

GROUTING

SOLOS COLAPSÍVEIS E EXPANSIVOS TRATAMENTO



 Soft Soil
Group

DEZEMBRO 2015



Equipe de Projetos

Índice

1	Institucional	3
2	Introdução	4
3	Conceitos Básicos sobre Expansibilidade e Colapsibilidade	6
4	Solos Colapsíveis	7
5	Solos Expansivos.....	13
6	A Solução Universal com Grouting.....	17
7	Solos Expansivos. A Solução Universal.....	18
8	Solos Colapsíveis. A Solução Universal.....	19



O Soft Soil Group tem quase 40 anos de experiência no desenvolvimento e aplicação de modernas e inovadoras técnicas de tratamento de solos, sejam arenosos ou argilosos.

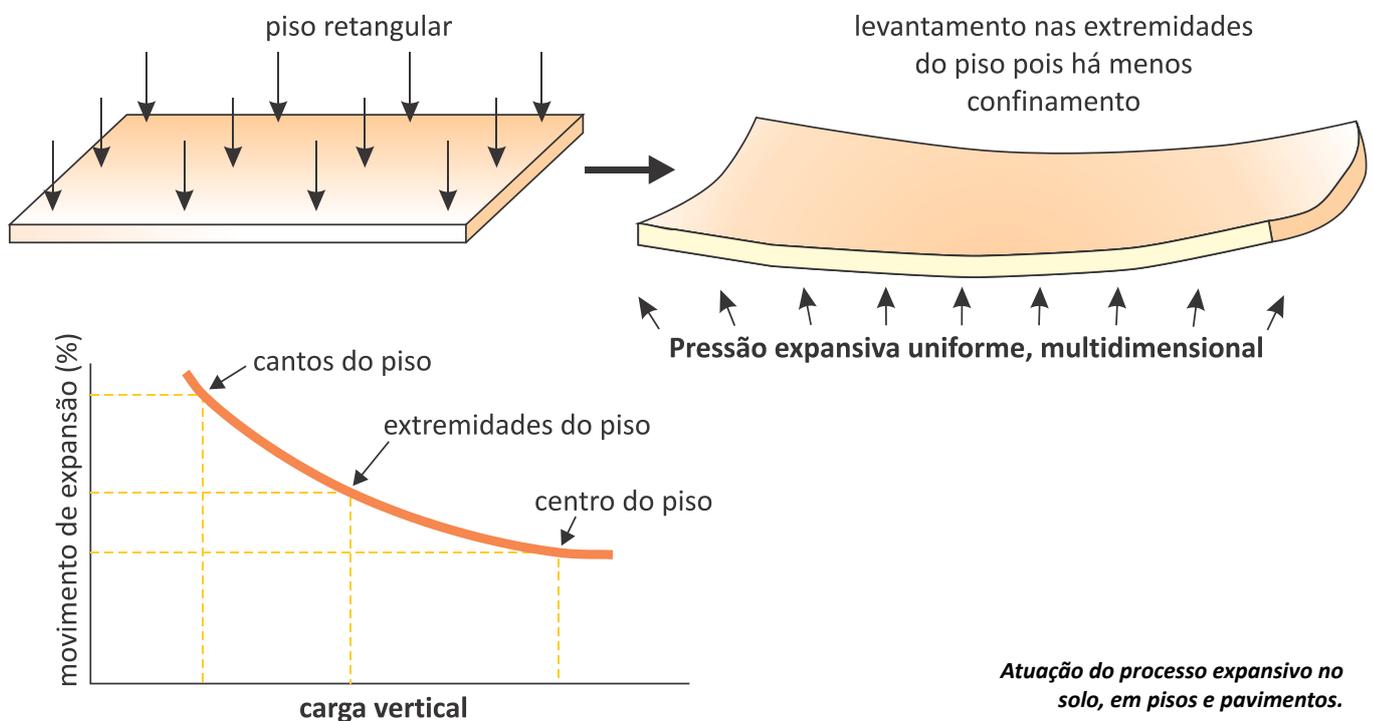
Com este nível de conhecimento, permite-se identificar soluções diferenciadas para todo tipo de projeto e solo, com atendimento diferenciado e eficaz, sempre focado em critérios de qualidade e segurança.

