

Soft Soil Brazilian Review

16 Solos Moles

Dimensionando o solo mole para operação e estocagem de pilhas de minério de ferro.

22 Solo Mole

A influência e importância do comportamento da poropressão no contexto do solo argiloso mole.

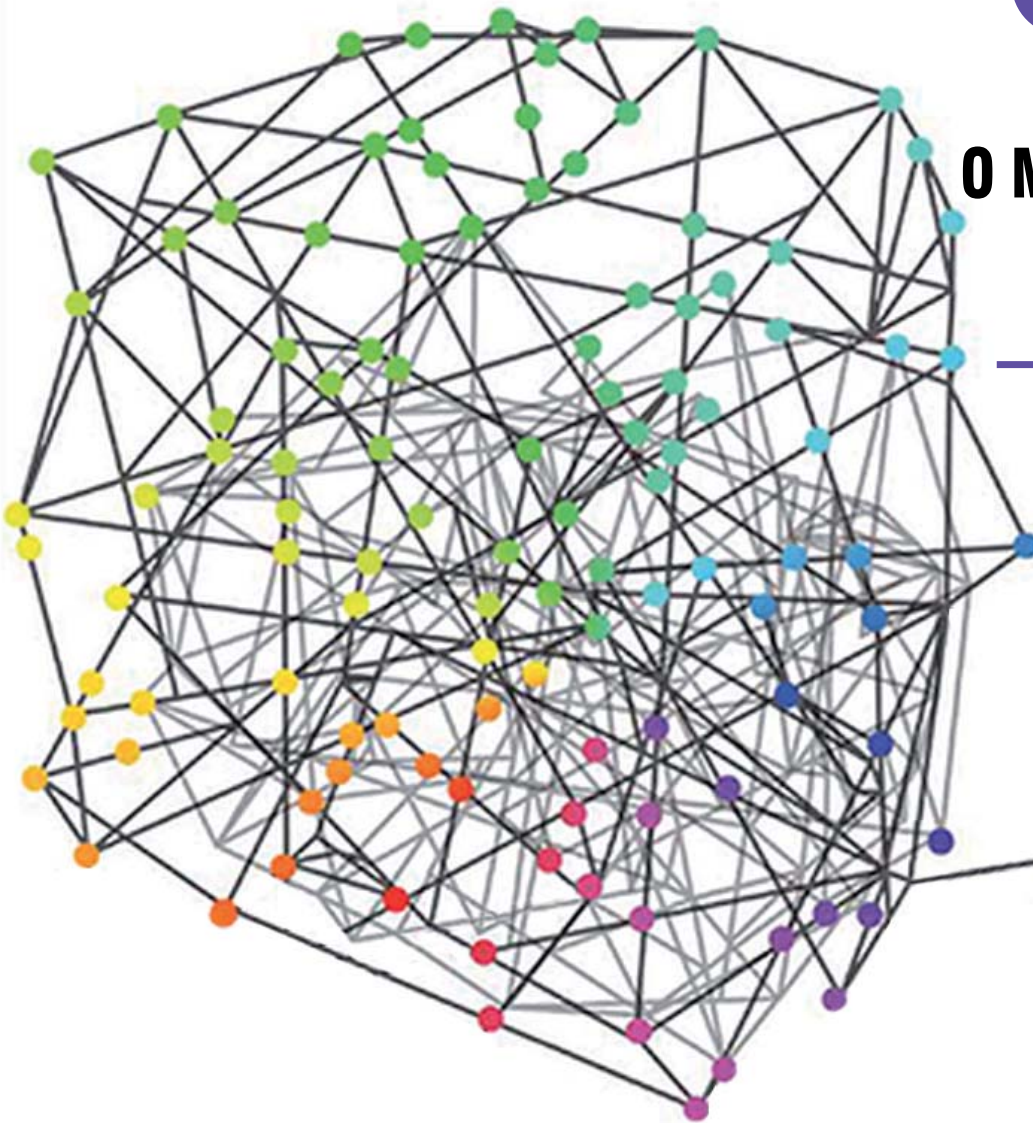
12 Consulta

Precisamos construir um aterro para uma estrada. Há presença de solos moles. Quais os detalhes necessários para o projeto? (II)

DESMISTIFICANDO O MELHORAMENTO DE SOLOS ARGILOSOS MOLES

A DIFERENÇA ENTRE
MELHORAR E ATENUAR

PÁG. 4





INFORMAÇÕES SOBRE MELHORAMENTO DE SOLOS MOLES?

SOFT SOIL GROUP

O SOFT SOIL BRAZILIAN INSTITUTE ajuda você a tocas 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.



