

# Soft Soil Brazilian Review

## 4 Solos moles

Solo mole em empreendimentos logísticos. Do erro do estaqueamento ao melhoramento do solo.

## 12 Solos moles

O difícil trabalho de ampliar rodovias (I)

## 18 Recalques

Solo mole e recalques diferenciais na edificação (II)

## SOLO MOLE EM EMPREENDIMENTOS LOGÍSTICOS

DO ERRO DO  
ESTAQUEAMENTO  
EQUIVOCADO AO  
MELHORAMENTO  
DO SOLO



## INFORMAÇÕES SOBRE MELHORAMENTO DE SOLOS MOLES?

### O SOFT SOIL GROUP ajuda você a tocar sucessos

Melhorar solos moles exige conhecimentos geotécnicos práticos e teorias sofisticadas. Cada obra é um caso específico que exige solução diferenciada. Assista nossos Webinars para adquirir estas informações.

## Sumário

# Soft Soil Brazilian Review

Edição - Set / Out - Nº 07



  
A PRIMEIRA E ÚNICA REVISTA DIGITAL GEOTÉCNICA  
ESPECIALIZADA EM SOLOS MOLES.

SOLOS MOLES  
Solo mole em empreendimentos logísticos.  
Do erro do estaqueamento ao  
melhoramento do solo. **04**

Por Joaquim Rodrigues

SOLOS MOLES **12**  
O difícil trabalho de ampliar rodovias (I)

Por Thomas Kim

RECALQUES  
Solo mole e recalques  
diferenciais na edificação (II) **18**

Por Patrícia Tinoco

## EDITORIAL

Prezado leitor, a velha questão de se aprender com erros é ressaltada nesta edição, com empreendimentos logísticos que, de forma característica, impõe ao solo pequenas tensões da ordem de 5 ton/m<sup>2</sup>. A presença de solos moles induz, tradicionalmente aos projetistas, o uso de estacas considerando-se, até bem pouco tempo atrás, a ausência de outra solução para a fundação do empreendimento. Com o estaqueamento cria-se, tradicionalmente, situações bem particulares, considerando-se a alta rigidez imposta à estrutura do empreendimento. É interessante observar que, na maioria destes empreendimentos, pela situação do local, há necessidade de se empregar espessos aterros para se chegar ao greide de projeto, o que carrega o solo mole, isento de resistência. A partir daí, antes mesmo da construção iniciada, já começam as deformações no aterro. Inicia-se o pavimento do empreendimento, em toda a sua extensão, incluindo-se o estacionamento. A diferença de rigidez imposta à estrutura do empreendimento, sobre as estacas, e a do pavimento apoiado no aterro, sobre o solo mole, promove toda sorte de recalque diferencial, depreciando o negócio desde seu início. Esta situação é comum em todo o Brasil, o que caracteriza um erro de projeto, que se repete. O melhoramento do solo, com o Geoenrijecimento estabelece um novo padrão de solução para este tipo de empreendimento, caracterizado pela leveza das cargas impostas ao solo e, naturalmente, a interrupção do erro sistemático de se estaquear.

A engenharia necessária para se ampliar uma rodovia tem seus princípios e segredos, muitas vezes esquecido. O resultado são trincas longitudinais ao longo do pavimento, geralmente logo após sua execução, exatamente na junta que se formou entre o antigo e o novo. Os motivos são vários e o principal, talvez, seja a diferença de rigidez existente entre solo de fundação da antiga rodovia e o da ampliação que, muitas das vezes está sobre solo mole, além da ausência de escalonamento no antigo talude, etc. Esta matéria procura evidenciar estas causas, apresentar solução e casos de obras, o que a torna única e interessante.

Por último, continuamos a apresentar informações técnicas valiosas acerca do processo de recalque diferencial, conhecendo-se a morfologia das trincas e fissuras provocadas na estrutura, o que ajuda a compreender os movimentos existentes e suas causas. Boa leitura

Joaquim Rodrigues

# SOLO MOLE EM EMPREENDIMENTOS LOGÍSTICOS.

## Do erro do estaqueamento ao melhoramento do solo.



Figura 1 - Empreendimentos logísticos, típico como este, impõe diminutas tensões no solo da ordem de 5ton/m<sup>2</sup>, que com o melhoramento do solo encontra o melhor custo benefício. O estaqueamento pode até ser um pouco mais econômico, no entanto a ordem de problemas potenciais quando houver solo mole. A solução natural é o Geoenrijecimento.



Figura 2 - Construção logística. Extensão horizontal e cargas leves..

**C**onstruções logísticas ou industriais são formadas por sistemas simples, exigindo estruturas convencionais, cujo projeto exige o desenvolvimento de soluções inovadoras ou mesmo combinação harmônica entre alternativas pré-concebidas. No caso de suas fundações, particularmente, a definição da tecnologia a ser utilizada envolve o estudo



Figura 3 - Situações cada vez mais frequentes: grandes áreas para negócios logísticos.

das características do solo, as cargas a serem suportadas, as tecnologias disponíveis e o aspecto econômico-financeiro, como em todo início de empreendimento.

Quanto ao dimensionamento da fundação, deve-se atender não apenas os critérios de resistência mas, também, o do recalque que merecem atenção especial, pois costumam impedir a perfeita utilização da estrutura, bem como comprometer sua segurança, pelo surgimento de recalques superiores aos do projeto ou, simplesmente são previstos.

Edificações logísticas e industriais muitas vezes apresentam, em sua área, fundações rasas e profundas\* que, invariavelmente, desenvolvem comportamento de recalque bem distintos. Desta forma, é necessário analisar detalhadamente, de modo a limitar os recalques absoluto e diferencial, de modo a torná-los compatíveis evitando, assim, o mau funcionamento de equipamentos ou o comprometimento das funções da edificação devido a deformações diferenciais excessivas.

Normas relacionadas ao dimensionamento de galpões:

- NBR 6118 (2007) Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento
- NBR 6122 (2010) Projeto e Execução de Fundações
- NBR 6123 (1980) Forças devidas ao vento em edificações
- NBR 6120 (1980) Cargas para o cálculo de estruturas
- NBR 8681 (2003) Ações e Segurança nas Estruturas - Procedimento

Normalmente, são dispostas em extensas áreas, que ultrapassam os 50 mil m<sup>2</sup>, construídos com modulação de pilares mais ou menos padrão (cerca de 20m), constituí-



Figura 4 - Situação típica de um empreendimento logístico.

do por pavimento de concreto armado, de modo a suportar carga de estantes, equipamentos, e empilhadeiras. Na maioria dos casos, seus pilares são pré-fabricados de concreto armado e sua altura chega aos 10m. O telhado é, normalmente, metálico e pode ser muito leve, oferecendo pouca carga de compressão, chegando apenas a 75kg/m<sup>2</sup>. Ou seja, as cargas normais do empreendimento logístico ou industrial, que se depositam nos pilares, são muito pequenas.

A pior atuação de carga, neste tipo de empreendimento, é o vento. Como a estrutura é muito leve, no momento em que o vento bate, são gerados esforços de arrancamento nos pilares, que são transmitidos para as fundações, que precisam aguentar esforços de tração. Fundamentalmente, a carga de tração é que define o tipo de fundação do empreendimento.

Um pilar central tem, por exemplo, com a ausência de vento, 50 toneladas de carga normal.

Em uma situação bem comum, ter-se-á

um galpão de 40 mil m<sup>2</sup>, cujo terreno não é plano, sendo necessário realizar terraplanagem. Nesse momento, existirão regiões de aterro e de corte. Nas regiões de aterro, como comumente o solo do corte é aproveitado, deposita-se na região a ser aterrada. O fato é que, na maioria das vezes, esta região apresenta solo argiloso mole. Se, nesta condição, promove-se o aterro, ter-se-á um processo longo e penoso de recalques que inviabilizará o empreendimento. A opção correta é o geoenrijecimento desse depósito de solos argilosos moles, com CPR Grouting adequando-o, principalmente, às cargas do aterro a ser lançado que, na maioria das vezes, será mais pesado que a própria carga do empreendimento. Assim, como estacas não suportam aterros, a solução por estaqueamento é absolutamente contra-indicada, já que não impedirá a surgência de recalques diferenciais onde houver fundação superficial, ou mesmo o pavimento recalcará junto com o aterro.

Construídos, normalmente, por empreen-

dedores para locação, galpões logísticos precisam ter custo de obra viável para tornar possível uma boa negociação. Por isso, procura-se projetar a fundação logística, com soluções que respondam a todos os requisitos de segurança, da norma brasileira e, também, que tenha custo competitivo. A velocidade da construção de suas fundações é, portanto, também muito importante.

Como na maioria das vezes os galpões são alugados, quanto antes terminar a obra, mais cedo o investidor começará a receber. Assim, a solução mais viável é pelo geoenrijecimento do solo em todo o empreendimento, já que promove a homogeneização do solo de fundação, adequando-o ao empreendimento.

Sua tipologia pode ser de vão único, para pequenos vãos ou grandes e livres sem colunas internas, ou com vãos múltiplos, para grandes áreas cobertas ou, quando o tipo de ocupação permite, com colunas intermediárias. A necessidade de se obter operações velozes e eficientes, interligadas à serviços logísticos e às novas tecnologias do setor fazem com que este nicho imobiliário, antes impensável, apresente forte crescimento nestes últimos anos: estamos nos referindo aos condomínios de galpões, com solução logística proporcionando inúmeras vantagens.



Figura 5 - Construção logística. O melhoramento do solo não apresenta inconvenientes.