Introdução

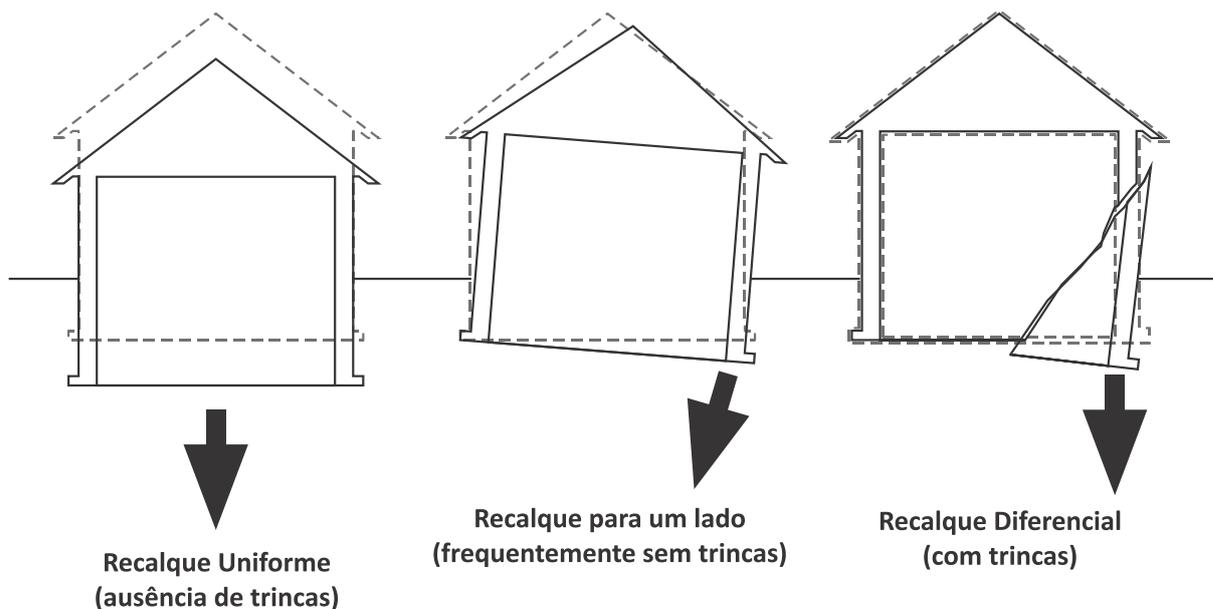
A previsão da estabilidade e do comportamento global de construções ou, tão somente aterros de um modo geral, tanto nas fases de projeto, construção e operação a longo prazo, exigem conhecimento da resposta do solo a cargas e gradientes hidráulicos atuantes. Precisa-se, ainda, considerar a interação entre camadas de solos presentes, sob a ação tanto de agentes externos como internos. Mas o solo, de um modo geral, têm suas propriedades

mecânicas e hidráulicas influenciadas e dependentes de seu índice de vazios e teor de umidade. Na condição saturada, engenheiros geotécnicos aceitam o uso do Princípio das Tensões Efetivas proposto por Terzaghi em 1936, que fornece teoria aceitável para previsão do comportamento tensão-deformação e variações do volume do solo. As propriedades hidráulicas podem também ser previstas usando relações entre variações de volume ou do índice de vazios.

O Princípio das Tensões Efetivas, para solo não saturado, como concebido para solos saturados, não pode ser diretamente aplicado. A teoria proposta por Fredlund (1976), supõe que solo seja um material com quatro fases, onde duas apresentam fluxo, o ar, e a água, e duas relacionam-se com o equilíbrio das cargas atuantes no solo, e a resposta da estrutura do solo e seu “esqueleto” deformável.



Manifestação dos processos de expansão e colapso no solo



Assim, a previsão torna-se complexa para casos onde o solo altera-se repentinamente, seja por seu comportamento mecânico, seja por suas propriedades hidráulicas, devido a mudança no teor de umidade. Nestes casos, em geral associados com fluxos de água impostos

externamente, podem acontecer em edificações, tanques, estradas, barragens, escavações, etc.

Até certo ponto, a bibliografia específica indica que a característica de colapsibilidade é um comportamento que, sob

certas condições de tensões atuantes, da estrutura, teor de umidade e a água atuante, pode ser apresentada por qualquer solo quando não saturado. Por outro lado, a expansibilidade é vista como um comportamento associado à composição mineralógica e química de certos tipos de solos, excluindo-se o estado de tensões da definição básica que a caracteriza.

Quanto à colapsibilidade, é sabido que quanto mais denso um solo, menor será sua variação de volume durante processos de saturação. Uma densidade dita ideal, pode ser alcançada utilizando-se teor de umidade ótimo e quantidade correta de energia de compactação, para o caso da construção de aterros.

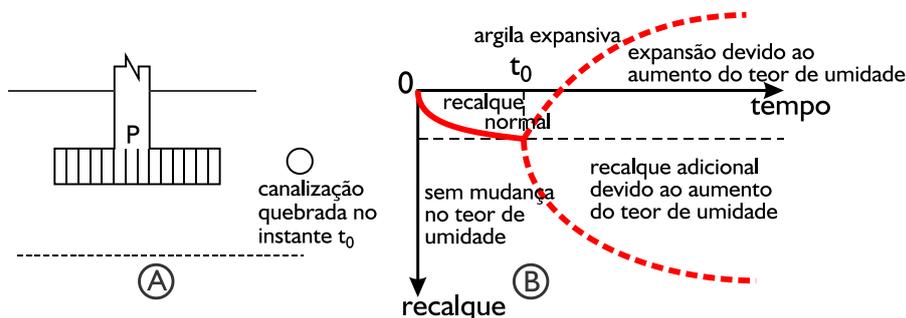


Conceitos Básicos sobre Expansibilidade e Colapsibilidade

• Primeiros Comentários

Dada a grande expansão demográfica e a necessidade de se ocupar novas áreas, seja para rodovias, ferrovias, armazenagem, tanques, ou habitação, diversos problemas podem ocorrer relativos à perda ou ganho de volume de uma camada de solo. A mudança acelerada do volume do solo, traz preocupação crescente ao meio geotécnico.

