre estratégias de mitigação de riscos, independentemente do setor de atuação.

Composta por três cursos complementares, esta formação proporciona uma visão ampla e aplicada sobre os principais conceitos, ferramentas e metodologias utilizadas na gestão de riscos. Seja você um empreendedor, profissional de qualquer área ou alguém que deseja aprimorar sua tomada de decisões, este programa é ideal para fortalecer sua capacidade de antecipação e resposta a desafios, garantindo maior segurança e eficiência em seus projetos e negócios.

**QUERO SER UM ESPECIALISTA EM
GESTÃO DE RISCOS**

0,4 e 0,45 na região do meio, e 0,45 a 0,67 na região periférica da fundação. Os valores K da rigidez relativa estão na tabela ao lado. Como Observado na figura 10, não há concordância entre os resultados numéricos apresentados na figura 11 e a rigidez relativa K. Na figura abaixo, apresenta-se

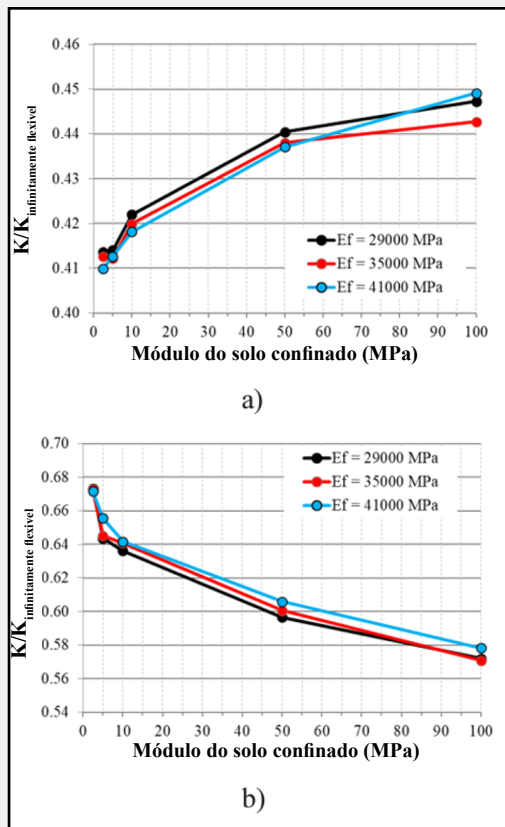


Figura 12 - Efeito do módulo de Young do material de fundação E_f no valor do K: a) no meio; b) Nas bordas.

o efeito do módulo de Young, E_f , sobre o valor de K. Considerou-se, na análise, a largura $B=10m$, e a espessura $d=0,5$ da fundação, ao passo em que o módulo de Young variou 29.000Mpa,



Figura 13 - Borda de um tanque industrial de combustível. Fundações em tanques industriais geram recalques diferenciais, pelo desconhecimento da interação solo-estrutura. O melhoramento do solo, homogeneizando-o para as tensões desejadas costuma ser a melhor solução.

Módulo do solo confinado E_s (MPa)	Rigidez relativa K (-) (-)		
	d = 0.25 m	d = 0.5 m	d = 1.0 m
2.5	0.018	0.146^a	1.167^a
5.0	0.009	0.073	0.583^a
10	0.005	0.036	0.292^a
50	0.001^b	0.007	0.058
100	0.0004^b	0.004	0.029

Figura 14 - Valores K da rigidez relativa dos sistemas solo-fundação com varios valores de d.



Figura 15 - Interior de um tanque industrial. Fundações em tanques industriais geram recalques diferenciais, pelo desconhecimento da interação solo-estrutura. O melhoramento do solo, homogeneizando-o para as tensões desejadas costuma ser a melhor solução.

31.000Mpa e 41.000Mpa. Na figura 12, a razão $K/K_{infinitamente flexível}$ varia de 0,41 a 0,45 na região central da fundação, e de 0,56 a 0,68 Os valores K, da rigidez relativa, dos modelos numéricos são dados na tabela da figura 16 em seu perímetro. Os valores K, da rigidez relativa, dos modelos numéricos não dados na tabela da figura 16. Como se observa, analisou-se o

módulo de reação do subleito, com o efeito da dimensão de um radier quadrado, submetido a carregamento uniformemente distribuído, com o módulo de Young do solo de fundação, considerando-se o módulo do solo confinado. A seguir, comparou-se os resultados com os casos considerados infinitamente flexíveis, obtendo-se as seguintes informações:

1. O modulo de Young do solo de fundação, que variou de 29.0000Mpa a 41.000Mpa, tem pouca sensibilidade no valor do K, ao passo que a espessura do elemento de fundação tem considerável influência;
2. As equações que não levam em conta a espessura do elemento de fundação devem ser utilizadas com cuidado redobrado;
3. A avaliação do módulo de reação do subleito, atuando no meio do elemento de fundação, obtido apartir das analises, considerando-se a interação solo-fundação para o módulo de reação do subleito, considerando o caso da relação $K/K_{infinitamente flexível}$ modifica de 0,36 a 0,46

Módulo do Solo confinado E_s (MPa)	Rigidez Relativa K (-)		
	$E_f = 29000$ MPa	$E_f = 35000$ MPa	$E_f = 41000$ MPa
2.5	0.121^a	0.146^a	0.171^a
5.0	0.060	0.073	0.085
10	0.030	0.036	0.043
50	0.006	0.007	0.009
100	0.003	0.004	0.004

* Sistema Rígido

Figura 16 - Valores K da rigidez relativa do sistema solo-fundação com vários valores de E_f .

para fundações que variam de 5 a 20m, bem como uma espessura de 0,25m a 1.0m.

4. Os valores mais altos do K, podem ser utilizados na periferia do elemento de fundação. A relação $K/K_{\text{infinitamente flexível}}$ na pe-

riferia do elemento de fundação, muda de 0,45 a 0,76 para fundações com largura de 5 a 20m, bem como espessuras de 0,25 a 1,0m.

5. Nos casos em que a espessura da camada é relativamente alta, comparando-se com a largura da

fundação, parece que a utilização do modelo de Winkler não é adequado para se determinar o módulo de reação do subleito. Torna-se importante avaliar a relação do formato da fundação e a distribuição do carregamento.

REFERÊNCIAS

- Patricia Karina Tinoco é engenheira geotécnica. Trabalha com melhoramento de solos moles.
- Serdar Koltuk1 - Effect of soil-fundation interaction on the modulus of subgrade reaction .
- H. Poulos, Rational assessment of modulus of subgrade reaction. Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA 49(1), 1-7 (2018)
- S.S. Roy, K. Deb, Modulus of subgrade reaction of unreinforced and georid-reinforced granular fill over soft clay. International Journal of Geomechanics 21(9), (2021).

Are you looking for a soil improvement in portuguese?

BEST SELLER

MELHORAMENTO DO SOLO MOLE E O GEOENRIJECIMENTO



Adquira seu exemplar através do email: ofitexto@ofitexto.com.br ou atendimento@softsoilgroup.com.br ou pelo site www.lojaofitexto.com.br

A INTERAÇÃO SOLO-FUNDAÇÃO E A CAPACIDADE DE ESTIMAR A MOVIMENTAÇÃO DE UMA CONSTRUÇÃO, QUANDO HÁ SOLO COM GRANDE DEFORMABILIDADE.



Figura 1 - Neste centenário prédio, situado em Porto Alegre, RS, construído sobre solo mole e com fundação direta. Houve a necessidade de readequação do solo de fundação com melhoramento do solo.