A escolha do tipo de fundação, para o empreendimento, deve satisfazer aos critérios de segurança, tanto de ruptura (da estrutura ou do solo), como de recalques incompatíveis com o projeto. Neste particular, o geoenrijecimento do solo promove a homogeneização de todo o solo de fundação, estabelecendo fundação superficial para todo o empreendimento.

A técnica de geoenrijecimento do solo,

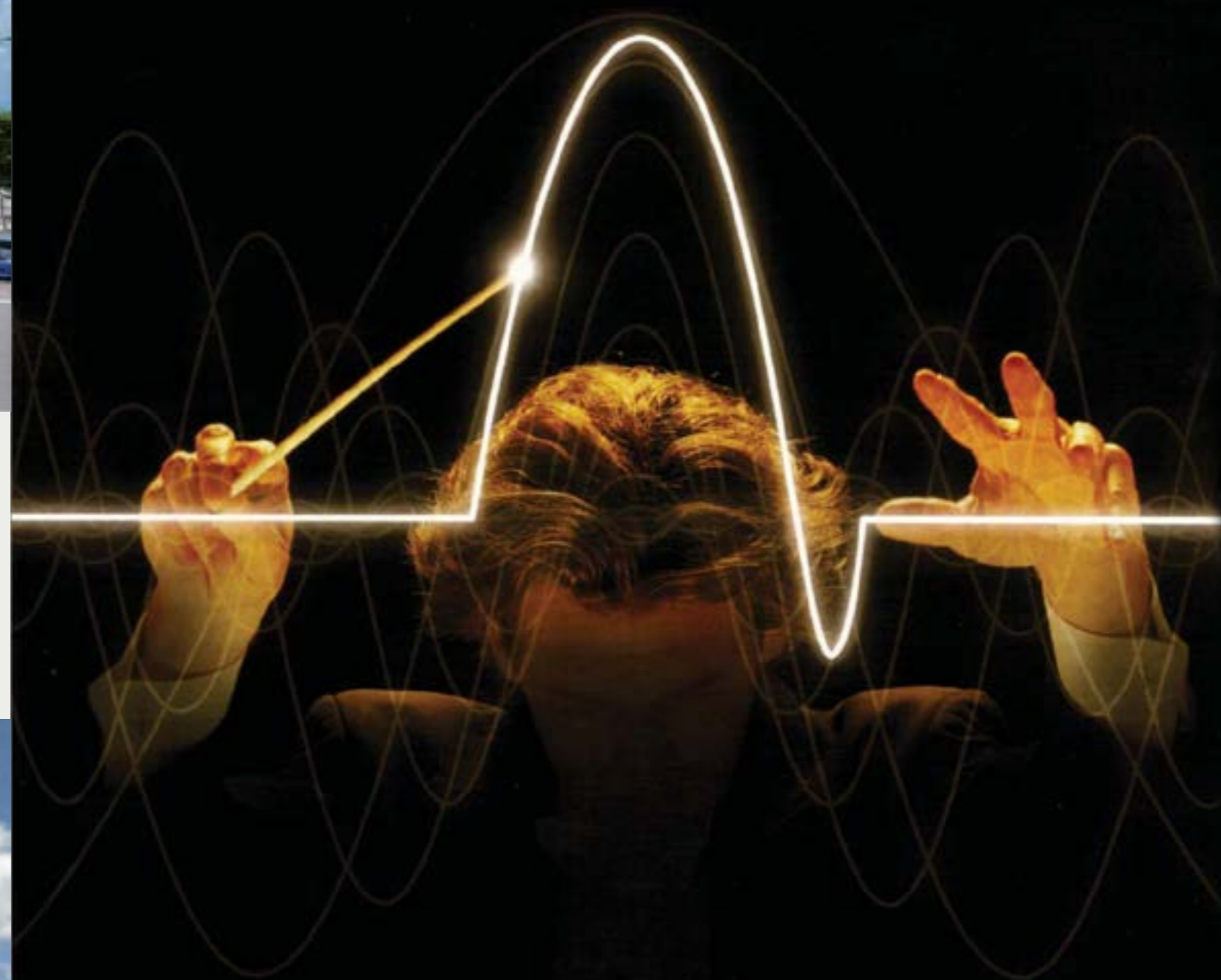
homogeneiza depósitos de solos moles e o próprio aterro, utilizado como conquista do local, sendo indicado para as seguintes situações:

- aterros não compactados;
- argilas mole;
- areias fofas e muito fofas;
- solos colapsíveis;
- solos expansivos.



Figura 6 - Melhoramento do solo em andamento para um futuro condomínio de galpões logísticos industriais. Ausência total de recalque diferencial.

## Soft Soil Group Apresenta



## Webinars de solos moles

Para maiores informações, acesse: <http://softsoilgroup.com.br/webinar>  
ou envie um e-mail para: [atendimento@softsoilgroup.com.br](mailto:atendimento@softsoilgroup.com.br)



Figura 7 - Construção logística. O estacionamento é solução com mais problemas que vantagens.

As cargas que devem ser consideradas em projetos logísticos são:

- Cargas Permanentes – Peso próprio da estrutura, das telhas, etc., conforme NBR 6120.
- Sobrecargas – Previsão para instalações e manutenção da cobertura, conforme NBR 8800.
- Cargas de Vento – Ações devidas aos ventos, conforme NBR 6123.
- Cargas das Pontes Rolantes – Ações verticais e horizontais e coeficientes de impacto, conforme NBR 8800 e os catálogos dos fabricantes das pontes.
- Combinações de Cargas – Exame de todas as combinações, na busca da combinações críticas.

Os principais elementos estruturais são:

- Colunas do pórtico e colunas do fechamento lateral e frontal;
- Contraventamento vertical e no plano das terças;
- Vigas inclinadas do pórtico e suas mísulas;
- Vigas de rolamento e consoles;

- Viga de beiral e cumeeira;
- Terças e vigas de tapamento;
- Tirantes flexíveis (correntes) e tirantes rígidos;
- Placas de base e chumbadores.

O ideal é que o empreendimento logístico tenha pé-direito de 10 a 15 metros livres, de modo que atenda bem à acomodação das mercadorias empilhadas. Uma altura desse porte, possibilita a boa disposição dos porta-pallets, permitindo uma boa verticalização do espaço para armazenar vários tipos de carga, facilitando o rápido acesso por parte dos funcionários e das empilhadeiras. O nível de carga, envolvido nas circulações exige que o pavimento suporte as mercadorias armazenadas sem trincar ou ceder, idealmente apresentando capacidade mínima para suportar 6 toneladas por metro quadrado, suportando bem não só a carga distribuída, mas também a movimentação das empilhadeiras, de outras máquinas e, obviamente, das pessoas. A área de pátio ideal varia de acordo com



Figura 8 - Construção logística. O uso de fundação profunda impõe toda sorte de recalques diferenciais.

a demanda, existindo no mercado extensões que vão de 4 mil metros quadrados até algumas dezenas de milhares de metros quadrados.

Serviços pertinentes à áreas logísticas de alto nível não se resumem ao que ocorre apenas em seu interior, devendo apresentar, por exemplo, estacionamento adequado para comportar veículos pequenos e de grande porte, incluindo rampas de acesso para o piso da área de depósito.

A presença de solos moles seja na fase de projeto ou para corrigir problemas de recalque em empreendimentos logísticos é comum. Na fase de projeto é frequente, infelizmente, a elaboração de fundação profunda para o empreendimento, permitindo-se que o restante da área, também aterrada, sofra recalques, particularmente na área de estacionamento, depreciando-o. De igual maneira, projeta-se estacionamento para a estrutura do empreendimento, deixando-se seu pavimento apoiado no solo, o que gera recalques diferenciais entre um e outro. Há casos insólitos de ausência de melhoramento do solo mole, construindo-se aterro e o empreendimento, seguido da paralisação porque os pilares pré-moldados saem de prumo ou da cota de assentamento.

Infelizmente, a situação mais trivial é a da surgência de recalques em diversas regiões do empreendimento logístico obrigando-se, na maioria dos casos, a paralisar-se a atividade produtiva para efetuar-se o geoenrijecimento do solo, adequando-o. Apresentaremos três situações triviais, conforme descrito, na próxima edição.