Uma situação típica de colapso ou expansão de um solo de fundação, pode ser vista nas figuras abaixo

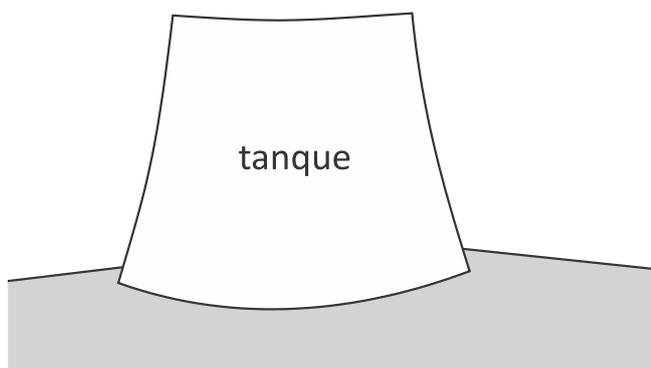


Conceito básico de recalque ou expansão da fundação quando, por exemplo, de uma tubulação quebrada no instante t_0 (A) e o conseqüente comportamento do solo.

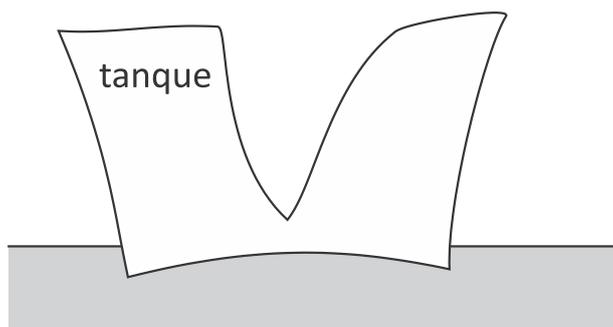
e acima. Sob certas condições do solo, estruturas projetadas para se comportar satisfatoriamente, repentinamente ou gradualmente, experimentam recalques ou distorções, sem que tenha havido

alteração nas cargas atuantes. Estudos revelam características de solo não saturado, no entanto, comumente, há presença d'água, que aumenta o teor de umidade do solo abaixo da estrutura.

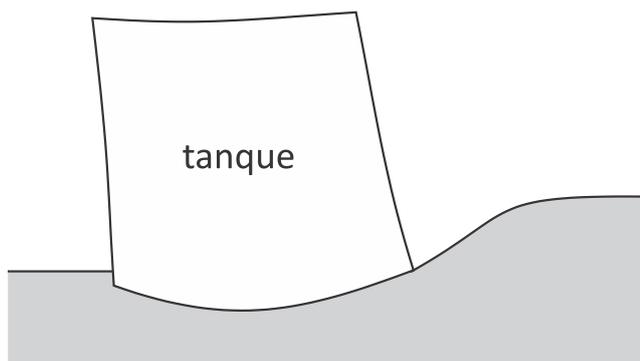
Problemas típicos causados por mudança de volume nos solos



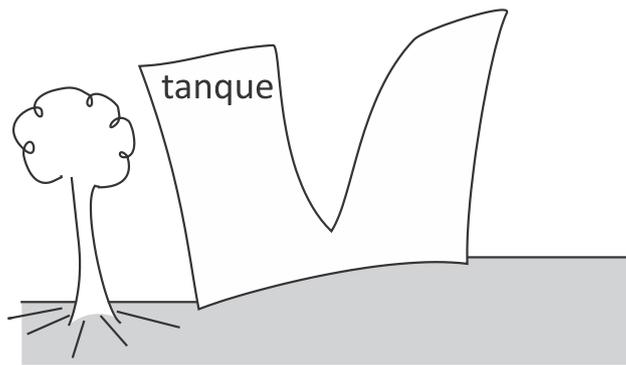
(a)



(b)



©



(d)

• Solos Colapsíveis

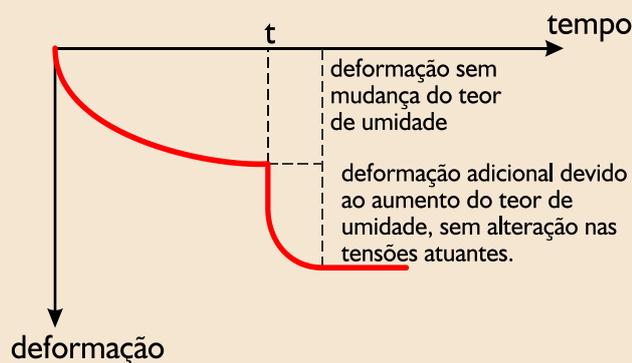
É comum supor-se que somente solos arenosos ou siltosos sofram colapso. Contudo, diversos casos de solos, com forte porcentagem de argila, predominantemente plásticos, além de solos compactados, mostram-se passíveis de sofrer colapso (Barden et al, 1973; Cox, 1978; Mendonça, 1990). Atualmente é amplamente aceito que, por exemplo, um tipo de solo compactado, no lado seco da curva de compactação, pode produzir uma estrutura colapsível, seja devido ao baixo teor de umidade, seja pelos baixos pesos específicos presentes.



Ruptura de parede de fundação devido ao "efeito de uma bacia argilosa" do aterro.