O comportamento geral de uma construção, com relação ao somatório do campo deformativo imposto, seja pela curvatura imposta em sua estrutura como um todo, seja pela deformação do terreno e seus diferentes movimentos, são bastantes difíceis de entendimento. Algumas observações são possíveis:

- A zona de tração (convexa) tem mais probabilidade de causar danos ao quadro construído, já que sua resistência à tração é bem menor que à compressão;

- Os movimentos, que causam a redistribuição mais significativa das tensões verticais no solo, são a inclinação e a curvatura que o

terreno pode causar à construção;

- A maioria das fissuras, que podem ocorrer ou aparecer nas paredes da construção, são inclinadas ou verticais. A deformação por compressão, sozinha, pode causar fissuras horizontais;

- A influência da tipologia da cons-

trução, desempenha papel importante, já que se for flexível apresentará tendência de acompanhar o movimento do solo, limitado à perda de apoio ao nível da fundação, causando deformações internas significativas, que poderão comprometer seu desempenho. Se for rígida, apresentará acúmulo de tensões, ao nível da fundação, podendo causar grandes problemas;

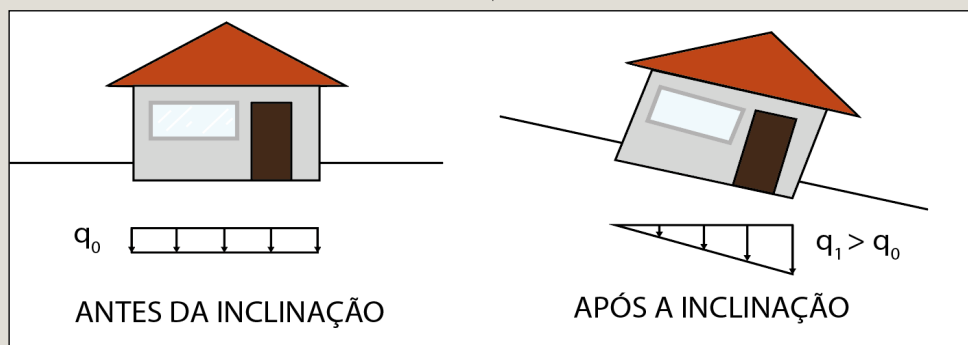


Figura 2 - redistribuição das tensões no imóvel de acordo com a inclinação/ deformação do terreno.

Por mais leve que seja a inclinação, provocada na estrutura, devido a deformação do terreno, há uma redistribuição das tensões nos elementos de fundação, promovendo valores mais altos à jusante, com tendência de mais compressão. A figura, abaixo, resume a condição do fenômeno da interação solo-estrutura. Se a influencia desta interação, não for levada em consideração, a estrutura sendo flexível condiciona-se perfeitamente ao recalque imposto pelo solo, compatível com o deslocamento inicial ocorrido. Para o caso de uma estrutura muito rígida, com o movimento aplicado pelo solo, a consequente deformação será muito limitada. Sugere-se, sempre, avaliar a deflexão imposta à edificação, Δ , como na função do movimento em campo livre Δ_0 . As diferentes abordagens, propostas para se avaliar o comportamento de edificações, e sua vulnerabilidade próximas ou junto a taludes impõe a distinção de dois movimentos de massas de solo:

- Quando não houver nenhuma análise solo-estrutura, o que é bastante comum, o movimento em campo livre, Δ_0 , provocado pela deformação imposta pelo solo, corresponde à deflexão máxima que a edificação irá se submeter. Existe uma relação geométrica entre a curvatura do terreno, a deflexão e o comprimento da edificação, abaixo apresentada

$$\Delta_0 = \frac{L^2}{8R}$$

- A deflexão, transmitida à edificação, Δ , pode ser significativamente menor que o deslocamento em campo aberto, conceituando-se os fenômenos de interação solo-estrutura, especialmente julgando-se estruturas rígidas.

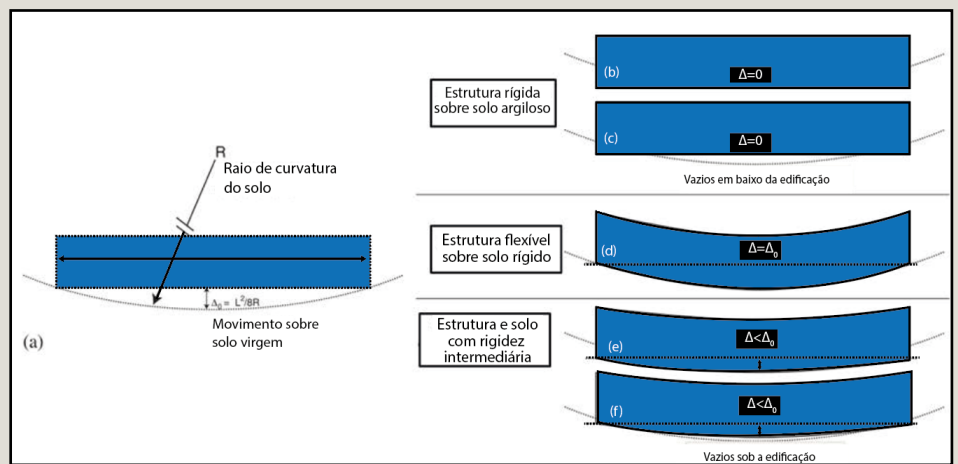


Figura 3 - Movimento do solo e das edificações sem e com consideração da influência da interação solo-fundação adentrando-se em solo virgem.

A determinação da relação Δ/Δ_0 , denominada taxa de transmissão, é um ponto chave que sempre deve ser julgado. Se considerarmos, na análise, o fenômeno da interação solo-estrutura, o movimento do solo pode provocar um recalque que se estenderá as extremidades da edificação. O recalque diferencial, também a ela imposta, deverá ser sempre menor que o montante sofrido pelo solo, e a deflexão máxima, Δ , deve estar sempre entre zero e um valor Δ_0 , correspondente

ao deslocamento do solo em campo aberto sob à edificação. Portanto, a taxa de transmissão Δ/Δ_0 é sempre menor que 1. Percebe-se, então, que o cálculo do Δ torna-se difícil. Considerando-se que a modelagem analítica não permite julgar configurações complexas, ao contrário dos modelos digitais. Concede, no entanto, a obtenção de resultados rápidos, com uma ampla gama de variações dos parâmetros do modelo, facilitando a tomada de decisão para análises de sensibilidade.

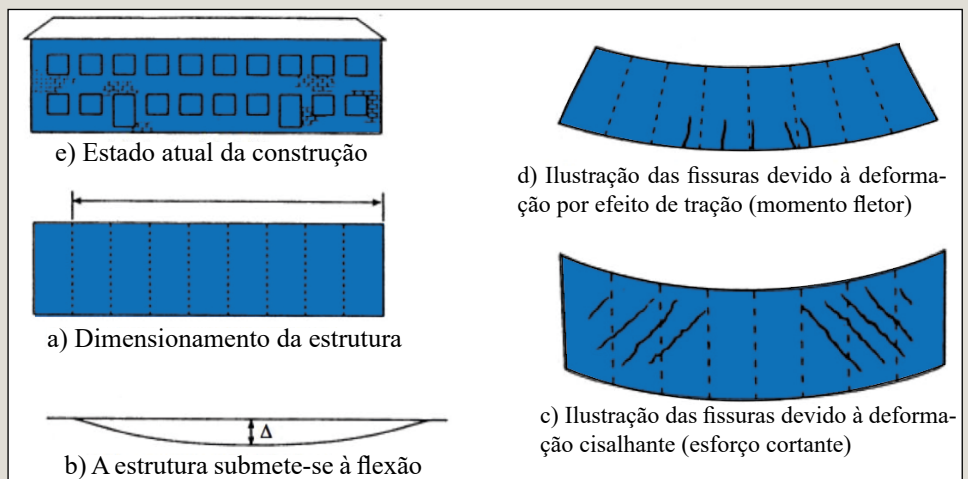


Figura 4 - Modelização de uma construção conforme uma barra.

A interação solo-fundação.

Entende-se que esta interação é a interdependência do comportamento mecânico entre solo de fundação e a construção. A aplicação de um somatório de cargas pela construção, através de seu sistema de fundação, causa deformação no

solo suporte, através dos próprios elementos da base estrutural, promovendo a redistribuição das tensões no solo, que aciona sua rigidez e a da própria estrutura. Torna-se crucial, portanto, o conhecimento do estado de tensões existente naquela interface, de modo a dimensioná-la corretamente e, de forma realista, considerar o limite da