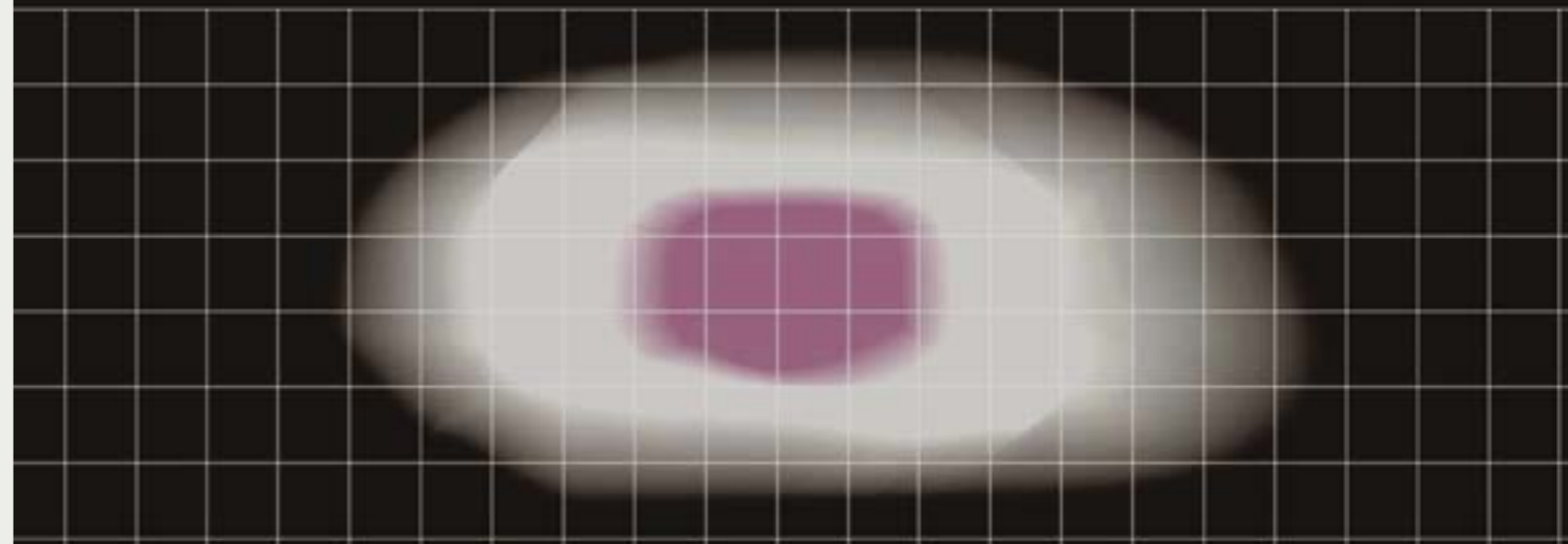
Empreendimentos logísticos, pela pouca carga atuante, em presença de solos moles, não deve ser motivo de esteaqueamento. Apenas o melhoramento do solo atende sobremaneira.



#### 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 tratamento de solos moles, sendo motivo de patente o GEOENRIJECIMENTO, utilizada hoje em todo o Brasil. Desenvolvimento de trabalhos de Grouting, com empresas parceiras nos EUA e Alemanha. Mais de um milhão de metros de verticais de geoenrijecimento executadas em solos moles com CPR Grouting, para a construção de aterros, estradas, portos, ferrovias e armazenagem.

# contaminação de solo?

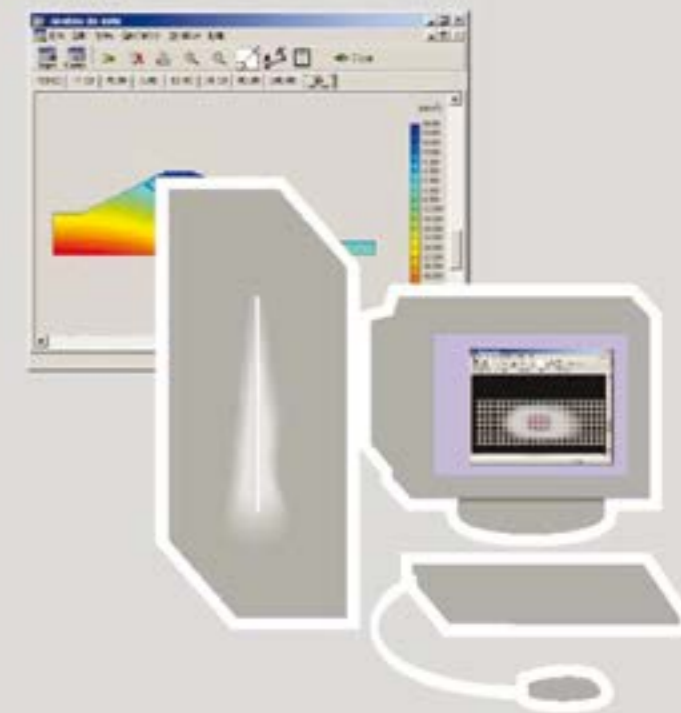


O segredo do tratamento de solos contaminados está na adequação do processo de compressão, confinamento e adensamento do solo, analisado com piezômetros e imagens tomográficas antes e depois.

Confie em quem tem experiência.



[www.engegraut.com.br](http://www.engegraut.com.br)



## SOLOS MOLES E SEU COMPORTAMENTO TEMPO-DEPENDENTE

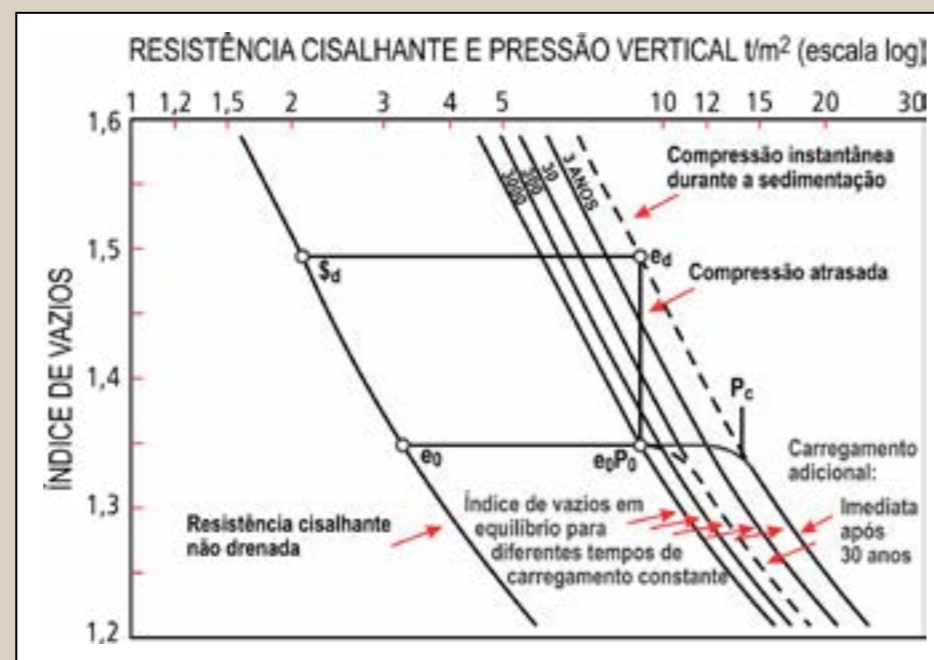
É perfeitamente conhecido o comportamento tensão-deformação, com dependência do tempo, quando se trabalha com solos argilosos. Desta forma, é essencial entender esta dependência, de modo a se conhecer e analisar possíveis processos de ruptura, a resposta da poro-pressão, consequentes deformações. Fenômeno importante correlacionado é a deformação secundária ou o estado de fluência, condição em que se encontra o solo mole quando as tensões efetivas já foram obtidas, estando constantes, após todo o processo deformativo primário ter ocorrido. Este estado de fluência, tem a ver com a expulsão de água adsorvida, presa na "dupla camada" formada pelas lâminas da argila, e ao rearranjo irreversível associado às deformações. Todos concordam que a água adsorvida, entre lâminas, nada tem a ver com a água livre, mandada embora durante o estado deformativo primário da consolidação. Quando as tensões efetivas ocorrem, a água adsorvida começa a se mover, lentamente, para fora das lâminas, impondo um novo equilíbrio no arranjo original do solo, estabelecendo um novo estado deformativo no solo, diante do carregamento externo presente. Está claro, portanto, que o estado de fluência ou de deformação secundária é independente da água "livre", presente nos poros do solo e, conseqüente, do processo de consolidação. Para esta condição tensão-deformação tempo-dependente, considerando-se carregamentos verticais fracionados e um estado deformativo a uma dimensão, Bjerrum (1967), propôs este modelo conceitual apresentado na figura ao lado. Após o período de "compressão atrasada", fluência ou deformação secundária, as argilas moles apresentam o estado eOP0, além de uma tensão de pré-consolidação "aparente" PC. Carregando-se além de P0, o estado de tensões no

solo mole passará de eOP0 para PC e, portanto, junto à chamada linha ou curva de "compressão imediata". Na figura, a passagem da compressão do solo eOP0 para PC é pequeno (com base na experiência de Bjerrum com argilas pouco plásticas e altamente sensíveis), e considerando-se uma compressão elástica. Após PC, a taxa de compressão é maior (com log-pressão). A pergunta então é: Deveríamos questionar o que Bjerrum chamou de compressão elástica ou imediata? Os estudos de Yin e Graham, 1989 e 1994, posicionaram que a tal compressão imediata ou elástica, não é uma linha representativa verdadeira, pois contém componente de fluência. A compressão do solo de eOP0 para PC, diagnostica toda a situação, e não exclusivamente uma compressão elástica. Evidencia, também, as "linhas do tempo", representadas pela compressão produzida em períodos idênticos de carregamento constante. Estas

linhas do tempo são, normalmente, obtidas a partir de testes de fluência, iniciados na fase do "normalmente consolidado". Yin e Graham, 1989, 1994, mostraram que as "linhas do tempo" também pode ser consideradas "Linhas do tempo equivalentes", induzindo que a taxa de fluência seja obtida tanto na condição normalmente consolidada quanto sobreconsolidada. Ou seja, é a vantagem do chamado conceito "tempo-equivalente".

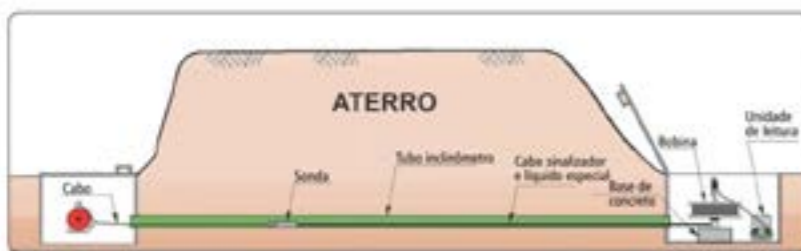
#### Referências:

- Bjerrum, L. 1973, "Problems of soil mechanics and construction on soft clays and structurally instable soils (collapsible, expansive and others)", Proceedings of the eighth conference on soil mechanics and foundation engineering, Mockba. Vol. 2, 109-159.
- Graham, J., Crooks, J. H., and Bell, A.I., 1983. "Time effects on the stress-strain behavior of natural soft clays", Geotechnique, 33, 327-340.