O que dizem os pesquisadores:

- “Solos colapsíveis ou subsidentes são estruturalmente instáveis, apresentando mudança brusca no seu comportamento tensão-deformação quando se aumenta o grau de saturação, sem mudança do estado de tensões.” (Mariz, 1993).
- Colapso é o fenômeno observado em alguns solos não saturados, que apresentam brusca redução de volume, quando se aumenta a umidade podendo ser, também, necessário modificar o estado de tensões atuantes (figura abaixo). Deve-se entender, por mais súbita que seja a redução de volume, que esta velocidade será muito maior do que aconteceria no adensamento do solo argiloso saturado” (Mendonça, 1990).



Conceito básico de colapso.



Colapso do solo por processo de movimentação d'água no solo.

Assume-se, que o colapso está sempre associado a brusca perda de resistência do solo em relação ao tempo, devido a quebra das ligações cimentantes entre suas partículas maiores em estado não saturado.

Qian & Lin (1988) e Tadepalli & Fredlund (1991) sugerem que solos colapsíveis dividem-se em duas categorias:

- 1º. Que colapsam após inundações, com tensões totais iguais à do peso do solo que estava acima.
- 2º. Para apresentar colapso, sugerem uma tensão total maior do que o peso do solo acima.

Esta segunda categoria compreende solos que tem características de cimentação nos contatos das partículas.

Por exemplo, solos compactados, que sofrem colapso tem, tipicamente, um tipo aberto de estrutura com muitos espaços vazios, o que possibilita a formação de estruturas meta estáveis.

O peso específico inicial e o teor de umidade das amostras de solo, no instante da compactação



são, geralmente, considerados como propriedades primárias que controlam a quantidade do colapso. Diversos pesquisadores sugerem tendência para colapsar, quando o peso específico seco é menor que $1,6\text{ton/m}^3$. Jennings & Knight (1975) afirmam que esta asserção não pode ser tomada como definitiva, o que também é confirmado por Mackechnie (1989). Foi também sugerido que o comportamento de colapso é ainda dependente do teor e tipo da argila. Mackechnie (1989), estabeleceu que solos não saturados, com peso

específico seco menor do que $1,6\text{ton/m}^3$, ficam sujeitos à colapso. Notou, contudo, que nem todos os solos com baixo peso específico são colapsíveis na natureza. Ao mesmo tempo estabelece que a condição inicial não saturada, é pré-requisito para colapso.

O ensaio edométrico consagrou-se como um dos ensaios que fornecem as melhores informações com relação às características e parâmetros do colapso de solos. Contudo, recentemente, pesquisadores e geotécnicos têm feito crí-



Colapso do solo em região localizada.

Colapso do solo, sob o pavimento, após um prolongado período de chuvas.



ticas acentuadas às condições das amostras quando do ensaio edométrico (atrito da amostra com o anel e impedimento à deformação lateral). Estes ensaios são, também, utilizados para estimar a provável quantidade de colapso. Os mecanismos prováveis, envolvidos no fenômeno, foram sugeridos por diversos pesquisadores (Holtz &

Hilf, 1961; Burland, 1965; Larinov, 1965; Dudley, 1970; Barden et al., 1973; Benvenuto, 1982; Cunha, 1988; Mendonça, 1990; Mariz, 1993), diferindo consideravelmente do processo de consolidação clássico. No processo de consolidação, a variação do volume total do solo saturado ocorre como um processo transiente. Colapso, se-

gundo Tadepalli & Fredlund (1993), parece ocorrer em um período de tempo relativamente curto, em resposta à infiltração de água a uma tensão vertical constante. Um aspecto discutido é o da tensão vertical total ser de fato constante durante o processo de inundação. Pode ser, também, fruto de um rearranjo radical das partículas de solo, resultando em uma redução significativa no volume total de sua massa.

Holtz & Hilf (1961) no 5º Congresso Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações descrevem o mecanismo de colapso acompanhado de molhagem, resultado das pressões capilares que tendem a zero e o grau de saturação aproximando-se de 100%.



Colapso do solo, motivado por ação localizada da água.

O mecanismo para solos não coesivos foi explicado com base na “redução do fator cisalhante”, ou seja, relação entre resistência e tensão cisalhantes, contra o colapso. Postulou-se que durante a inundação, o círculo de Mohr move-se horizontalmente por uma quantidade igual à pressão neutra negativa, que existia antes.

Burland (1965), (Tadepalli e Fredlund, 1993) explicam o mecanismo de colapso em termos da estabilidade nos pontos de contato entre-partículas. Devido à inundação, a pressão neutra negativa nos pontos de contato decresce, possibilitando escorregamento e distorção entre os grãos, o que provoca diminuição irreversível do volume total.

Larinov (1965), no 6º Congresso Internacional de Mecânica dos



Afundamento por colapso do solo induzido pela dissolução e lavagem do solo fino.

Solos e Engenharia de Fundações, além de Dudley (1970) e Barden et al. (1973), descreveram o fenômeno de colapso em termos de vínculos do material fino presente nos pontos de contato. Foi sugerido que, no caso do vínculo com material siltoso, a resistência seria perdida durante a inundação, resultando num decré-

cimento do volume. Entretanto, sugeriu-se que, em geral, o material presente nos contatos dos solos colapsíveis fosse a argila. Dudley (1970) defende que as forças capilares forne-

cem resistência temporária aos vínculos de argilas quando em estado seco.