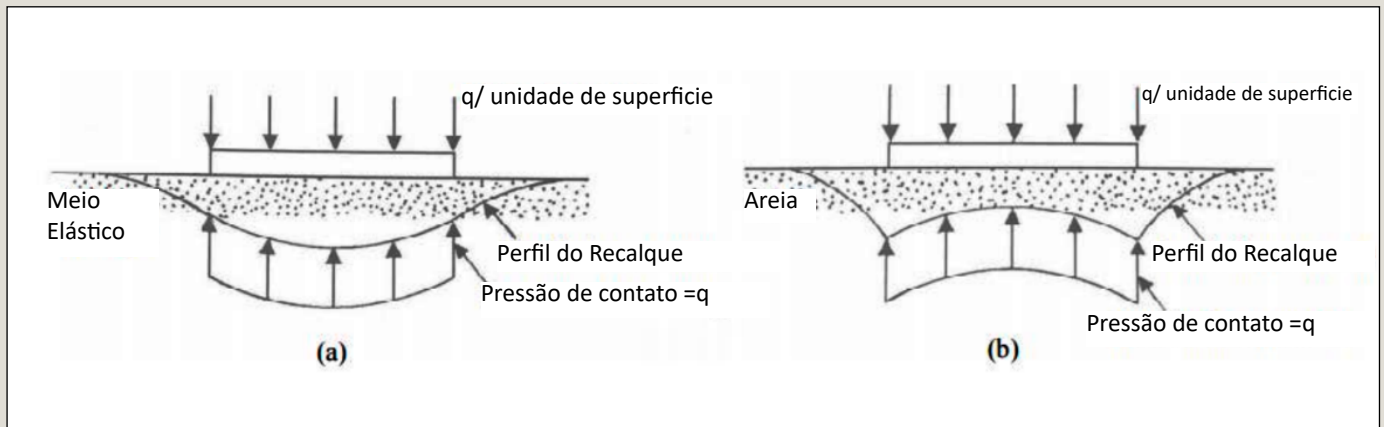


Figura 2 - Fundação flexível, a) material elástico argiloso, b) material granular.

capacidade de carga do solo. Este susceptível estado de tensões, será irremediável e fortemente modificado, quando o solo sofrer movimento, seja por excesso de cargas e/ ou processos de retração, expansão, escavação ou obras vizinhas. Antes dos métodos numéricos serem utilizados, haviam métodos simples e eficazes, que consideravam o fenômeno da interação solo-fundação pela estimativa do campo de tensões, existente no solo e o movimento da construção. Este fenômeno, que depende fortemente das rigidezes do terreno e da construção, tem como grande objetivo principal, o desenvolvimento de uma modelagem realista. A rigidez da construção depende dos materiais empregados, de sua geometria, de sua tipologia estrutural, etc. De forma simplificada, a estrutura da construção é frequentemente modelada por um elemento de barra, caracterizado por uma rigidez, E_r , representativa de toda a estrutu-

ra ou de sua fundação. A maioria dos estudos existentes, simulam o comportamento de uma barra, colocada sobre o solo, com base no modelo da barra de Euler – Bernoulli, onde a deformação, devido ao cisalhamento é negligenciada (conforme Morfidis 2002). Um modelo alternativo é o da barra de Timoshenko, que permite considerar a influência da deformação cisalhante na construção, conforme sugerido por Son, 2005. A rigidez do terreno depende de sua natureza geológica e geotécnica. Considerando-se que o solo tem um comportamento elastoplástico complexo, os métodos de análise da interação solo-construção utilizavam, inicialmente, um modelo elástico para simular seu comportamento. Quando um sistema de fundação flexível, assentado sobre um meio elástico, submete-se a um carregamento uniforme, a reação no solo (pressão de contato) permanecerá da mesma

forma, ou seja, uniforme. A figura acima evidencia uma fundação flexível assentada alternadamente sobre solo argiloso e arenoso. A diferença do perfil do processo de recalque, deve-se à falta de coesão, para o caso do solo granular notando-se, em ambos os casos, que a pressão de contato permanece uniforme. Observa-se, também, que a maleabilidade da fundação faz com que se movimenta, deformando com o solo, sem alterar o estado de tensões ali existente. Para o caso de uma fundação muito rígida, conforme figura abaixo, processo de recalque fica idêntico ao longo dos elementos estruturais de apoio, sendo que em um solo predominantemente arenoso, sua reação concentra-se em seu centro, devido à ausência de coesão. Já para o caso de um solo silto-argiloso, a fundação rígida conduz à tensões para as extremidades, fazendo com que ali a reação do solo seja máxima, observando-se

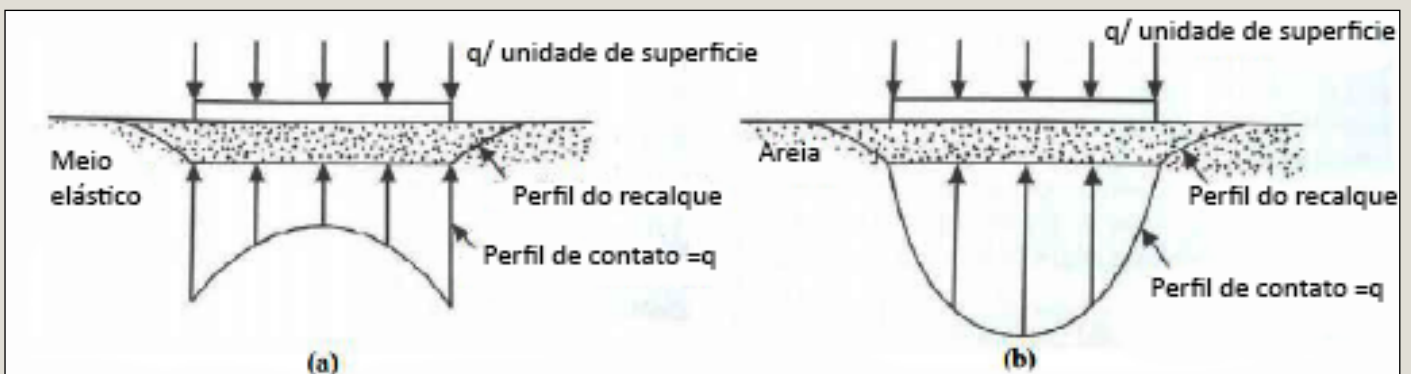


Figura 3 - Fundação rígida. a) Solo elástico argiloso. b) Solo arenoso.

" Meu conheci-
mento sobre so-
los moles mudou
completamente
após ler o livro"

Eng. Thaissa Lisboa



**Solicite agora
mesmo!**



Ativar o V
Acesse Conf

que os elementos rijos não se deformam, apenas modificam o estado de tensões nos contatos. Percebe-se, portanto, que a rigidez relativa solo-construção, envolve o fenômeno da interação solo-fundação, sendo dependente da distribuição da pressão de contato.



Figura 3 - Nesta indústria, situada em Recife, PE, construída sobre profundas camadas de solo mole, idealizou-se fundação direta com um espesso radier, tendo 0,80m de espessura. As tensões no solo chegaram a 30ton/m²...



Figura 4 - ...Um ano e meio depois, grandes deformações transversais, no radier, chegaram a 50 cm, paralisando a ponte rolante. Foi necessário o melhoramento do solo, de modo a torná-lo compatível com seu sistema de fundação.

Os modelos analíticos da interação solo-fundação.

Quando se fala em modelagem analítica, da interação solo-fundação, significa, que teremos partes do solo e fundação sempre modelados por uma ou mais barras (Euler-Bernoulli ou Timoshenko), enquanto que o solo é rotineiramente modelado pelo badalado Winkler.

A modelagem do solo com o protótipo de Winkler.

Este conhecido modelo assume que a reação do solo, em cada ponto da fundação, é proporcional a deflexão imposta. Esta hipótese equivale a modelar o solo com uma justaposição de molas elásticas, cuja constante de proporcionalidade é o conhecido módulo de reação do solo, K_w , conforme equação abaixo,

$$P(x) = K_w \cdot W(x)$$

onde o parâmetro K_w é o módulo de reação do solo e os métodos para sua avaliação são bastante conhecidos. O modelo de Winkler, segundo a equação acima, é bastante simples e combina bem com os métodos numéricos e analíticos tendo, apenas, duas desvantagens. A primeira, não considera a interação entre as molas, o que equivale a negligenciar o

cisalhamento vertical no solo e, conseqüentemente, cria-se uma descontinuidade de deslocamento entre as zonas carregada e descarregada, sob o sistema de fundação. A segunda, não considera a plasticidade, que pode se produzir no solo. Como efeito, vários pesquisadores propuseram modificações neste conhecido modelo, de modo a torná-lo mais eficiente e lógico, introduzindo-se certas formas de interação entre molas, tais como os elementos de flexão de Hetényl, 1946, as camadas cisalhantes de Pasternak, 1954, e as membranas sob tensão constata de Filonenko, 1940, estabelecendo-se outro parâmetro caracterizador da interação entre molas.

A modelagem da fundação.