<http://softsoilbrazilianinstitute.com.br>

Soft Soil Brazilian Review

Edição - Mai / Jun - Nº 11



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

11

SOLO MOLE
Desmistificando o melhoramento de solos argilosos moles. **04**

Por Joaquim Rodrigues

SOLOS MOLES
Dimensionando solo mole para operação e estocagem de pilhas de minério de ferro. **16**

Por Patrícia Tinoco

SOLO MOLE
A influência e a importância do comportamento da poropressão no contexto do solo argiloso mole. **22**

Por Thomas Kim

EDITORIAL

Tempos difíceis, com o advento do Coronavírus. Melhorar solos moles também é uma atividade extremamente difícil, que pouquíssimos consultores geotécnicos dominam. Via de regra, devido ao desconhecimento da mecânica pertinente, optam por apresentar soluções que atravessam os depósitos moles, literalmente ignorando-os. A situação é tão grave, que no bojo da questão sem solução, permite-se aterrar o terreno sobre o solo mole, impondo imediatamente recalques, antes mesmo de começar a obra. A partir daí, projeta-se estaqueamento para cargas irrisórias da ordem de 5ton/m², deixando claro o desconhecimento da técnica de melhoramento de solos moles. Neste cenário, a obra “começa” já com recalques diferenciais ao longo da construção, seja com soluções de georeforço com colunas, caracterizado por transferir a carga para camadas de solos resistentes ou simplesmente com estacas, seja com hélice contínua ou pré-moldadas. Ignora-se os efeitos, que o processo de recalque está a impor no aterro e nas próprias colunas/estacas, iniciando-se a construção dos pilares, paredes, etc. Com a obra pronta, o cliente percebe desaprumos e desnivelamentos ao longo da construção, manifestando-se insatisfeito e cobrando solução. Este é o lugar comum da maioria das construções logísticas brasileiras, construídas sobre solos moles. Nesta edição, sob a ação do COVID-19 procuramos, com a matéria “Desmistificando o melhoramento de solos argilosos moles”, apresentar mais informações acerca dos equívocos do dimensionamento de aterros de pré-carregamento para terrenos com solos moles mais profundos que 5 ou 7m, assim como do uso de georeforço com colunas, seja de brita ou deep mixing, ressaltando os inevitáveis recalques diferenciais ao longo da obra. A matéria “Dimensionando o solo mole para operação e estocagem de pilhas de minério de ferro”, é um caso típico de dimensionamento do melhoramento do solo mole para tensões no solo tão altas quando 4kg/cm². Finalmente, com a matéria “A influência e a importância do comportamento da poropressão no contexto do solo argiloso mole” procuramos mostrar a importância das análises piezométricas e da relação poropressão-recalque no contexto do solo mole. Boa leitura.

DESMISTIFICANDO O MELHORAMENTO DE SOLOS ARGILOSOS MOLES



Figura 1 - A movimentação de solo mole devido à escavação, nesta obra, provocou deslocamento nas estacas metálicas, previamente cravadas. Necessidade do Geoenrijecimento para dar continuidade à obra.

Solo mole é reconhecidamente problemático, e fartamente encontrado em nossas áreas costeiras. No boletim de ocorrências, informa-se que não suportam cargas, são altamente compressíveis, não permitem qualquer investigação no campo, no escritório é difícil de modelá-los e, para consolidá-lo necessita-se de muito tempo. A impossibilidade de investigá-lo, no campo, com extração de amostras, sem amolgá-lo, nos dá a possibilidade de conhecê-lo com testes rápidos e, por exemplo, com correlações com o indicador ou índice de compressão, a partir do limite de liquidez, conforme estabelecido por Terzaghi e Peck, em 1967. Evidentemente, corre-se o risco de superestimar/subestimar os parâmetros desejados já que, conforme Tanaka, 1994, correlações são válidas apenas para os tipos de argila mole analisados e seus locais específicos.

De um modo geral, investiga-se o solo com intuito de se projetar o melhoramento do solo, um corte, um aterro, a fundação de

uma estrutura, uma parede de contenção, etc. A presença de solos moles, no entanto, é um fator extremamente limitante, que

Estimativas dos índices de compressão (Cc) a partir de testes de laboratório

Solo	Equação Cc	Referência
Argilas virgens	$Cc = 0,009(LL-10)$	Terzaghi & Peck (1967)
Argila amolgadas	$Cc = 0,007(LL-10)$	
Solos orgânicos - turfas	$Cc = 0,115W_n$	EM 1110-1-1904
Argilas	$Cc = 1,15(E_0-0,35)$	
	$Cc = 0,012W_n$ $Cc = 0,01(LL-13)$	
Argilas	$Cc = 0,141 G_s^{1,2} \left(\frac{1+e_0}{G_s} \right)^{2,38}$	Rendon-Herrero (1983)
Argilas	$Cc = 0,2343 \left[\frac{LL}{100} \right] G_s$	Nagaraj & Murty (1985)

Onde: G_s = peso específico do material sólido, LL = limite de liquidez, W_n = teor de água e e_0 = índice de vazios inicial.