Modelo da linha do tempo de Bjerrum; o transcorrer da "pressão de pré-consolidação" aparente e a "compressão atrasada"

## Medidor Portátil do Perfil de Recalques (Perfilômetro)



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 inclinômetro 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.



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

Soft Soil  
Group

Soft Soil  
Group

SOFT SOIL GROUP

Rua Correia de Araújo, 131 - Barra da Tijuca

Rio de Janeiro/RJ - Brasil - CEP 22611-070

Tel.: (21) 3154-3250 • Fax: (21) 3154-3259

WEBSITE: <http://www.softsoilgroup.com.br>

E-mail: [contato@softsoilgroup.com.br](mailto:contato@softsoilgroup.com.br)

SOFT SOIL BRAZILIAN REVIEW

Diretor Editorial

ENGº JOAQUIM RODRIGUES

[joaquim@softsoilgroup.com.br](mailto:joaquim@softsoilgroup.com.br)

Diretores Adjuntos

ENGº THOMAS KIM

ENGº ROGER RODRIGUES

Publicidade

PATRÍCIA TINOCO

[patricia@softsoilgroup.com.br](mailto:patricia@softsoilgroup.com.br)

Assinatura, Livros e Vídeos

CLEIDE FERREIRA

[cleide@softsoilgroup.com.br](mailto:cleide@softsoilgroup.com.br)

Editor de Arte

ALEX CRISPIM

Reprints Editoriais

MARIANA TATI

[mariana@softsoilgroup.com.br](mailto:mariana@softsoilgroup.com.br)

Solicite reimpressões de reportagens

ou artigos publicados

"Soft Soil Brazilian Review" é uma revista digital com publicação bimestral.

## Agenda

14 a 16 de Agosto, 2019

Regeo 2019 (IX Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental) e o Geossintéticos 2019 (VIII Congresso Brasileiro de Geossintéticos)

São Carlos - SP

<http://www.regeossinteticos2019.com.br/>

20 a 25 de Setembro, 2019

ISRM 2019 - International Congress of Rock Mechanics Foz do Iguaçu - PR

<http://www.isrm2019.com/message.php>

7 a 11 de Setembro de 2019

6ª Conferência Internacional de Geotécnica e Geofísica

Budapeste, Hungria  
<http://www.isc6.org/>

11 a 14 de Setembro de 2019

Congresso Brasileiro de Redução de Riscos e Desastres - CBRRD Belém - PA

<http://www.cbrd2019.com.br/>

12 de Setembro de 2019

Workshop de Geofísica

Vila Mariana - SP

<https://www.abge.org.br/workshop-de-geofisica/> / [abge@abge.org.br](mailto:abge@abge.org.br)

29 de Setembro e 2 de Outubro de 2019

3rd International Conference on Information Technologies in Geo-Engineering

Guimarães - Portugal

[3rd-icitg2019.civil.uminho.pt](http://3rd-icitg2019.civil.uminho.pt)

14-18 de outubro de 2019

XVI Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical

Engineering

Chinese Taipei, Taipei  
[www.16arc.org](http://www.16arc.org)

16 a 18 de Outubro de 2019

GeoMin - Congresso de Geotecnia Aplicada à Mineração

Ouro Preto - MG

[panamerican2019mexico.com](http://panamerican2019mexico.com)

17 a 19 de Outubro de 2019

GeoSUL - XII Simpósio de Práticas de Engenharia Geotécnica da Região Sul

Joinville - Santa Catarina

<http://geosul2019.com.br>

8 e 9 de Novembro de 2019

GeoBASE - Seminário Geotécnico Bahia/Sergipe

Cruz das Almas - BA

<https://geobase2019.com.br/>

13 e 14 de Novembro de 2019

GeoNE - 6º Simpósio de Geotecnia do Nordeste

Recife - Pernambuco

<http://www.geone.com.br/2019/inicial/>

17 a 20 de novembro de 2019

XVI Congresso Pan-Americano de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica

Cancún - México

[panamerican2019mexico.com](http://panamerican2019mexico.com)

26 a 29 de Abril de 2020

Geoamerica 2020 - 4º Congresso Panamericano de Geossintéticos

Rio de Janeiro - RJ

[geoamericas2020@geoamericas2020.com](mailto:geoamericas2020@geoamericas2020.com)

# O DIFÍCIL TRABALHO DE AMPLIAR RODOVIAS (I)



Figura 1 - Ruptura em uma ampliação rodoviária, provocada pelo uso de aterro sobre solo mole, sobre a saia do aterro antigo e faixa marginal. A ausência de melhoramento do solo foi a causa desta ruptura.

O natural aumento do volume de tráfego em nossas estradas, torna obrigatório aumentar sua capacidade viária, ampliando-se a plataforma da rodovia. O problema é que, em muitas estradas há depósitos de solos argilosos moles, tornando qualquer ampliação extremamente perigosa, em razão de problemas geotécnicos que incluem surgência de recalques diferenciais excessivos entre o antigo e o novo pavimento que, consequentemente, promove trincas longitudinais ao longo da interseção da nova com a antiga via, além da natural instabilidade do aterro. A questão natural então, em obras de

ampliação de rodovias, é evitar estas consequências, tornando estável todo o novo conjunto formado já que, na medida em que as tensões excedem a resistência original do solo, começam a ocorrer patologias, que tornam-se mais graves com a incidência de chuvas. É necessário, então, analisar a interação entre o antigo e o novo aterro, de modo a se explorar a influência desses recalques, tanto no corpo do novo aterro, como na interseção com o antigo, além da estabilidade. Para tanto, dever-se-á avaliar o acréscimo de cargas, com o levantamento do talude do novo aterro e, evidentemente, o desenvolvimento de tensões transver-

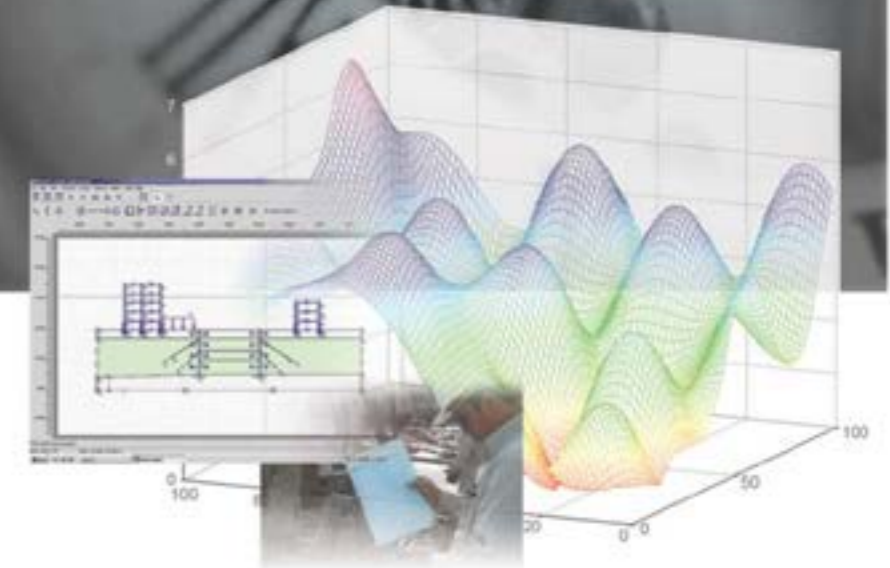
sais no pavimento, utilizando-se análises numéricas, com elementos finitos a duas dimensões, de modo a se avaliar tensões e deformações na ampliação, quando da existência de depósitos de solos moles, tanto na condição geoenrijecida, como sem qualquer melhoramento. Este estudo foi elaborado com base na experiência do autor em casos semelhantes.

Há diversas diretrizes internacionais, específicas para ampliação de aterros rodoviários, com o propósito de reduzir ou eliminar estes efeitos, como corte e escavação da pista nova, escalonamentos, utilizando-se sobrecargas, aplicação de geossintéti-

## MELHORAMENTO DE SOLOS MOLES EXIGE PRECISÃO E SEGURANÇA

Todo solo de fundação exige condições geotécnicas estáveis e precisas, o que se traduz em um investimento sujeito a risco. A presença de solos moles, com valores de SPT inferiores a 5, implica em soluções que podem durar meses e até anos e, assim mesmo, apresentam algum risco, seja ambiental ou de recalques inesperados. O geoenrijecimento do solo é a resposta para o melhoramento de solos moles, pois promove a segurança necessária à presença de deformações laterais e recalques, além de, principalmente, induzir um intenso e seguro processo de adensamento, muito superior ao exigido pelo futuro projeto, eliminando qualquer possibilidade de recalques

posteriores. Tudo isto, com o acompanhamento preciso de sondagens tomográficas por imagem e pressiométricas, com respostas antes, durante e depois dos serviços executados. Ou seja, com a precisão e a segurança de um bom relógio Suíço.