Os métodos analíticos, desenvolvidos para o conhecimento do fenômeno da interação so-



Software de Geotecnia para uma vasta gama de análises:

-  Análise de Estabilidade
-  Escavações e Contenções
-  Muros e Gabiões
-  Recalque
-  Sondagens de Solo
-  Túneis e Poços
-  Estudos geológicos
-  Muros e Gabiões






AVALIE GRATUITAMENTE
 Solicite: comercial@solucoescad.com.br

Distribuído por:
SOLUÇÕES CAD BIM
www.solucoescad.com.br

Ativar o Wi
 Acesse Config

lo-fundação, geralmente modelam a construção de acordo com uma barra elástica, conforme Euler-Bernoulli, tendo comprimento L , altura H , largura B e módulo de Young E . A barra é tensionada com uma carga vertical uniforme q e uma variável desconhecida de distribuição $P(x)$, que é a reação do solo. A equação da deflexão da barra (desconsiderando-se o efeito do cisalhamento na barra) é uma equação diferencial de segunda ordem.

A interação solo-fundação (ISF) associada à movimentação do solo.

Quando ocorre qualquer movimentação no solo, o ambiente construtivo modifica-se, remodelando todos os parâmetros geotécnicos previamente conhecidos havendo, como consequência, deformações e até deslocamentos nos elementos de fundação/ construção. Apenas recentemente, em 2008, atentou-se para a importância do fenômeno da interação solo-fundação, considerando-se a movimentação do solo, a qual impôs diferentes abordagens para sua compreensão. A movimentação de uma construção, como um todo, é diferente da alteração do solo na condição de um terreno virgem. A desconsideração da ISF, pode conduzir a uma superestimativa de deslocamentos e deflexões em uma construção. Os casos recentes em São Paulo e no Rio de Janeiro, durante a escavação de trechos do metrô, ilustra bem este recente fenômeno, onde a profundidade dos túneis, o método de escavação e a condição geológica são analisadas, porém sem a presença de edificações e o conhecimento da magnitude do processo de recalque/deslocamento/ movimentação da superfície do solo a médio e longo prazos. Estes exemplos ilustram a importância do fenômeno da ISF. A simplificação ou o próprio desconhecimento do assunto, faz considerar as estruturas infinitamente flexíveis, se acompanharem o perfil de subsidência do solo virgem. Para estruturas que não podem ser consideradas infinitamente rígidas, supor

uma transmissão total de movimentos em campo livre pode, claramente, conduzir a uma su-

perestimativa do processo de deflexão final da construção e, portanto, de seus danos.

REFERÊNCIAS

- Bakri BASMAJI - Développement d'un modèle analytique d'interaction sol-structure pour l'étude du comportement mécanique des structures soumises à un mouvement de terrain – influence des déformations de cisaillement et de la plasticité Université de Lorraine, 2016.
- Cassan M. (1988). In-situ tests in soil mechanics. Vol 1, Eyrolles editor, Paris, 574 pages.
- Caudron M. (2007). Etude expérimentale et numérique de l'interaction sol-structure lors de l'occurrence d'un fontis. Thèse de Doctorat - INSA – Lyon – France.
- Celep Z. et Demir F. (2007). Symmetrically loaded beam on a two-parameter tensionless foundation. Structural Engineering and Mechanics, 27, pp. 555-574.
- Chandra S., Madhira R. et Iyengar N.G.R. (1987). A new model for nonlinear subgrades. Mathematical Modelling, 8, pp. 513-518.



Leica Geosystems introduces 3D machine control solution for compact excavators and backhoes with swing boom

The Leica iCON iXE3 3D excavator machine control solutions will be available for smaller excavators with swing boom, providing an easy-to-use solution on one unified software and hardware platform.

(Heerbrugg, Switzerland, 2021) Leica Geosystems, part of Hexagon, today announced to extend the Leica MCI one-for-all software platform by offering its 3D machine control solution for compact excavators and backhoes with swing boom.

Contractors rely on efficient workflows for applications such as trenching for footings, grading ditches or digging out basements. As such, demand for technology-enabled compact equipment is rapidly growing. Whenever applications require a consistent grade and sustained slope, 3D machine control solutions from Leica Geosystems excel on the job.

Leveraging the Leica MCI – a unified

platform for software and hardware – means compact equipment benefits from flexible dataflows, easy-to-use interfaces and increased productivity so operators can focus on the job. Operators also have the flexibility to use the MCI's portable control panel across multiple machines and benefit from the cloud-based collaboration platform Leica ConX, to share and report as-built documentation with office and field stakeholders.

LEICA GEOSYSTEMS

Contact us

Communications Team

Leica Geosystems AG

CH-9435 Heerbrugg

Switzerland

media@leica-geosystems.com

HETEROGENEIDADE DO SOLO, FUNDAÇÃO E RECALQUES DIFERENCIAIS. O QUE PRECISA A INTERAÇÃO?



Figura 1 - Processo de correção do recalque diferencial em tanques industriais, fazendo melhoramento do solo com geoenrijecimento, readequando-o ao sistema de fundação existente.

A variabilidade espacial do solo suporte é, sem dúvida uma das principais fontes de anomalias e mal funcionamento de uma construção. A alternância de sua rigidez, provoca diversos tipos de recalques que induzem campos de tensões parasitas e, consequentemente, deslocamentos em seus elementos de fundação, assim como fissuras, trincas e fraturas na edificação. Em uma primeira análise, destas consequências, exige-se primeiro, a sequência da identificação, quantificação e mo-

delização da fonte de variabilidade como, por exemplo, a rigidez do solo. Segundo, uma análise da resposta da construção assentada sobre o solo. Sabe-se que o comportamento de uma construção, baseia-se na razão do tamanho da correlação do solo, com as dimensões características da geometria do problema (largura de um elemento de fundação, distância entre apoios, etc), fundamentada no modelo mecânico muito simples de Winkler, para a interação solo-fundação, que assume ou supõe uma reação elástica unidimensional sob a estrutura da construção. Neste estudo, sugere-se analisar a forma

como o recalque unidimensional de uma fundação direta, e o recalque diferencial entre duas sapatas vizinhas, dependem das dimensões pré-citadas, melhorando-se a modelagem do solo, supostamente um meio contínuo, cuja variabilidade de sua rigidez é modelada segundo a teoria dos campos aleatórios, que aplica ferramentas matemáticas e estatísticas para representar a variação das propriedades do solo como sua resistência, permeabilidade, densidade, etc, que variam de forma imprevisível no espaço, permitindo uma análise mais realista e robusta do com-

ÃO DIRETA E CISAMOS SABER SOBRE



portamento geotécnico do solo, considerando-se suas incertezas naturais.

As Hipóteses

Presumindo-se que as características do solo são elásticas, admitindo-se um comportamento não linear que, empregando-se o método do Monte Carlo, (técnica de simulação estatística, utilizada para resolver problemas complexos, com base na geração de grande quantidade de amostras aleatórias, a partir de distribuições de probabilidades dos parâmetros geotécnicos envolvidos,

como por exemplo a resistência do solo, permeabilidade e etc), que exige, geralmente, tempos de cálculo proibitivos. O módulo de elasticidade médio $E_{\text{may}} = 10\text{Mpa}$, tendo um coeficiente de variação de 30%, ou seja, um desvio padrão de $\sigma_E = 0,3$ com $E_{\text{may}} = 3\text{Mpa}$. Os efeitos da variação do coeficiente de Poisson nos resultados são considerados insignificantes. Em todos os pontos, considerou-se o módulo de elasticidade do solo como um campo escalar aleatório gaussiano estacionário, que obedece a uma lei de covariância exponencial (modelo utilizado para descrever a dependência espacial entre variáveis

geotécnicas, ao longo de distâncias horizontais e verticais, ideal para se aplicar em problemas relacionados à heterogeneidade do solo). Utilizou-se o método das faixas rotativas (que simula a variabilidade espacial dos parâmetros do solo, através de faixas de valores variáveis, em um domínio, alterando-se com a distância ou a direção) para reproduzir a correlação espacial.

$$C_{ij} = \rho_E^2 \exp(-\lambda/d_{ij})$$

Onde d_{ij} é a distância entre os pontos considerados e λ é o comprimento da correlação. No caso de solos anisotrópicos, associa-se vários tamanhos de correlações diferentes, às direções da anisotropia. A utilização do método das faixas rotativas, exige uma malha regular que respeite a anisotropia da correlação espacial (portanto isotrópica neste caso).