O princípio básico, portanto, associado com todos os mecanismos postulados, é que o solo não seja saturado. Alguns autores afirmam que outra condição básica é que a pressão neutra precisa ser negativa. Souza Pinto (1994), observa que esta condição é consequente da primeira, não sendo contudo, necessária para que haja o colapso.

A asserção de que os solos precisam ser, previamente, não saturados para apresentar colapso, favorece a consideração dos princípios da mecânica dos solos não saturados (Fredlund, 1993).



Colapso do solo após intensas chuvas.

Os solos residuais, que exibem alta propensão ao colapso são, geralmente, os que sofrem alto grau de lixiviação.

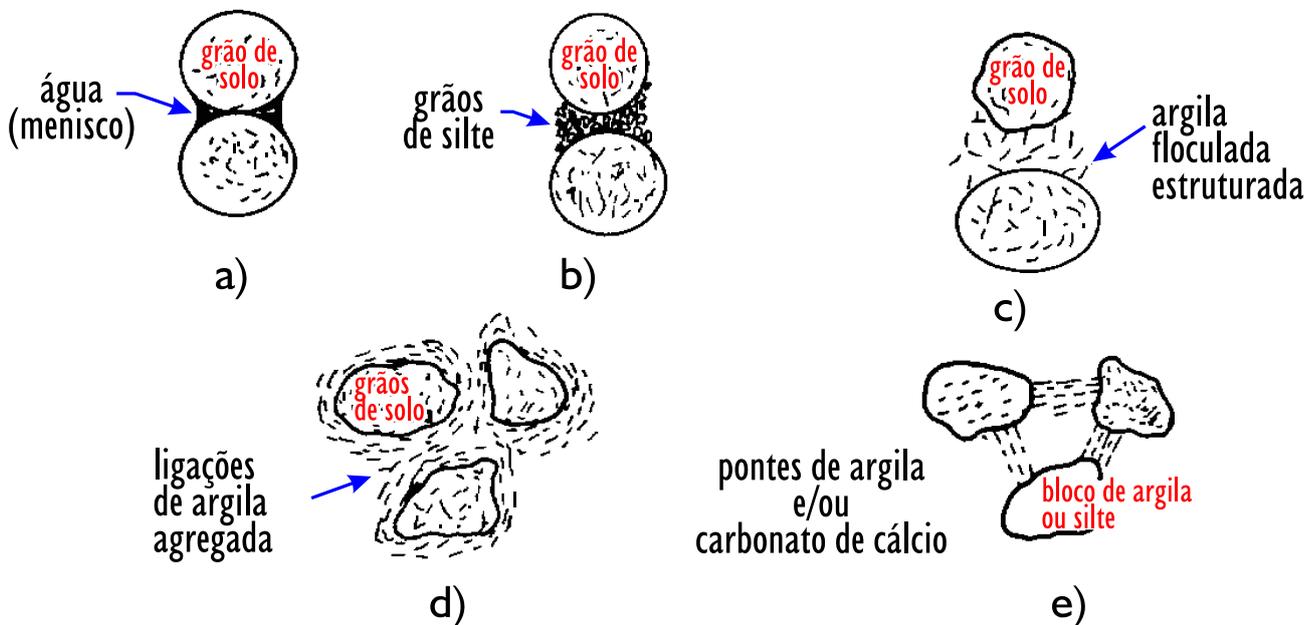
A divisão dos solos entre transportados e residuais, em termos de origem, é importante, pois podem apresentar colapso. A característica comum será uma estrutura colapsível que está associada à uma permeabilidade relativamente alta.

Colapso pode ocorrer também em solos sobreadensados, como nos casos mais comuns de solos normalmente consolidados. O colapso, no domínio dos solos sobreadensados será, em média, menor do que no domínio imediatamente acima da tensão de préconsolidação.

Os solos residuais que exibem colapso substancial são geralmente aqueles que sofrem alto grau de

lixiviação. O tipo de rocha de origem pode ser extremamente variável. O fator comum, entretanto, é a presença de minerais suscetíveis à ação do meio ambiente.

Conclui-se, portanto, que colapso é um fenômeno que somente ocorre subsequentemente à saturação e, em geral, submetida a carregamento, podendo ocorrer pois, muitos anos após a construção.



O Processo de colapso do solo.

Desde 1973, a partir de um trabalho do Professor Milton Vargas, diversos estudos relativos a solos colapsíveis vem sendo desenvolvidos no Brasil. Pode-se citar as teses de Benvenuto (1982), Vieira da Cunha (1989), Mendonça (1991), Mariz (1993) e os seminários de Fer-

reira (1991). As contribuições de Gehlling et al (1982), Aragão e Melo (1982), Camapum de Carvalho et al. (1982), Ferreira et al (1986), Riani e Barbosa (1989), Signer et al (1989), Aflitos (1990), Aflitos et al (1990) e Ferreira & Lacerda (1993), também sobressaem.

Na tabela, a seguir, apresentamos diferentes regiões do Brasil onde observou-se a presença de solos colapsíveis, com o tipo de solo presente e seus autores. Esta tabela foi originalmente extraída do trabalho de Mendonça (1991), sendo atualizada com observações feitas por Ferreira (1991) e Mariz (1993).