**CPR**  
GROUTING

[www.engegraut.com.br](http://www.engegraut.com.br)

cos e geoenrijecendo o solo previamente ou posteriormente. O necessário processo de escalonamento, no talude antigo, raramente se vê, o que faz com que, independentemente do processo de melhoramento do solo, ocorram trincas ou fissuras longitudinais na projeção da junta da emenda dos taludes. Contudo, o processo de geoenrijecimento do solo, com CPR Grouting, tem sido a melhor solução de preparação do solo de fundação, já que procura equiparar, principalmente, os níveis de rigidez com o antigo maciço, embora, na prática, várias técnicas de melhoramento do solo são, comumente, adotadas para viabilizar ampliação de aterros. Pesquisas, com o intuito de comparar suas eficiências, garantem que o processo de geoenrijecimento é a técnica mais adequada, tanto na construção, quanto em sua recuperação. Neste sentido, apresentamos dois casos interessantes de ampliação de aterros rodoviários, desenvolvidos em meio a trincas, exatamente pela ausência de medidas básicas necessárias.

Nossas estradas estão sendo ampliadas de modo a viabilizar a construção de faixas mais largas de aceleração e desaceleração, além de, evidentemente, aumentar sua capacidade de tráfego e eficiência. Rodovias, sobre aterros, necessitam de atenção extra, além de cálculos adicionais, pois trata-se de ampliação de aterros rodoviários com o objetivo de aumentar a capacidade das estradas. A ampliação de aterros para estra-

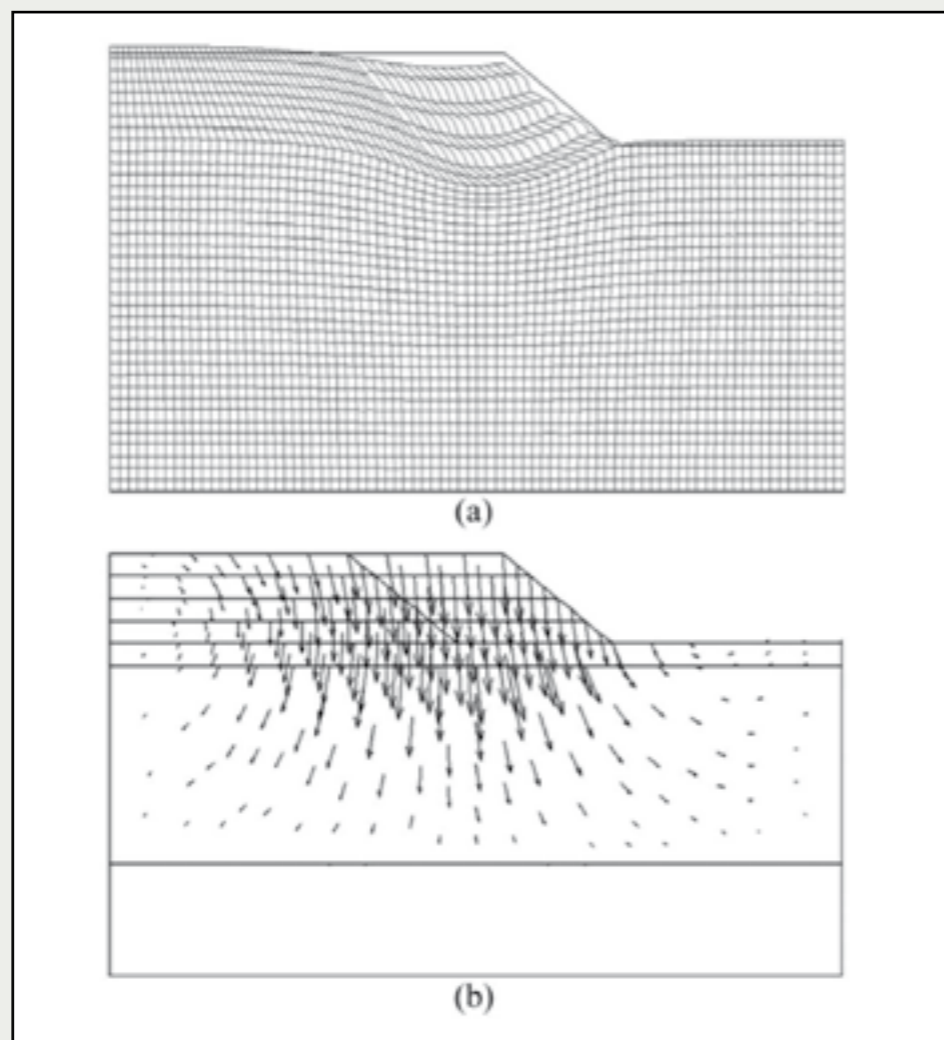


Figura 2 - Representação vetorial esquemática de deformações, após ampliação de aterro, em malha (a) e por deslocamento (b).



Figura 3 - Melhoramento do solo, em uma faixa e terreno marginal, de modo a viabilizar uma ampliação rodoviária.

## LANÇAMENTO DO LIVRO

# MELHORAMENTO DO SOLO MOLE E O GEOENRIJECIMENTO



Adquira seu exemplar através do email [ofitexto@ofitexto.com.br](mailto:ofitexto@ofitexto.com.br) ou pelo site [www.lojaofitexto.com.br](http://www.lojaofitexto.com.br)



das, também é feita quando se amplia pontes e viadutos. A seguir, incluímos algumas soluções que podem ser empregadas:

- Ampliação do aterro com manutenção das características de seus taludes.
- Construção de estruturas de contenção, para o novo aterro, modificando-se sua crista.
- Tornar mais íngreme taludes existentes, mantendo-se sua borda (off-set). Isto poderá ser realizado com o geoenrijecimento do conjunto solo/aterro.

Evidentemente, aumentar a inclinação do talude existente, mantendo-se seu offset, apresenta vantagens:

- Não necessita de grandes custos, como projetos, sondagens adicionais, etc... já que a simples ampliação do aterro, com a manutenção de sua inclinação é significativamente menor que alterar toda sua geometria.
- Evita-se a construção de estruturas de contenção que, além de custosas, exigem manutenção.

É comum vermos aumentos de aterros rodoviários, mantendo-se suas características originais, com objetivo de ampliar estradas. Contudo, há pequenas ocorrências de trincas e até de rupturas, limitadas a trechos onde há predominância de depósitos de solos argilosos moles, apresentando características geotécnicas diferenciadas. De um modo geral percebe-se haver limitação na correta preparação do solo de fundação e seu talude original. As consequências, contudo, são custosas e de difícil solução, em razão do fechamento das faixas de tráfego. A técnica de geoenrijecimento do solo permite a recuperação do conjunto sem intervenção ou, quando muito, apenas uma faixa de tráfego, já que promove-se o melhoramento de toda a massa de solo afetada, aumentando-se, naturalmente, sua estabilidade.

Altear aterros existentes, com objetivo de aumentar a largura das faixas de tráfego ou, simplesmente, adicionar mais faixas não é tão simples quanto parece, tanto a nível de projeto quanto de execução. Simplesmen-

te, porque reduz-se a margem de segurança da estabilidade do talude do aterro. O projetista precisa considerar tanto a estabilidade do aterro principal, quanto do volume ampliado. O diferencial de comportamento entre o antigo e o novo é motivo de trincas e até planos de ruptura preferenciais que se desenvolvem na interface do aterro original com o aterro levantado lateralmente. Poder-se-á utilizar análises de estabilidade tradicionais, de modo a se verificar sua estabilidade como um todo. Entretanto, não reproduz, em termos reais, a estabilidade do aterro ampliado. Como já ressaltamos, há toda uma limitação a partir do pé até a crista do talude em rodovias, para obras deste tipo. Muito frequentemente, limita-se o emprego de equipamentos tanto para lançamento, quanto para compactação, assim como há pouca ou nenhuma especificação "padronizada" para a preparação do local, lançamento de material adequado e sua compactação. Mais ainda, para instrumentação geotécnica. O objetivo deste item, como este livro, ressalta a presença de depósitos de solo mole sob o trecho a ser ampliado, o que complica ainda mais qualquer especificação "padrão".

Não há qualquer dúvida com relação aos métodos de avaliação da estabilidade de taludes, no entanto, há muito pouca documentação acerca de ampliar aterros existentes, o que faz com que, rotineiramente, utilizem-se os mesmos parâmetros de aterros convencionais. Estes parâmetros são da resistência ao cisalhamento, peso específico, histórico de tensões e geometria do talude. Projetar taludes, para rodovias, envolve avaliação da melhor geometria que satisfaça as necessidades de cada trecho. É comum executarem-se análises detalhadas ou mesmo projetos, ficando por conta da experiência do projetista detalhes geométricos, quando se constroem taludes baixos (< 2H:1V). A execução de aterros, com taludes maiores que 2H:1V, ou quando existem apenas solos com alta plasticidade, naturalmente, implica na necessidade de análise mais profunda. Na literatura, aparentemente, não se vê métodos aplicáveis de avaliação da estabilidade de ampliação de aterros rodoviários. Dever-se-á realizar análises para superfícies de rupturas profundas ou rasas, caso se considere o aumento do talude como parte integral do aterro rodoviário, aplicando-se tanto os métodos de análise com elementos finitos quanto do equilíbrio limite. Um resumo



Figura 5 - Nesta obra, lançou-se e compactou-se aterro sobre solos moles objetivando-se ampliar a rodovia, sem efetivar-se qualquer melhoramento do solo. O resultado foi um extenso processo de ruptura ao longo da faixa marginal, impactando inclusive nos postes existentes. O melhoramento do solo, com Geoenrijecimento, foi iniciado a seguir, apesar de toda a instabilidade existente, com o peso dos equipamentos.