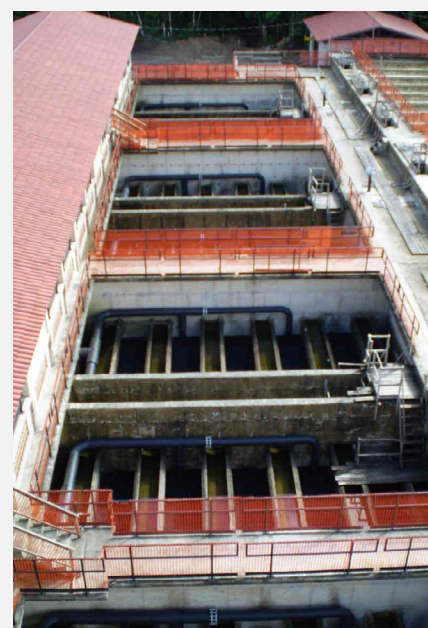


Figura 2 - Estações de tratamento de esgotos são casos típicos de presença de recalques diferenciais, devido a heterogeneidade do solo de fundação.

Para representar corretamente a variação das características do solo, a dimensão h dos elementos finitos é, no máximo, igual a um terço do comprimento da correlação ($h < \lambda/3$). Assumiu-se a hipótese do meio bidimensional, com deformações planas (modê-

lo simplificado de solo, onde as deformações/ deslocamentos ocorrem em único plano, associado à condição de equilíbrio plano, muito utilizado em estabilidade de taludes, fundações, etc). Esta hipótese equivale a considerar um tamanho infinito de correlação, na direção fora do plano. A natureza tridimensional da variabilidade espacial, induz mecanismos específicos.

O caso de uma sapata isolada.

Simulou-se o caso de uma sapata com largura $B=1\text{m}$, perfeitamente apoiada no solo, impondo uma pressão uniforme de $p=300\text{kPa}$, correspondente a uma tensão típica em um solo com módulo igual a 10Mpa . Bloqueamos o movimento da borda inferior da sapata, simulando ausência de recalque, assim como seu movimento lateral, conforme figura abaixo. A ação

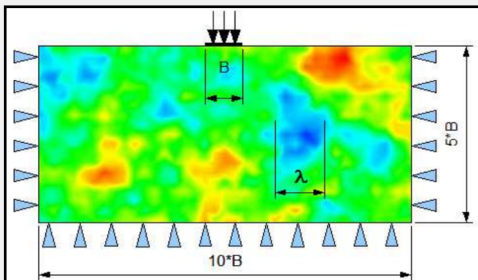


Figura 3 - A geometria e condições de contorno do problema.

da sapata é representada por uma pressão uniforme de 300KPa , objetivando-se uma situação de recalque, δ , e de rotação, ω , em seu centro. Considerou-se um domínio retangular, com altura $H=5B$, de modo a limitar os efeitos de borda, mantendo razoável o tamanho do problema. Avaliamos a evolução do processo de recalque, δ , no centro da amostra da sapata, de modo a otimizar o estudo, considerando-se uma largura, Lx . A seguir, traçamos, na curva, o erro relativo, $e = (\delta - \delta_\infty) / \delta_\infty$ em função da razão Lx/B . O restante do cálculo foi realizado com um valor de $Lx/B=10$.

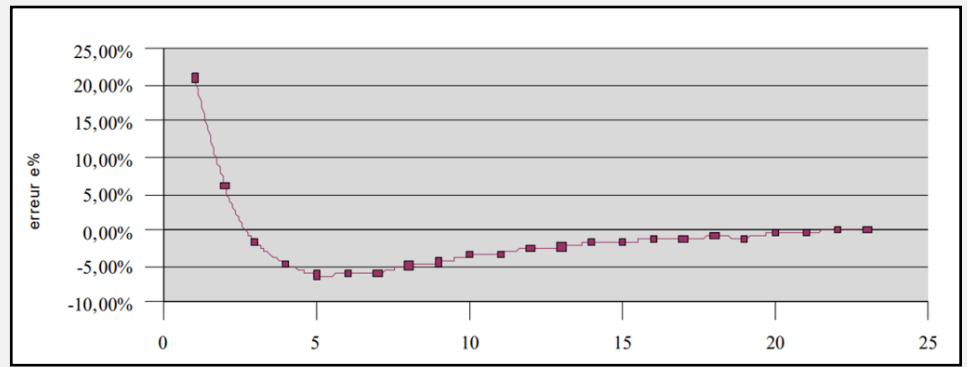


Figura 4 - Influência da largura do domínio sobre o erro relativo do deslocamento.

O modelo numérico

Uma malha comum é formada com elementos triangulares de 3 nós (CST), com dimensão de um décimo da largura da sapata ($h=B/10$), induzindo um limite inferior de $\lambda > 3B/10$ para a correlação. A diminuição do domínio ($10B \times 5B$) não impõe um limite superior ao tamanho característico, no entanto, grandes valores de λ fornecerão, no domínio, distribuições quase homogêneas do módulo de elasticidade, E , mesmo que permaneça a grandeza aleatória das características do solo. A figura 5 apresenta 4 realizações de grandezas aleatórias, considerando-se diferentes valores de λ/B .



Figura 6 - Grandes tanques industriais com presença de recalques diferenciais.

A influência do tamanho da correlação.

Cada tamanho de correlação permite obter 500 cálculos, com impressões independentes do módulo de elasticidade, distribuindo-se uniformemente, em escala logarítmica com intervalo $[B/3; 500B]$, de acordo

com com a fórmula $\log(\lambda_i/B) = \epsilon_i$, com $\epsilon_i = 0,1$ (não logaritmo) e $-5 < i < 27$. Para cada valor de λ_i , calculou-se a média e a variância do deslocamento, δ , além do valor absoluto da rotação, ω , em todas 500 simulações. Para o recalque, o valor médio δ_m depende pouco de λ_i , no entanto, o desvio

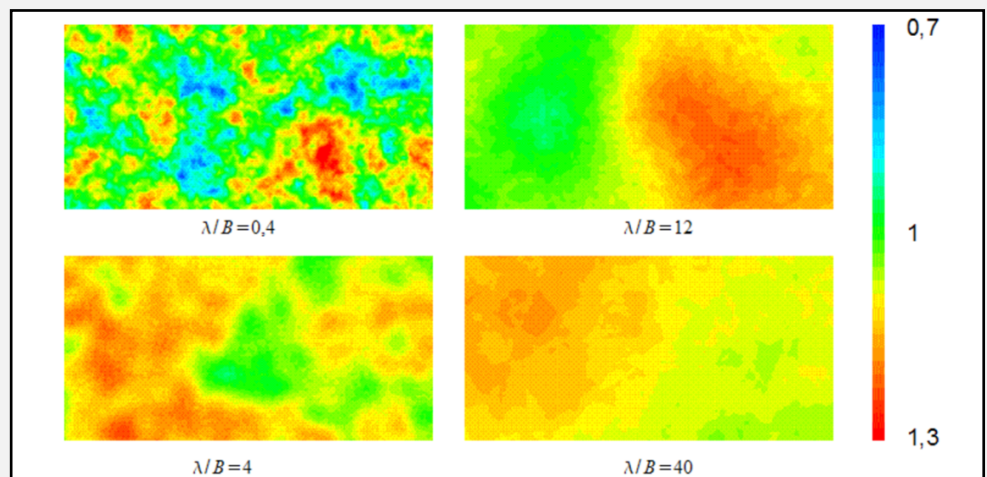


Figura 5 - Campo aleatório de $E(x)/E_{moy}$ para diferentes valores de λ/B .

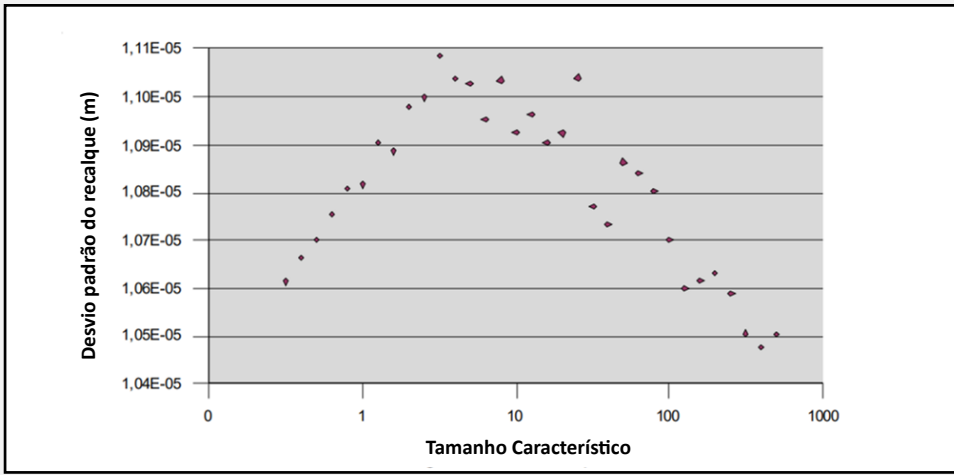


Figura 7 - Influência do tamanho da correlação no desvio padrão do recalque.