Leica Geosystems introduces rig solutions for pile drivers and drill rigs

New Leica iCON offering becomes latest addition to one-for-all MC1 software platform



3D machine control solution for pile drivers and drill rigs on the Leica MC1 platform

(HEERBRUGG, Switzerland, 25 February 2020) – Leica Geosystems, part of Hexagon, today announced the launch of the Leica iCON rig solutions for pile drivers and drill rigs on the one-for-all MC1 3D machine control software platform to precisely and safely guide operators to the exact position and depths needed for construction projects.

Further growing its construction portfolio of easy-to-use and easy-to-integrate products, Leica Geosystems now allows rig operators to work faster, safer and more accurate on-site and share real-time data between field and office. Users can leverage the same interchangeable MCP80 panel to run the MC1 3D machine control software as an intuitive all-in-one system for drill rigs and pile drivers.

“It is so easy! It gives me total freedom in my work. If I receive an offset height, I can build my drill pattern in the display, and I can do the drilling myself accurately. Every hole is drilled to specification with the right depth and angle. Everything is fast, and the as-built documentation is easy to export from the system afterwards,” explains Odd Are Frydenlund, drill rig operator at Fjellsprenger AS in Norway.

Seamless integration improves construction workflows between the field and office

The Leica iCON iRP3 for pile drivers and the Leica iCON iRD3 for drill rigs 3D machine control solution on

the MC1 platform is connected to all other operations on the construction project, supporting IREDES, KOF and LandXML file formats and integrate seamlessly with the iCON portfolio. Thanks to the new configuration of the iCON rig solution, the operators can work in any GNSS-denied areas with dual total station positioning.

“We can now drive an average of 25-50 piles per day depending on the length of the piles and on how soft the underground is,” says Till Leve Röscher, project manager at Arkil A/S. “The machine control solution allows us to save 5 to 10 minutes per pile.”

MC1 allows users to share and visualise all project and as-built data directly on the panel through Leica ConX, the cloud-based collaboration platform, connecting the field and office seamlessly. With the seamless integration among the iCON portfolio, drill patterns are created in Leica iCON site.

Both innovations are available for hands-on demonstrations at CONEXPO-CON/AGG 10-14 March 2020 in Las Vegas, United States, on the Hexagon Booth in North Hall, at stand #N-12166.

when it has to be right

Leica
Geosystems



Figura 2 - A execução de pré-furos para o início do processo de Geoenrijecimento do solo mole para fabricação de uma fábrica de carros no sul do país.

incorre em três opções para torná-la viável à obra em questão: O Geoenrijecimento, o geoforço e o pré-carregamento.

A escolha dos dois primeiros métodos de melhoramento do solo mole, tem como produto final o solo compósito. As condições básicas para a escolha são:

- **Estrutural**

Inclui a dimensão da construção a ser levantada, sua forma, tipo, flexibilidade e ductibilidade dos elementos estruturais, além da fundação. Necessário, também, considerar a distribuição das cargas, tipo e magnitude. Finalmente, dever-se-á considerar a tolerância para os recalques que aparecerão, tanto total quanto diferencial, além de movimentos laterais e o fator de segurança mínimo.

- **Geotécnica**

A principal questão geotécnica é o solo mole, sua profundidade, abrangência, composição e, naturalmente, o nível freático, importante para a seleção do método de melhoramento de solo. A opção pela substituição do solo mole só será viável se houver dois ou no máximo três metros de profundidade. Assim mesmo, hoje, torna-se inviável devido ao aspecto ambiental.

A opção por pré-carregamento também só é adequada quando da presença de solos moles com pouca profundidade, já que as tensões verticais, provocadas pelo aterro de pré-carga, são bastante superficiais, o que induz recalques futuros. Um exemplo, do uso equivocado desta técnica,

são as estradas, com a surgência de rupturas durante a fase de implantação e, após a execução, surgindo recalques diferenciais, com altos e baixos na pista, agravando-se junto aos aterros de encontro de pontes. O “melhoramento do solo” com geoforço que transfere as cargas para camadas resistentes, apresenta três principais limitações: a presença de solo argiloso sensível, a profundidade máxima de solo mole com 10m e o limite mínimo exigido de resistência cisalhante para o solo de 10 a 15kPa. O melhoramento do solo, com geoenrijecimento, não apresenta limitações já que, efetivamente, consolida-o homogeneizando-o.

- **Construtiva**

Evidentemente, o tipo de empreendimento a ser construído, assim como seu prazo, a disponibilidade dos materiais

necessários e o acesso aos equipamentos ao local, juntamente com a limitação de custos interferem, sobremaneira, na escolha da técnica do melhoramento do solo.