bem completo dos métodos de análises, com elementos finitos e com equilíbrio limite, é apresentado por Duncan (1996). Projetos bem feitos, acerca da geometria de taludes tem, necessariamente, que considerar as características da resistência ao cisalhamento do solo. Mas não é só, necessitar-se-á, também, do conhecimento dos fatores ambientais de cada região, os quais podem alterar a resistência cisalhante desses solos ao longo do tempo. Neste particular, Leonards (1955) informa que, a não ser que se conheça plenamente a flutuação da resistência cisalhante do solo do local, ao longo do tempo, qualquer resultado com análise de estabilidade será ilusório. É prática co-

mo construir-se aterros e ampliação de aterros com solos coesivos e compactados. A compactação do solo melhora, sobremaneira, suas propriedades que, convenientemente, é medido em termos de densidade e teor de umidade. Por outro lado, diminui-se sua permeabilidade e compressibilidade, aumentando sua resistência cisalhante. Desta maneira, como a estabilidade do aterro, sua ampliação e/ou seu alteamento é função da resistência cisalhante do solo, é significativa a importância do processo de compactação. Estas considerações práticas, relacionadas à resistência cisalhante não drenada de solos coesivos compactados, são apresentados, em detalhes, por Leonards (1955),

Lambe (1958) e Casagrande (1962), cuja importância imediata, para projetos de ampliação de aterros, traduz-se em conceitos geotécnicos já conhecidos. Várias normas e especificações rodoviárias internacionais informam a necessidade de se executar escalonamentos e compactação no solo, quando se executam ampliação de aterros, especialmente quando são construídos com taludes 4H:1V ou mais íngremes. A menor largura a ser empregada no escalonamento deverá ser de 3m, a não ser que exista outra especificação. O solo a ser utilizado, deverá ser lançado em camadas, com altura uniforme, não ultrapassando 20cm. O benefício principal do escalonamento, ao se executar ampliação ou alteamento de aterros rodoviários, é que a base existente ficará bem encaixada e, seguramente, travada com o novo maciço. O escalonamento também remove provável superfície de ruptura induzida entre o novo e o antigo aterro, caso não seja realizado. Normas e especificações internacionais sugerem o uso de escalonamento com altura máxima de 1,2m, quando há taludes mais íngremes que 3H:1V.

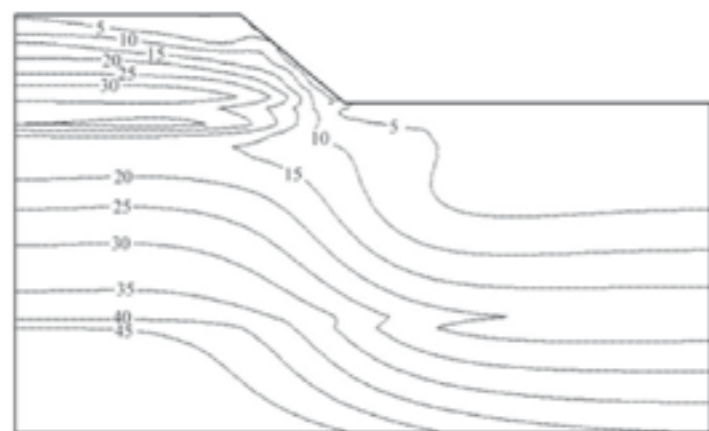


#### REFERÊNCIAS

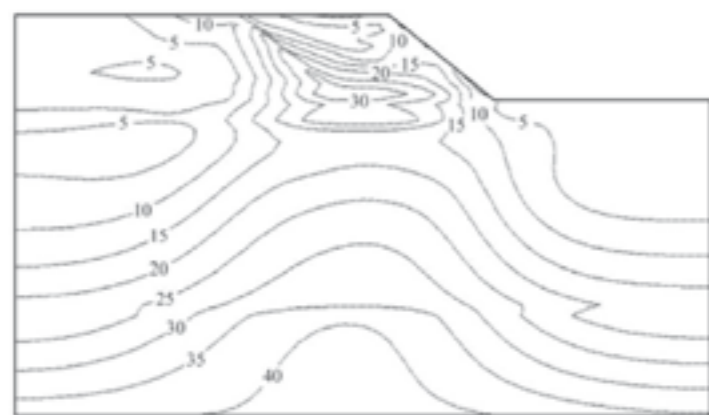
- Patricia Karina Tinoco é engenheira civil. Trabalha com melhoramento de solos moles.
- ASTM D4719 (1987) Standard Test Method for Pressuremeter Testing in Soils. Annual Book of ASTM Standards, New York, v. 04.08.



Figura 6 - Melhoramento do solo com vistas a uma ampliação rodoviária.



(a)



(b)

Figura 4 - Contornos máximos da tensão de cisalhamento antes da ampliação (a) e depois (b); (unidade: kPa) (b = 8,5m).

# SOLO MOLE E RECALQUES DIFERENCIAIS NA EDIFICAÇÃO (II)

Figura 1 - Os elementos de fundação deste prédio, com estacas cravadas ao longo de profunda camada de solo mole, apresentou recalque diferencial entre elas o que gerou trincas escalonadas em toda a edificação. O melhoramento do solo mole, com Geoenrijecimento, readequará a condição de ponta e o egrito lateral das estacas.

**P**aredes são formadas por fiadas de tijolos preenchidos com argamassa, sendo que ambos possuem resistência diferenciada. A junta, com argamassa, é o elemento menos resistente, razão pela

qual as trincas a 45° posicionam-se seguindo trincas verticais e horizontais, em forma de escada, perseguindo a junta, conforme figura 1 e 2. A presença de espaços abertos na parede,

sejam portas ou janelas, promove concentração de tensões em suas extremidades. As isostáticas de compressão, conforme figura 3, como não conseguem atravessar estes espaços, são forçadas a contorná-los, con-

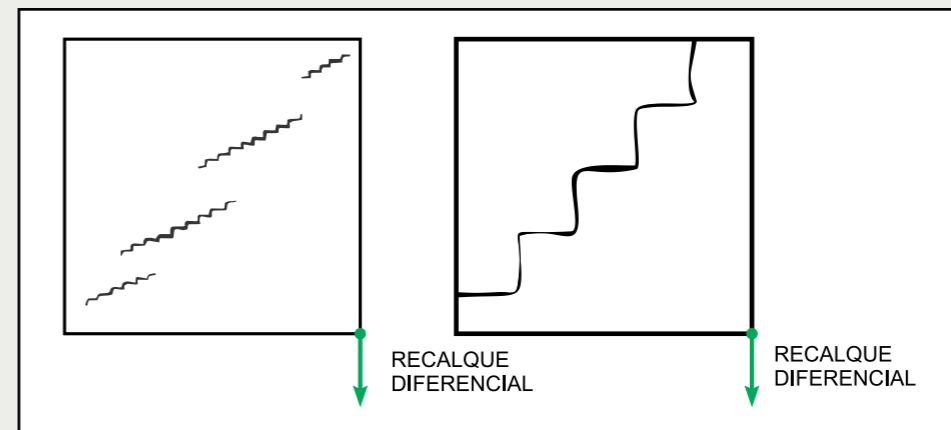


Figura 2 - Dois modelos de trincas seguindo as juntas da argamassa.

da parede, muito comumente no encontro com vigas de concreto armado superiores. O esforço cortante, entre ambas, pode ser pequeno e insuficiente para absorver as tensões tangenciais. À medida em que o recalque diferencial aumenta, crescem também as tensões tangenciais, que acabam com a resistência no contato, ocorrendo deslizamento entre ambas, produzindo-se pequenas fissuras, ou mesmo trincas, inclinadas à 45° e paralelas entre si, conforme figura 4. Em alguns casos, no lugar desses agrupamentos de pequenas fissuras inclinadas, pode ocorrer uma única trinca ou abertura

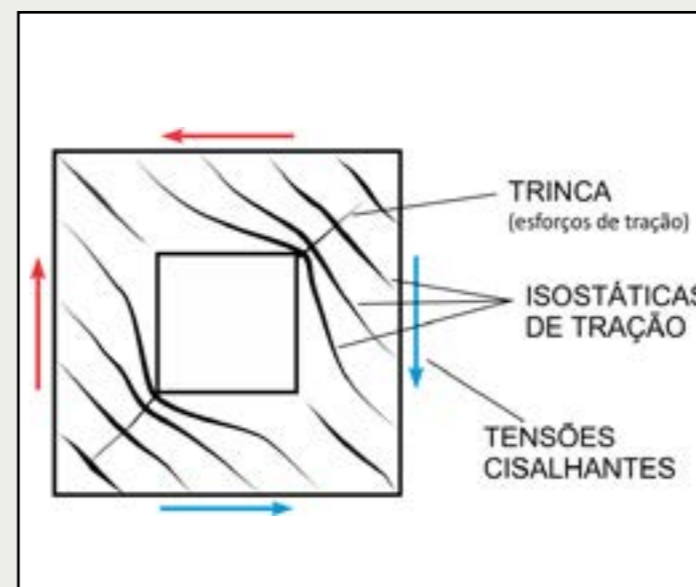


Figura 3 - Concentração de tensões nas quinas dos vãos.