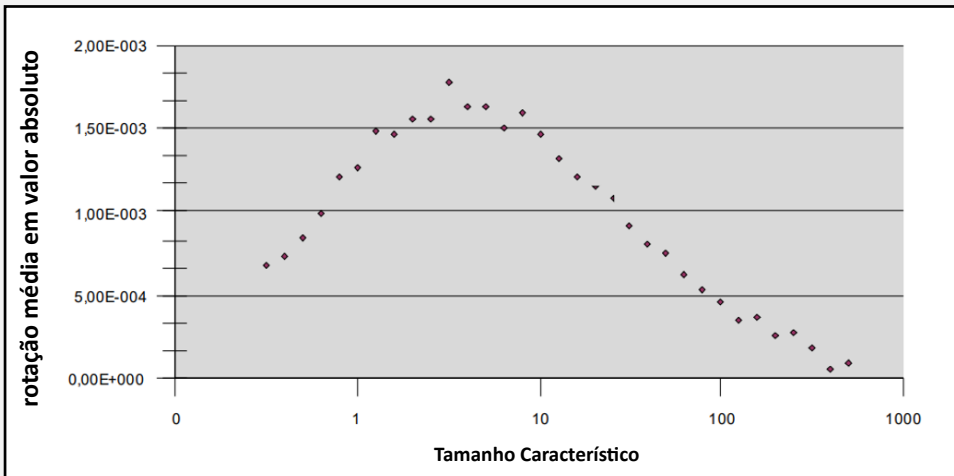


Figura 8 - Influência do tamanho da correlação sobre a rotação.

padrão δ segue uma variação não monótona, tendo um máximo quando a razão λ_i/B_i fica entre 5 e 10, de acordo com a figura 7. A média do valor absoluto da rotação é um elemento que evidencia a importância da heterogeneidade do solo, ou seja, conceituando-se um solo homogêneo este valor é identicamente nulo. Sua evolução, em função do tamanho representado, revela as mesmas particularidades do desvio padrão do recalque, conforme figura 8.

Esta evolução não monótona é um resultado clássico, que pode ser explicado da seguinte maneira:

- Quando λ_i/B tende à zero, a heterogeneidade do solo, sob a sapata, é atenuada e tudo acontece como se fosse homogêneo.
- Quando λ_i/B tende ao infinito, a variação espacial das propriedades do solo é demorada, ao nível da sapata e, no-

vamente, tudo ocorre como se o solo fosse homogêneo.

- É nestas condições intermediárias que o efeito da heterogeneidade do solo é mais marcante.

O caso de duas sapatas e a análise do recalque diferencial.

O problema é modelado da mesma maneira que anteriormente considerando-se, apenas, duas sapatas distantes de um comprimento, D . o tamanho do domínio é modificado de acordo com a figura 9. Registra-se o recalque diferencial, δ_{12} , entre as duas sapatas, podem tornar-se o centro do problema na estrutura da construção. Considerando-se recalques inde-

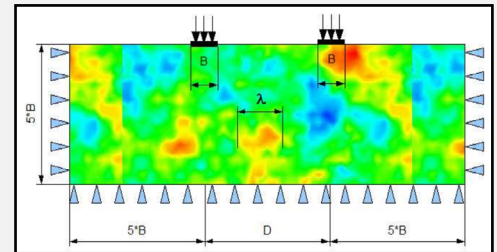


Figura 9 - Geometria e condições de contorno do problema.

PRESSIÔMETRO

Um ensaio geotécnico completo realizado no campo

Fácil de operar e 100 % viável

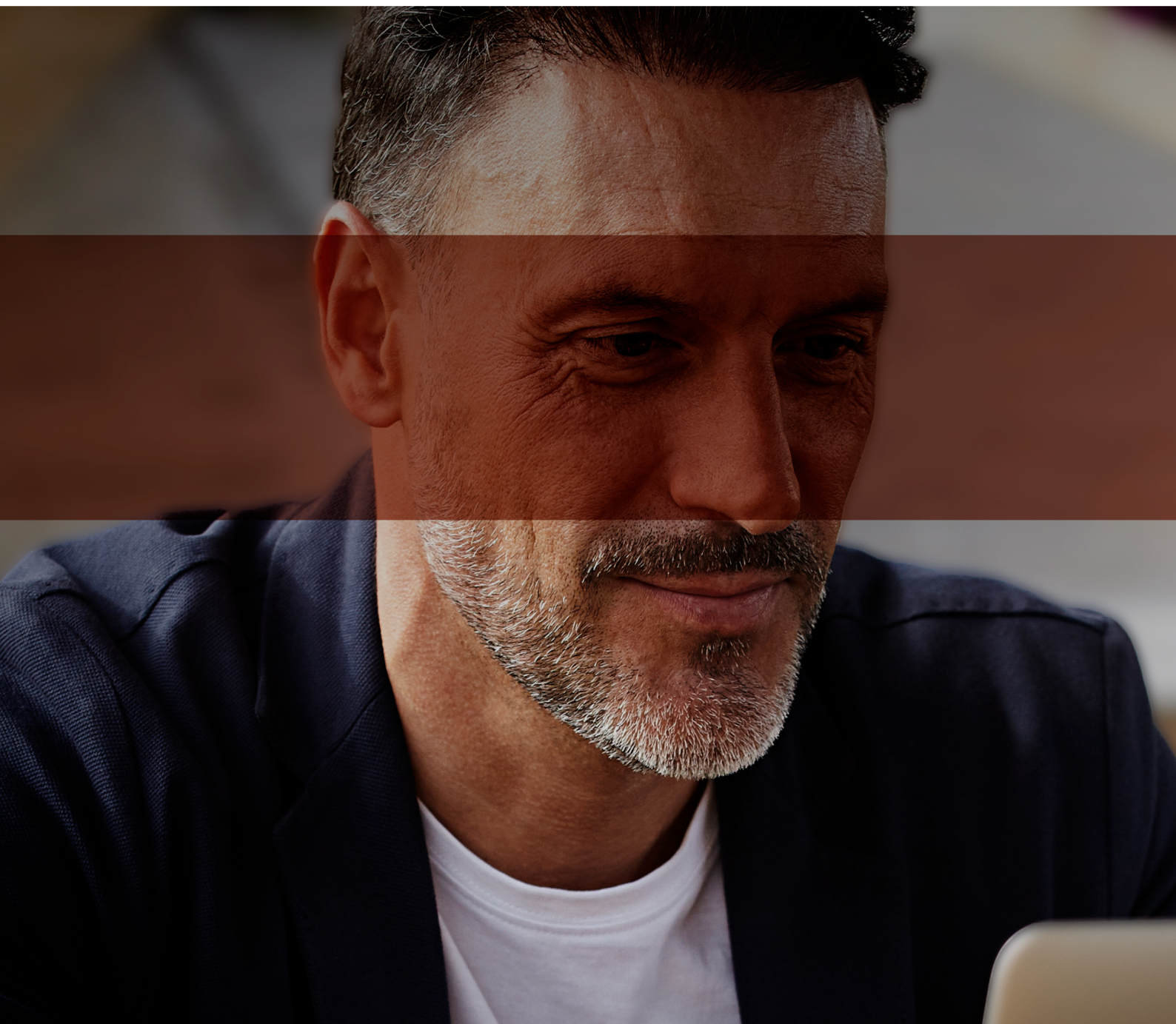
ROCTEST

Representante exclusivo no Brasil

+55 21 2718 3968

3Geo vendas@3geotecnologia.com

TECNOLOGIA www.3geotecnologia.com



- :: NOTÍCIAS EM TEMPO REAL;**
- :: ANÁLISES EM PROFUNDIDADES;**
- :: CONSENSO DE OPINIÕES SOBRE SOLUÇÕES;**
- :: GRÁFICOS E FERRAMENTAS ANALÍTICAS**

Os principais dados e informações, antes disponíveis apenas por especialistas, agora estão abertos pra você também tomar as melhores decisões na hora de projetar e fazer negócios. Em um só lugar, um serviço completo com a chancela da instituição especialista em melhoramento de Solos moles, com quase 50 anos de experiência.