Referência	Localidade	Tipo de Solo
Vargas (1973)	Região Sul e Centro-Sul	solo argiloso de basalto e solo arenoso de arenito
Gehling et al. (1982)	Planalto meridional do estado do Rio Grande do Sul	solo argiloso originário de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral (basalto e riolito e de arenito da Formação Tupancireta)
Benevuto (1982)	Município de Manga, extremo norte de Minas Gerais	solo arenoso ou argiloso, sedimentar, da Formação Vazante
Aragão e Melo (1982)	Petrolina, Pernambuco - margem esquerda do Rio São Francisco	solo renoso fino e médio, siltoso e pouco argiloso
Camapum de Carvalho et al. (1982)	Distrito Federal	solo argiloso
Ferreira et al. (1986)	Ilha Solteira e Primavera, às margens da Bacia do Rio Paraná	solo arenoso fino, pouco argiloso, de origem aluvionar dos arenitos da Formação de Bauru
Riani e Barbosa (1989)	Município de Parnaíba no Estado do Piauí	solo arenoso de fino a grosso de origem eólica
Ferreira e Teixeira (1989)	Municípios de Petrolina, Nova Petrolândia, Novas Rodelas, Santa Maria da Boa Vista no Estado de Pernambuco às margens do Rio São Francisco	solo arenoso ou areno-siltoso amarelado residual de um complexo gnáissico migmático
Signer et al. (1989)	Estado de Pernambuco às margens do Rio São Francisco	solo arenoso
Mendonça (1991)	Município de Bom Jesus da Lapa, Estado da Bahia às margens do Rio Corrente	arias argilosas provenientes de depósitos aluvionares
Ferreira e Lacerda (1993)	Diversas áreas do Estado de Pernambuco	areia quartzosa

• Solos Expansivos



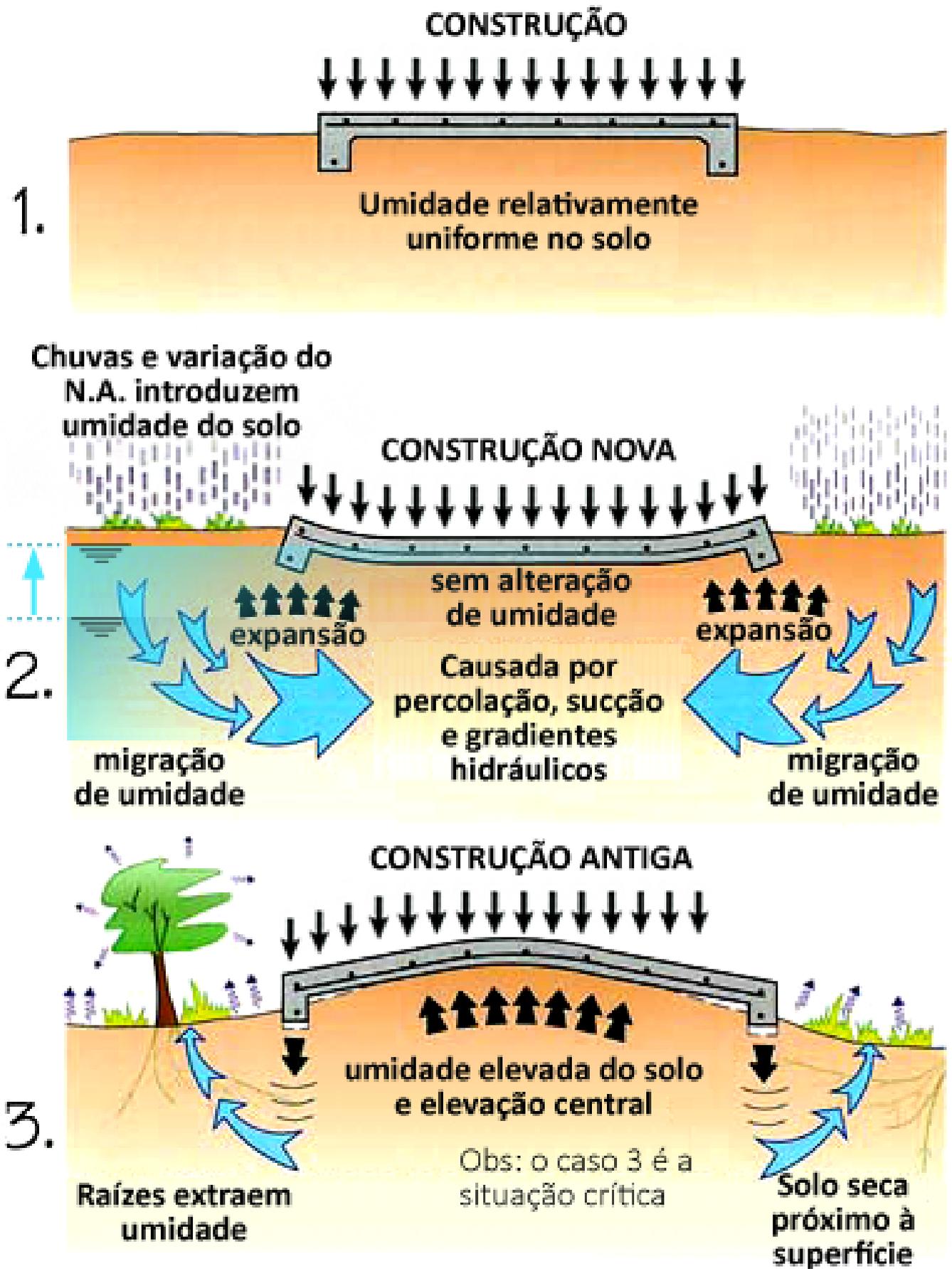
Exemplo de uma rodovia danificada por ter subleito com argila expansível sem qualquer tratamento.