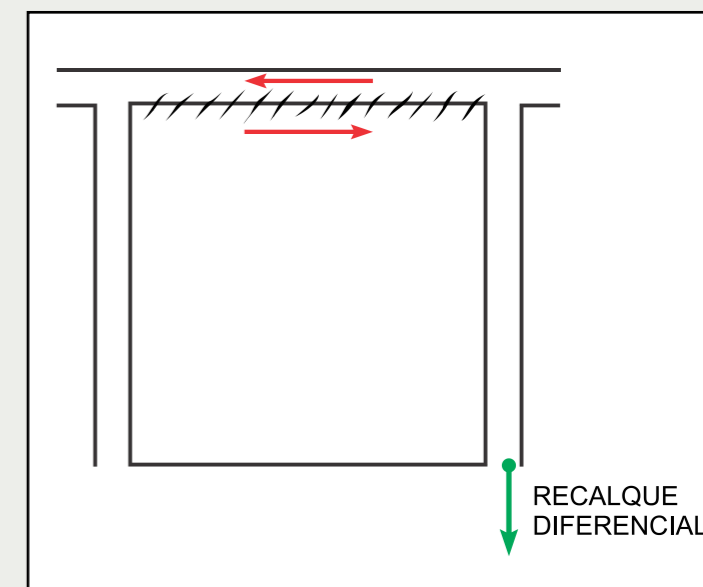


Figura 4 - Tensões tangenciais entre viga e parede (fissuras curtas à 45°).

centrando-se em seu vértice, com produção máxima de esforços de tração, transferindo-se de um canto para o outro. Uma situação

também comum, motivada pelo recalque diferencial, é a ocorrência de heterogeneidades de resistência ao longo do perímetro

na parte superior da parede sob a viga estrutural, conforme figura 5, ou lateralmente a um pilar, conforme figura 6.

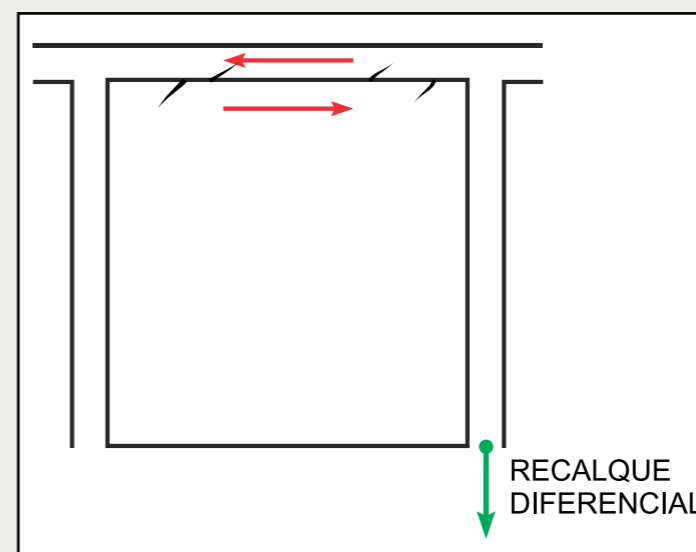


Figura 5 - Tensões tangenciais entre viga e parede (trinca única com ramais)

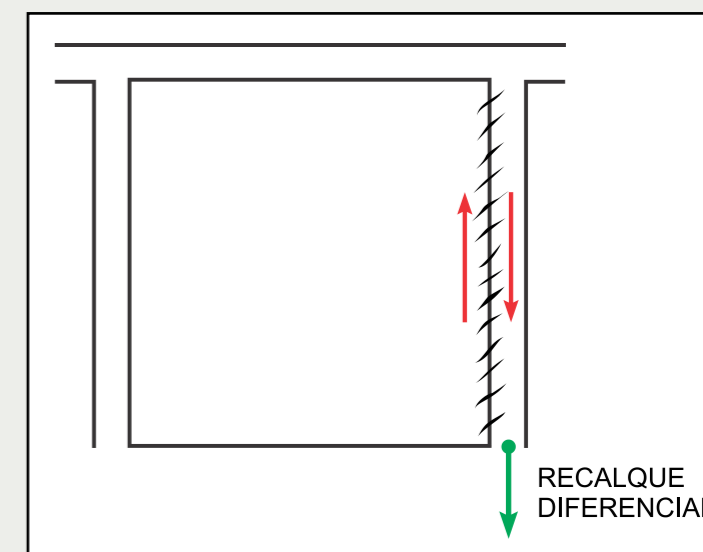


Figura 6 - Tensões tangenciais entre pilar e parede (deslizamento).

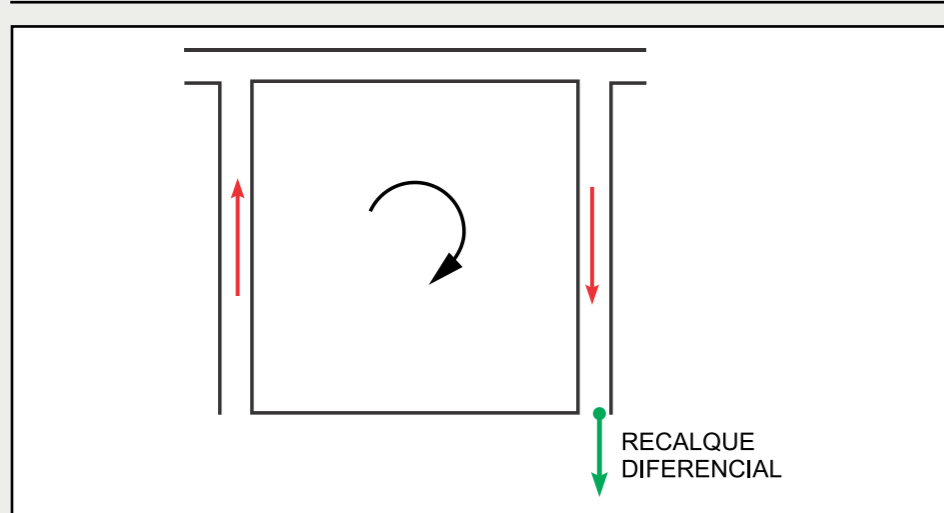


Figura 7 - Tensões tangenciais entre pilar e parede.

Estas trincas, ou aberturas verticais, nas laterais de uma parede podem, também, serem motivadas por outro mecanismo do recalque diferencial entre pilares. Na medida em que a parede submete-se a um momento, que tende a girá-lo em seu plano os contatos com os dois pilares, não resistem aos esforços de tração produzidos, ocorrendo trincas verticais ou mesmo aberturas, conforme figura 7.

Levando o processo do recalque diferencial para uma estrutura de edificação, com vários andares, conforme figura 10 haverá, naturalmente, uma resistência a esta ação promovido pela rigidez estrutural do prédio. Em cada painel de parede produz-se um estado tensionais, motivados pelo processo



Figura 8 - Recalque diferencial, provocado em uma parede de garagem apoiada em fundação direta, em um condomínio, devido a presença de solo sem capacidade suporte, e cargas produzidas no lado do vizinho.



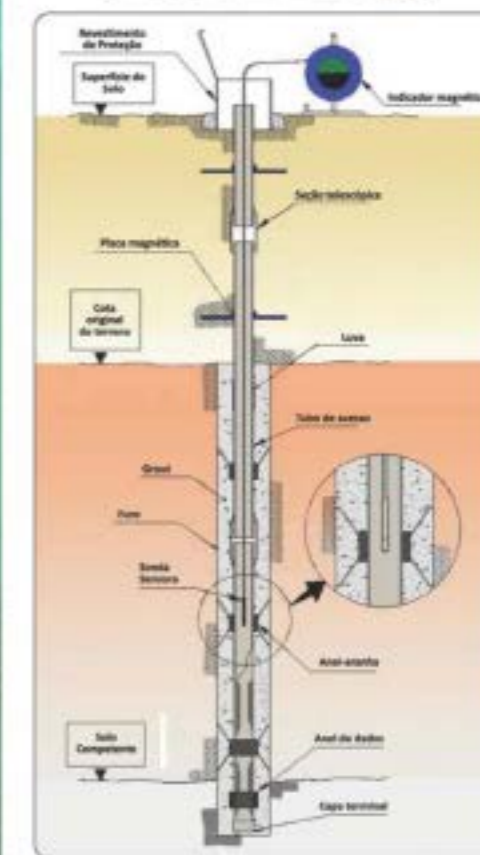
Figura 9 - Recalque diferencial, entre dois prédios, promovido pela diferença no sistema de fundação de ambos os prédios.

## Aranhas Magnéticas



### Descrição

Aranhas magnéticas consistem de anéis sensoriais, indicadores magnéticos, tubo de acesso incluindo anel de placa e anel aranha. De acordo com o tamanho da medição, o indicador magnético é dividido em 6 tipos com 50m, 100m, 200m, 300m, 350m e 500m.