CHEGOU SUA
VEZ DE TER

VISÃO

MAIS PROFISSIONAL
DA GEOTECNIA
DO SOLO MOLE.



SOFT SOIL
BRAZILIAN
INSTITUTE

ACESSE [SOFTSOILBRAZILIANGROUP.COM](https://softsoilbraziliangroup.com) E ESCOLHA
A EDIÇÃO IDEAL PARA SUA PESQUISA.



pendentes, a variância do recalque diferencial é o dobro da pertencente aos recalques individuais. No solo de fundação, os resultados são diferentes por duas razões:

- Quando as sapatas estão próximas ($D < \lambda$), as propriedades do solo base, tendem a se correlacionar e o recalque diferencial é reduzido.
- Quando as sapatas encontram-se próximas, cada uma contribui para o recalque da outra. Esta proximidade mecânica é, no entanto, insignificante quando comparado ao caso anterior.

Na realidade, a resposta do sistema é governada por três dimensões B, D e λ , de acordo com a figura abaixo. Na realidade, a resposta do sistema é governada por três dimensões B, D e λ , de acordo com a figura abaixo.



Figura 11 - Empreendimento industrial situado em Recife, PE, construído sobre solos moles com fundação em radier para tensões de 3kg/cm^2 . Recalques diferenciais...



Figura 12 - ... Ao longo do radier, exigiram melhoramento do solo para readequação ao radier.

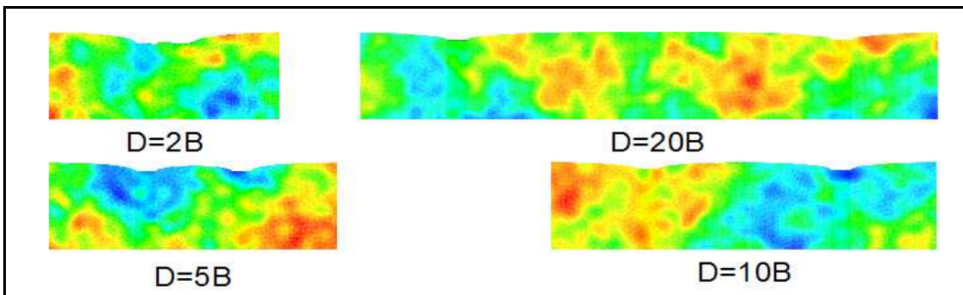


Figura 10 - Aspecto do maciço deformado para diferentes valores de D e $\lambda = 5B$.

Realizou-se o cálculo com 32 valores de λ e 4 distancias, D, entre sapatas, sendo que em todas os casos, manteve-se $B=1$. Os resultados são, então, apresentados como função das razões adimensionais λ/B e D/B , sendo que considerando a densidade da malha imposta pelo estudo preciso, o número de graus de liberdade variou de 48.682 para $D=2B$ e 121.402 para $D=20B$. Embora o cálculo tenha sido realizado em um computador com alta capacidade (processador duplo opteron de 64 bits com 8GB de memória), limitou-se o número de impressões a 250, de modo que o tempo de cálculo não fosse longo.

Estudo do recalque diferencial.

Objetivou-se a variação do recalque diferencial, devido as duas relações λ/B e D/B . Com um recalque diferencial δ_{12} , apresentando média zero (cada sapata com probabilidade $\frac{1}{2}$ de recalque maior que a do lado), desenvolveu-se com o seu valor absoluto δ_{12} . Para facilitar o entendimento, evitar-se-á utilizar a notação II. Como objetivou-se estimar o risco de problemas na estrutura, torna-se natural quantificar um valor pouco significativo para o recalque diferencial. Optou-se pela utilização de um recal-

que diferencial característico δ_{12} (em valor absoluto) correspondente com uma autossimilaridade de 95% que, desta forma, tem apenas 5% de probabilidade de ser excedido. A evolução dos recalques diferenciais médio e característico, seguem as mesmas tendências, revelando-se um máximo para um valor λ/B entre 1 e 10, com a posição do pico da curva dependendo da relação D/B , que move-se para a direita quando aumenta, de acordo com a figura a seguir.

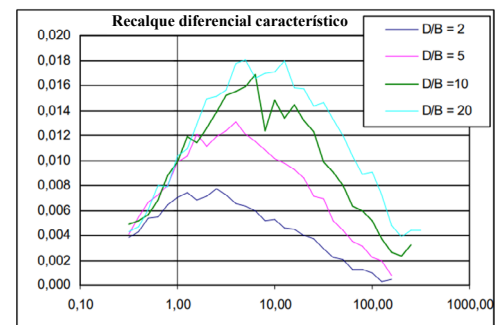


Figura 12 - Recalque diferencial característico δ_{12} em função de λ/B e D/B .

Torna-se interessante também, analisar a variação da relação δ_{12m}/σ_8 , onde o denominador é o desvio padrão do

Como fazer interação solo-fundação quando há solo mole?

A interação solo-fundação, quando há presença de solos moles, desafio crítico na engenharia geotécnica, apresentam baixa resistência ao cisalhamento, alta compressibilidade e grande suscetibilidade a recalques diferenciais. Para abordar este problema, é essencial considerar métodos adequados de análise e solução específica geotécnica para garantir rigidez e estabilidade, garantindo o desempenho estrutural da fundação.

Métodos de Análise da Interação Solo-Fundação

Modelagem Numérica

- Método dos Elementos Finitos (MEF), utilizado para modelar o comportamento não linear do solo e prever recalques;
- Modelos Constitutivos para Solos Moles;
- Modelo Cam-Clay Modificado (MCC) para solos argilosos saturados;
- Modelo Hardening Soil para representar melhor o comportamento tensão-deformação;
- Modelo Viscoplastico para analisar a evolução do recalque ao longo do tempo.

Métodos Empíricos e Semiempíricos

- A teoria de Winkler representa o solo como uma série de molas independentes.
- A teoria de Pasternak adiciona uma camada de interação entre molas, para melhor representar o comportamento do solo mole.
- O Método de Terzaghi & Peck faz a previsão de recalques.

Estratégias para Melhorar a Interação Solo-Fundação

Escolha do Tipo de Fundação

Fundação Rasa (Sapatas e Radier).

- Quando usar? Quando a profundidade da camada mole for pequena (< 3 m) e há solo resistente abaixo.

Solução

- Aumentando a área da fundação, reduz-se a tensão aplicada ao solo;
- Utilizando-se radier, distribui-se melhor as cargas e reduz-se recalques diferenciais;
- A drenagem, com o pré-adensamento, reduz recalques pós-construção.

Fundação Profunda (Estacas).

- Quando o solo mole é profundo e as cargas são eleva-

das, tornando o melhoramento do solo inviável.

Solução:

- Estacas de atrito funcionam melhor em solos moles, pois aproveitam o atrito lateral;
- Estacas encamisadas reduzem o efeito negativo do solo mole sobre a estaca.

Técnicas para reduzir o recalque no Solo

• Pré-adensamento com Drenos Verticais (PVDs)

Acelera a dissipação de poropressões, reduzindo recalques a longo prazo. Não é efetiva quando há depósitos de solos moles com profundidades superior a 5m.

• Colunas de brita e DSM

Aumentam a capacidade de carga e melhoram a drenagem, no entanto, promovem bastante recalque diferencial, já que o solo mole permanece entre colunas. Seu mecanismo de atuação é por transferência de carga para camadas resistentes. Por isso, não são técnicas de melhoramento do solo.

• Geodrenos sintéticos

Auxiliam na estabilização e no controle de recalques de maneira superficial, apenas. Técnica bastante limitada. Não é melhoramento de solo.

Técnica de Melhoramento efetivo do solo

O melhoramento efetivo do solo é feito com geoenrijecimento, utilizando-se o CPR Grouting, que consolida rapidamente o solo argiloso mole, tornando-o rijo.

Monitoramento e Controle

- Placas de recalque são necessárias para medir a evolução do processo de recalque durante a obra;
- Piezômetros avaliam a dissipação da poropressão;
- Ensaios in situ, tipo SPT, CPTu e Vane Test verificam o comportamento apenas antes do melhoramento do solo. Após, pelo fato do solo, agora, possui dois componentes, só pode ser avaliado com ensaios pressiométrico e sísmico por meio de tomografia por imagens, informando a resistência e a rigidez do solo através da conversão da velocidade da onda.