Nos últimos 40 anos, progressos consideráveis foram feitos na compreensão da natureza dos solos expansivos. As contribuições a este avanço tecnológico podem ser separadas em duas categorias. A primeira enfatiza o estudo teórico e é

resultado da maioria das pesquisas acadêmicas. A segunda, institucionais, compreendem análises da mineralogia e estrutura do solo, além de ensaios de laboratório. Estudos mais recentes, com base na sucção e pressão osmótica do solo,

apresenta propriedades de solos expansivos pouco conhecidas. A segunda categoria, refere-se à performance dos solos expansivos com ênfase no critério de projeto e precauções construtivas para estruturas apoiadas em solos expansivos.

Processo do Solo Expansivo



Atualmente, há grupos de trabalho com interesse crescente na compreensão de argilas e xistos expansivos.

Expansibilidade é a capacidade do solo experimentar mudanças de volume devido à entrada de água. Caso se aplique uma pressão, visando evitar esta expansão, a magnitude necessária para que se mantenha o estado volumétrico inicial deverá ser igual a tensão de expansão no solo. O fenômeno expansibilidade está vinculado à capacidade de alguns solos argilosos, em especial solos com componentes montmoriloníticos, experimentarem modificações expansivas em sua estrutural original. Não abrangendo certos solos que, em condições especiais de descompressão, por uma escavação por exemplo, provoquem alívio de tensões, tendendo a apresentar inchamento/expansão na direção da escavação.



Trincas nesta calçada de concreto provocadas por processo de expansão no solo.

Schreiner (1987), em seu trabalho sobre métodos de previsão de solos expansivos preocupa-se, acertadamente, em tentar definir alguns conceitos que são básicos. Separa conceitos e definições para expansividade intrínseca (intrinsic expansiveness), expansão (swell) e levantamento (heave).

Expansividade intrínseca corresponde a uma determinada propriedade do solo. A mudança de volume de uma argila, devido à variação do teor de umidade ou sucção, é causada pela interação entre os minerais da argila e da água. A interação é a base da teoria da dupla camada de Gouy. Se a sucção exer-

cida na água do solo é aumentada, o solo movimentar-se-á para fora, sob o efeito de tensões, diminuindo seu volume. Por outro lado, se água é adicionada ao sistema, a sucção diminui e o volume do solo aumenta. A expansividade intrínseca relaciona mudanças no teor de umidade e, assim, alterações de volume relativo à oscilações da sucção. Um solo com expansividade intrínseca elevada, exibirá teor de umidade ou grande mudança de volume, se comparado com solo de baixa expansividade intrínseca, quando sujeitos à mesma alteração da sucção, sob condição de tensões iniciais, sucção, e histórico de tensões.



Expansão do solo, neste pavimento industrial, causou levantamento do pavimento de concreto.

Expansão pode também ser definido como a medida da deformação volumétrica ou axial de um solo, motivado por um conjunto particular de condições de tensões e sucção.

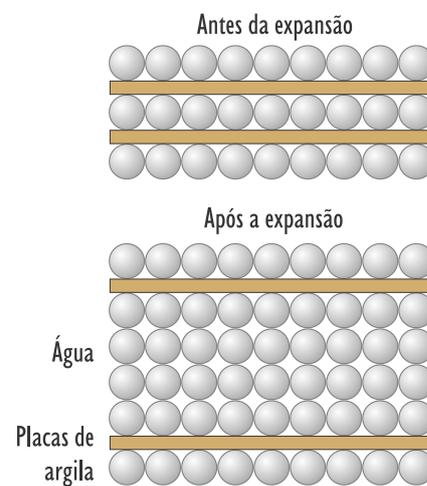
O efeito do levantamento do solo, corresponde ao deslocamento de um determinado ponto no seu interior, devido à mudanças de sucção e tensões que interagem com a expansividade intrínseca.

Segundo Gromko (1974), o levantamento de um solo expansivo pode ocorrer por uma das três formas:

1. Movimento geral para cima, começando fracamente após o início da construção e terminando alguns anos depois após seu final, provavelmente devido à interrupção da evaporação pela superfície do solo.
2. Expansão-contração cíclica sazonal, normalmente em torno do perímetro da edificação e é, primeiramente, relacionado à quan-



Solos expansivos causam grandes tensões nas estruturas, suficientes para provocar deslocamentos.

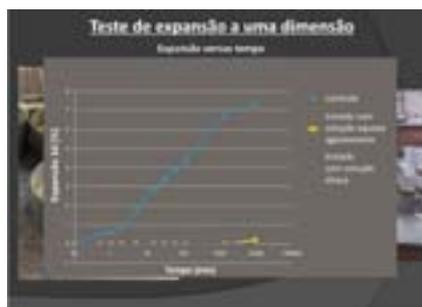


tidade e frequência da chuva e velocidade de sua evaporação.