Para maiores informações, acesse: <http://www.softsoilgroup.com> ou atendimento@softsoilgroup.com

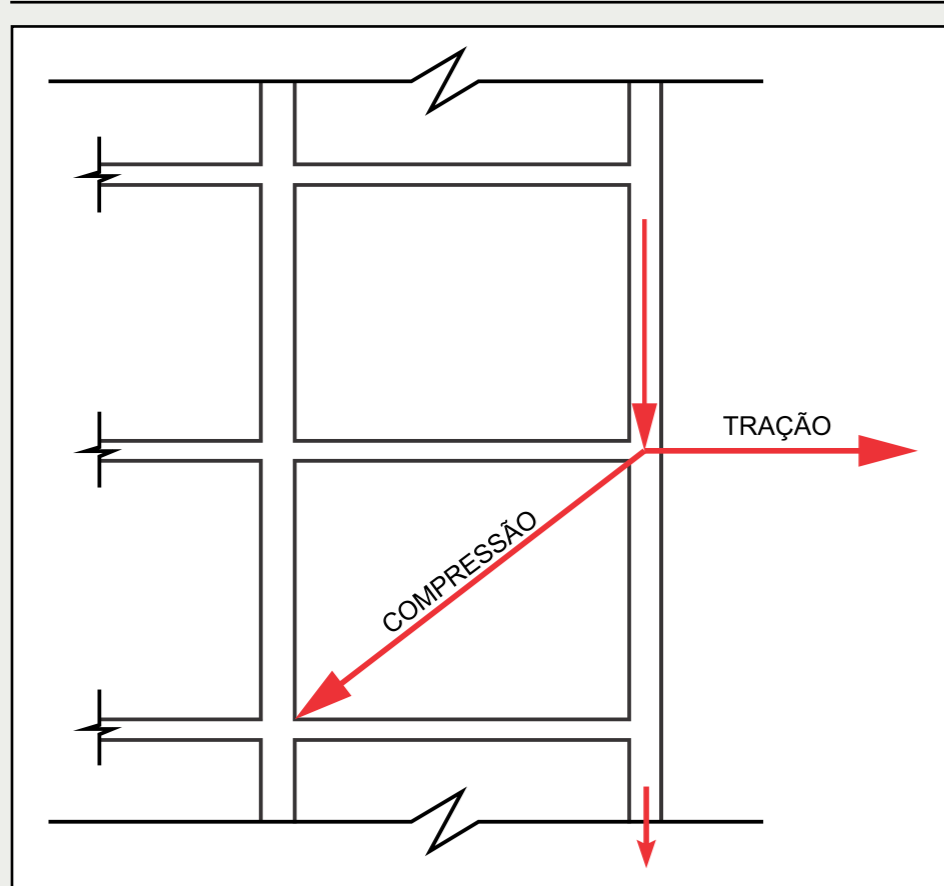


Figura 10 - Tensões tangenciais entre pilar e parede.

de distorção, produzindo-se rede de fissuras e trincas, quase sempre em diagonal à 45°. De forma complexa, o recalque diferencial imposto, produzido pelas cargas verticais nos pilares extremos é sistematicamente repellido pela rigidez estrutural do prédio, através da reação inclinada proporcionada pela existência das paredes. Na medida em que o equilíbrio entre ação e reação é vencido, surgem forças horizontais de tração que completam este polígono de forças, ficando todo o sistema parcialmente em balanço. Na figura 11, à seguir, analisa-se a situação de um prédio de dez andares, onde a carga imposta no pilar extremo decompõe-se em uma reação oblíqua e horizontal  $F_1$ . Nos demais pavimentos, a força oblíqua decompõe-se em uma vertical e uma horizontal  $F_2$ , de sentido contrário a  $F_1$ , resultando em uma diferença provavelmente pequena, com resultante praticamente nula. Em troca, a componente vertical da força atuante fica livre, transferindo-se e sobrecarregando o pilar 5, seu elemento de fundação e o solo suporte. Uma hipótese pessimista, observando-se o desenho do prédio, é que a totalidade da carga vertical do pilar 2 passa toda para o pilar 5. Aumentando o recalque

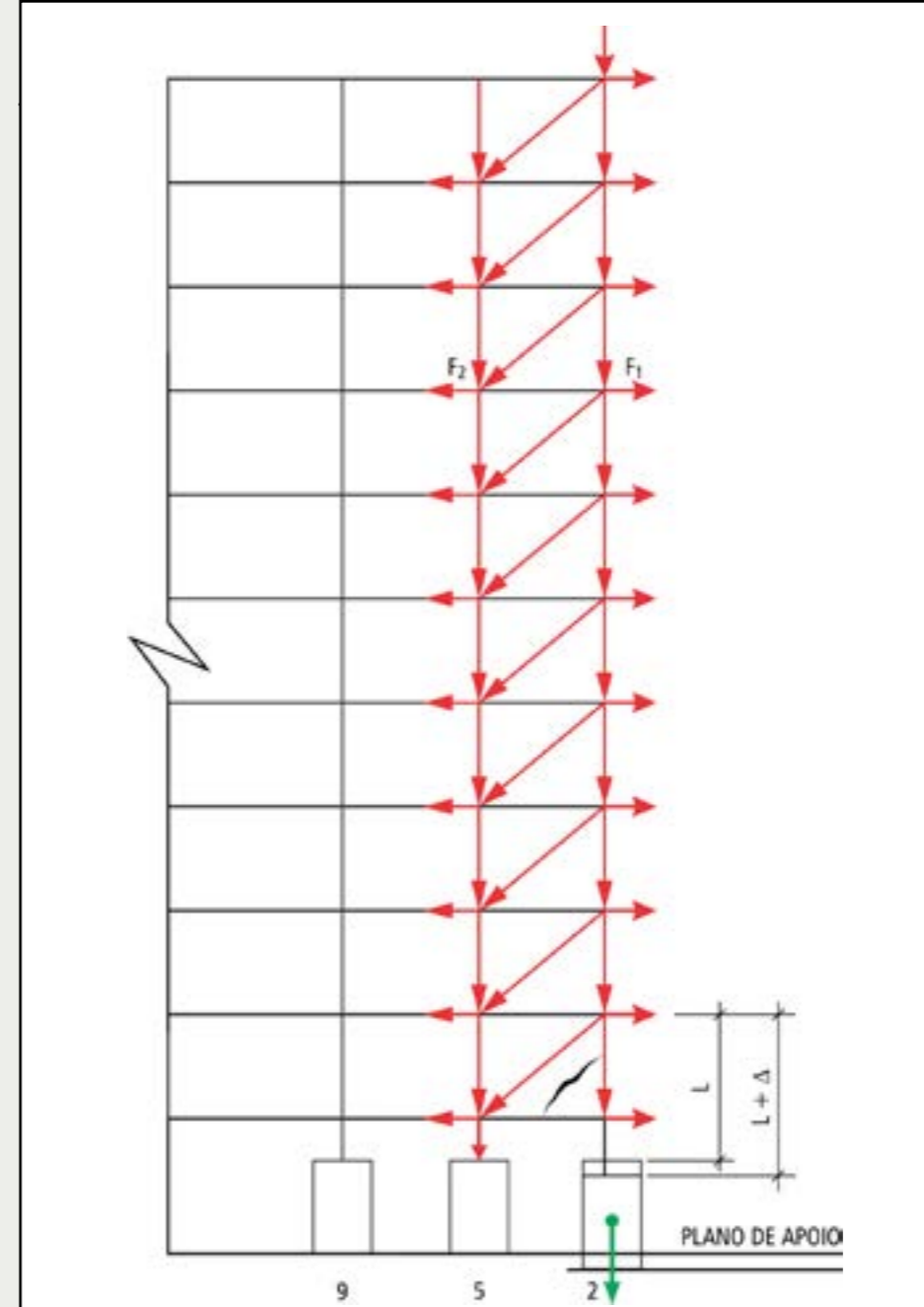


Figura 11 - Estado tensional em uma estrutura de prédio, provocado por recalque diferencial em um conjunto de sapata-pilar e seu anexo.

diferencial, provocado pelo elemento de fundação do pilar 2, inicia-se seu desmembramento, e o tracionamento de todos os elementos verticais superiores que chegam a este pilar.

Se na estrutura da edificação, da figura apresentada, ocorrerem recalques simultâneos nos elementos de fundação 5 e 2, haverá distribuição dos esforços. A região do solo, mais deformada, não recebe toda a carga que chega aos elementos de fundação, devido a rigidez estrutural do prédio, ou seja, parte da carga acaba indo para a região do pilar 9. O maior esforço cortante que esta distribuição promove, concentra-se no limite onde está o elemento de fundação do pilar 9 surgindo, aí, trincas do tipo representadas na figura 11. Com a ocorrência destas trincas, o esforço cortante não progride além da região mais estável.



#### REFERÊNCIAS

- Thomas Kim é engenheiro civil e trabalha com melhoramento de solos moles.
- CASAGRANDE, A. and Fadum, R. E. (1940). Notes and Soil Testing for Engineering Purposes Publication 268, Graduate School Engineering Harvard University, Cambridge, MA.
- ANGEL URIEL ORTIZ. Patología de las cimentaciones.
- FRANCISCO SERRANO. Patología de la edificación.
- DHOWIAN, AW & EDIL, Tuncer. (1980). Consolidation Behavior of Peats. Geotechnical Testing Journal - GEOTECH TESTING J. 3. 10.1520/GTJ10881J.
- EDIL, Tuncer & DHOWIAN, A.W.. (1981). Atrest lateral pressure of peat soils. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE. 107. 201-217.

## SUBSTITUINDO SOLO?



ENEGRAUT  
40 ANOS

Soil Repair Solution  
for  
Making Your  
Project a Success

www.engegraut.com.br  
contato@engegraut.com.br  
tel: 21 - 3154-3250



Existe maneira mais moderna, inteligente e barata para consolidar solos moles em grandes áreas.

# GEOENRIJECIMENTO

Localização estratégica e eficiência logística geralmente estão localizadas em terrenos ruins.



O CPR Grouting viabiliza.

Entre em contato, para saber mais detalhes a respeito. [www.engegraut.com.br](http://www.engegraut.com.br)



**UNIONTECH**

TECNOLOGIA DE JUNTAS

UNIONTECH JUNTAS E IMPERMEABILIZAÇÕES LTDA.

Fone/Fax: (11) 2215-1313 / 2215-1325 E-mail: [uniontech@uniontech.com.br](mailto:uniontech@uniontech.com.br)

[www.uniontech.com.br](http://www.uniontech.com.br)