Conclusão

A escolha entre fundação rasa ou profunda depende da profundidade da camada mole e da viabilidade econômica. Métodos de tratamento do solo são essenciais para reduzir recalques e melhorar a segurança da fundação. O melhoramento efetivo do solo é a melhor opção. O monitoramento contínuo é fundamental para avaliar o desempenho ao longo do tempo.

recalque individual da sapata. As curvas da figura anterior, não apresentam mais o formato dos gráficos anteriores, revelando um platô para valores inferiores da relação λ/B , cuja altura pode ser calculada analiticamente,

correspondendo à situação em que $D \gg \lambda$ (na prática, D é da ordem de 6λ , analisando-se as curvas), considerando-se os dois recalques como independentes. Ao se considerar a hipótese (correta) de uma distribuição gaussiana ou normal (um tipo

de distribuição de probabilidade contínua, caracterizada por uma curva simétrica em forma de campânula, definida pelos parâmetros média, que representa o valor central e o desvio padrão, que representa a dispersão dos

valores em torno da média), do recalque, poder-se-á expressar:

$$\delta_{12 \text{ moy}} \leq (2/\sqrt{\pi}) \sigma_{\delta} \approx 1.128 \sigma_{\delta}$$

Que representa bem o resultado das simulações. De maneira similar, poder-se-á demonstrar que o recalque característico (com risco de 5%) limita-se a:

$$\delta_{12 k} \leq 1.96 \sqrt{2} \sigma_{\delta} \approx 2.77 \sigma_{\delta}$$

Simulações numéricas para estimativa dos recalques absoluto e diferencial, em fundações diretas, baseiam-se nas modelagens por campo aleatório e Monte Carlo, o que permite caracterizar a influência dos elementos de fundação e suas dimensões. Verificou-se que há uma faixa crítica, correlacionando o solo com a distância/dimensão das sapatas, havendo dependência da distância entre elas. Verificou-se, também, que o

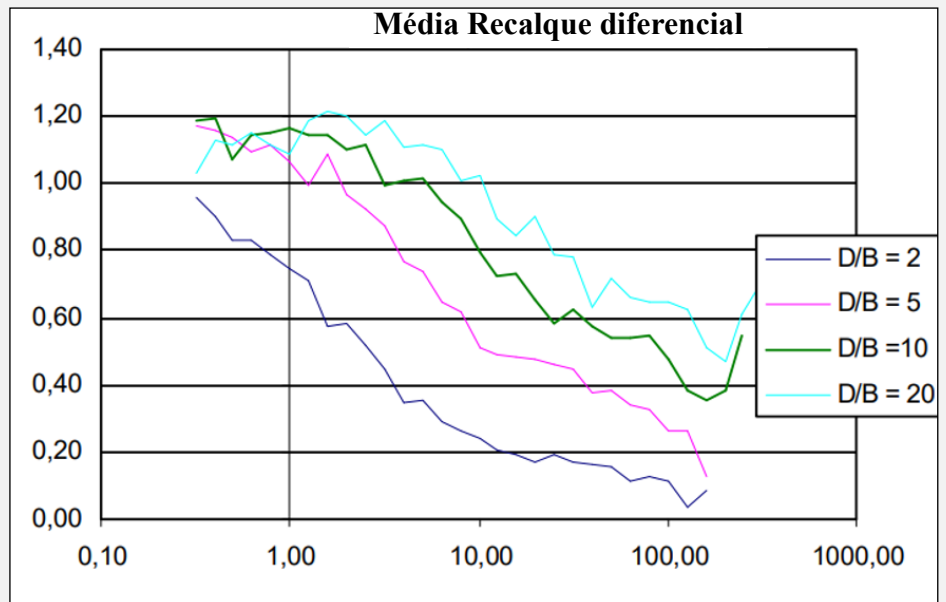


Figura 13- Relação entre a média do recalque diferencial δ_{12} e o desvio padrão do recalque individual ρ_{δ} em função de λ/B e D/B .

recalque diferencial característico, é limitado a um valor múltiplo do recalque individual médio, tornando possível estimar, de forma simples, o recalque diferencial que provavelmente ocorrerá com uma

probabilidade previamente fixada. Esta regra simples permite considerar os efeitos da heterogeneidade do solo, sem necessidade de recorrer à modelagens complexas.

REFERÊNCIAS

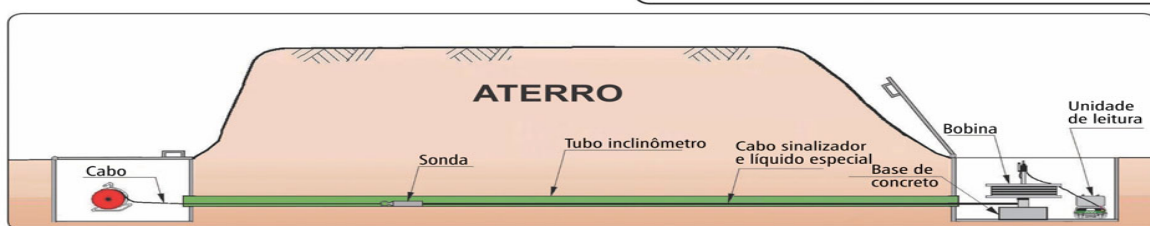
- Roger Kim é engenheiro geotécnico especializado em melhoramento de solos moles.
- Étude du Tassement Différentiel Sur Sols Hétérogènes - Christian La Borderie - et Denys Breyse. Université de Bordeaux I, 2007.
- Elachachi S., Breyse D., Houy L. " Longitudinal variability of soils and structural response of sewer networks ". Computers and Geotechnics 31. p. 625-641, 2004.
- Matheron G. " The intrinsic random functions and their applications ". Advances in applied probability 5. p. 439-468, 1973.
- Przewlocki J. " Reduction of dimensions in random elastic soil medium ". International Journal of Solids and Structures 36. p. 5233-5254, 1999.

Medidor Portátil do Perfil de Recalques

Este equipamento mede, precisamente, recalques e levantamentos através de aterros, estradas, tanques, etc. O perfilômetro tem sonda conectada com cabo sinalizador e tubo genérico com líquido especial. Quando a sonda passa através do tubo inclinométrico ou qualquer tubo de PVC, analisa a pressão existente, calculando-a como deslocamento vertical.

Aplicações:

- Aterros rodoviários e barragens.
- Reservatórios de água.
- Pontes e viadutos.
- Recalque do solo de fundação.



Instalação do medidor do perfil de recalques

Para maiores informações, acesse: <http://softsoilgroup.com.br> ou envie um e-mail para: atendimento@softsoilgroup.com.br

Soft Soil Group



**SOFT SOIL
BRAZILIAN
INSTITUTE**



O SOFT SOIL BRAZILIAN INSTITUTE ajuda você a entender solos moles

Melhorar solos moles exige conhecimentos geotécnicos práticos e teorias sofisticadas. Cada obra é um caso específico que exige solução diferenciada.

softsoilbrazilianinstitute.com.br



PARCEIROS



Bentley
Institute
Field Training Partner

SOLUTEST

GEOKON

SOLUÇÕES CAD
BIM

**AB
MS**

Leica
Geosystems



TROGERTEC

ENGEGRAUT
INDUSTRIA E CONSTRUCOES

ROCTEST



**SOFT SOIL
BRAZILIAN
INSTITUTE**

**SOFT SOIL BRAZILIAN
INSTITUTE**

Rua Correia de Araújo, 12-
Barra da Tijuca
Rio de Janeiro/ RJ- Brasil-
CEP 22611-070
Tel: (21) 3851-6218

EDIÇÃO

DIRETOR EDITORIAL
M.Sc. Joaquim Rodrigues

DIRETORES ADJUNTOS

Eng° Thomas Rodrigues
Eng° Roger Kim
Engª Patricia Tinoco

**PUBLICIDADE, ASSINA-
TURA**

Cleide Ferreira

EDITOR DE ARTE

Victor Peres

REPRINTS EDITORIAIS

Mariana Tati

FALE CONOSCO

softsoilgroup.com.br
@engegraut
(21) 3154-3250
[atendimento@softsoilbrazilianinstitute.
com.br](mailto:atendimento@softsoilbrazilianinstitute.com.br)