3. Levantamento local que pode ser resultado de quebra das redes de água ou esgoto ou de um sistema de drenagem com problemas.



Características comparativas de solos expansivos.



Pavimento asfáltico sobre solo expansivo.

A Solução Universal com Grouting



A maneira mais eficiente de neutralizar solos colapsíveis e expansivos é atuando no solo, utilizando técnicas de grouting utilizando soluções aquosas com aglomerantes ou quimicamente ativos.

Existem três modalidades básicas de grouting, cada uma adequada a um tipo de problema a ser solucionado, para um determinado tipo de solo. As modalidades são:

- Compaction Grouting (técnica universal);
- CPR Grouting (técnica patenteada pela Engegraut);
- Permeation Grouting (técnica universal);
- Jet Grouting, embora tenha o

nome Grouting, não é considerada uma técnica de Grouting, mas sim um soil-mixing (Berry, Richard. 2000);

- A Engegraut é a única empresa na América Latina que executa todas modalidades de grouting.



Permeation Grouting com soluções aquosas aglomerantes para neutralizar o efeito expansivo deste local no interior de uma indústria.

Solos Expansivos. A Solução Universal

Das técnicas de grouting, o Permeation Grouting é a que se aplica em todo o mundo no tratamento de solos expansivos. A estratégia recai nas modalidades com soluções aquosas aglomerantes, de modo a impermeabilizar, via saturação, impedindo que a água chegue à matriz argilosa, neutralizando o processo expansivo. E, com soluções aquosas iônicas, de modo a modificar, quimicamente, a natureza das ligações químicas da argila com a água, impedindo o processo expansivo. Soluções aquosas iônicas modificam as características dos íons carregados negativamente



Soluções aquosas, com ultra baixa tensão superficial, é a melhor resposta contra o processo de expansão no solo. A estratégia de trabalho é feita com base nas características do solo local.

nas partículas das argilas, que atraem quimicamente a água. Para ambas as soluções, torna-se necessário conhecer o potencial

de expansão do solo, a presença e o teor de sulfatos, o nível de sucção e o índice de plasticidade das argilas e siltes.



Ausência de informações básicas a respeito do solo do subleito dão como resultado movimentação do pavimento.

Solos Colapsíveis. A Solução Universal

Como vimos, solos colapsíveis apresentam sintomas instantâneos, com intensidade significativa, ocorrendo como resultado do crescimento da umidade e do carregamento imposto. Está sempre associado a perdas bruscas de resistência, em relação ao tempo, devido a perda das ligações cimentantes entre as partículas maiores do solo, agregando-se grandes deformações. A solução universal de tratamento de solos colapsíveis é com Compaction Grouting, tensionando-se novamente o solo, restituindo-se as características tensão-deformação, geralmente elevando-as a patamares superiores.



Tratamento do solo sob esta unidade industrial.



Perdas de resistência do solo, motivaram o fraturamento do pavimento do concreto.

Referências

- BALLOU, Ronald H, Logística Empresarial, tradução Hugo T.Y. Yoshizaki, São Paulo - Atlas, 1993. 388p.
- BANZATO, Eduardo; DA FONSECA, Luiz Roberto Palma - Projeto de Armazéns, Imam, São Paulo, 2008. 41 p.
- LAMBERT, Douglas M., STOCK, James R., Strategic Logistics Management, Third Edition, The McGraw-Hill Companies, INC. Chicago 1993. 862 p.
- PMI, Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK) 4ª Edição, Project Management Institute, Pennsylvania, 2008. 459 p.
- ROSS, David Frederick, Competing Through Supply Chain Management, Kluwer Academic Publishers, Chicago, Illinois, 1999. 365 p.
- ROSS, David Frederick, Distribution – Planning and Control, Kluwer Academic Publishers, Chicago, Illinois, 1996. 779 p.
- RUSHTON, Alan, OXLEY, John, Handbook of Logistics and Distribution Management, Kogan Page, 1991. 339 p.
- SIMCHI-LEVI, David, KAMINSKY, Philip, SIMCHI-LEVI, Edith, Designing and Managing the Supply Chain – Concepts, Strategies and Case Studies, Third Edition, The McGraw-Hill Companies, INC. 2008. 498 p.
- TACHIBANA, Luis Henrique. Gerenciamento de riscos de desenvolvimento em empreendimentos industriais/logísticos: o caso de um condomínio logístico em Ribeirão Preto/L.H. Tachibana. - São Paulo, 2013. 103p.
- VIDOTTI, Fábio. Influência da localização na qualidade do investimento em galpões de armazenagem, com salas de escritório, para locação na microrregião (km 13 ao 29) da Rodovia Anhanguera, em São Paulo. 2006. Monografia (MBA em Gerenciamento de Empresas e Empreendimentos na Construção Civil, com ênfase em Real Estate) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, Programa de Educação Continuada em Engenharia, São Paulo, 2006
- YIN, Robert K., Estudo de Caso: Planejamento e Métodos, 3ª edição, Bookman, Porto Alegre, 2005. 248 p.