- **Eficiência do método (previsão de recalques)**

A presença de solos moles significa recalques particularmente os diferenciais. Quanto mais alta a eficiência, menor a surgência de recalques. Sua presença também, naturalmente, significa instabilidade para o empreendimento. O geoenrijecimento e o geoforço são eficazes em eliminar a questão da instabilidade, ao se construir sobre solos argilosos moles. No entanto, apresentam níveis diferenciados de eficiência com relação à surgência de recalques, pós melhoramento. O pré-carregamento envolve muito risco e não apresenta nível de eficiência aparente.



Figura 3 - Rutura, durante a tentativa de se fazer precarregamento, na ampliação de uma estrada no Rio de Janeiro. Repare que a rutura ocorreu exatamente nas laterais da antiga estrada, onde foi feito o aterro.

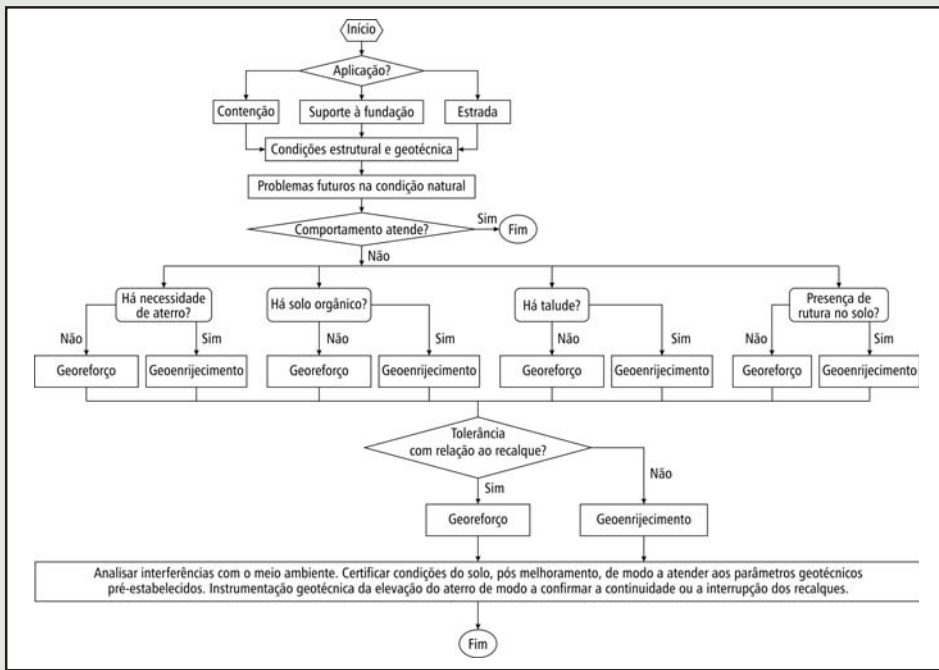


Figura 4 - Fluxograma para análise rápida do método de melhoramento do solo mole (do livro “Melhoramento do Solo Mole e o Geoenrijecimento”).

É esta a questão principal que o projetista deverá se preocupar. Qual o nível permitido de tolerância à recalques residuais diferenciais, pós construção? As metodologias de geoenrijecimento e de georeforço, responsáveis pela maioria dos serviços de melhoramento de solos moles, realizados no Brasil, apresentam eficiências bastante diferenciadas, muito embora com preços parecidos. Efetivamente, trabalham com percentual diferenciado de eficiência, ou seja, quanto cada melhoramento fará com que o solo mole aproxime-se da condição rijo (100%). O Geoenrijecimento trabalha com níveis de eficiência 95%, enquanto que as técnicas de georeforço com níveis de eficiência 50% (média).

• Mais critérios para a escolha

O fluxograma acima, apresenta a representação gráfica da análise para a escolha do método de melhoramento de solo mole. Para qualquer tipo de empreendimento a ser construído, torna-se necessário analisar, criteriosamente, sondagens existentes, analisando-se as resistências ao cisalhamento existentes, presença de solo orgânico e/ou turfas e, finalmente, a profundidade dos depósitos de solo mole. Estas três condições são limitantes para o “melhoramento do solo” pelo método do georeforço, baseado na transferência das cargas por colunas.

• **A questão do recalque diferencial.** O melhoramento do solo, com Geoenrijecimento, elimina o grande inconveniente

do recalque diferencial, já que homogeneiza todo o solo. No georeforço, devido a diferença de rigidez entre colunas e o solo mole envolvente, estabelece processos de recalque diferencial, difíceis de serem eliminados.

Antes de seguirmos com mais diferenças entre o Geoenrijecimento e o georeforço, apresentaremos detalhes sobre a antiga e pouco eficiente técnica de pré-carregamento.

A solução com pré-carregamento

Como o próprio nome diz, utiliza aterro como sobrecarga, lançado sobre o solo mole, com objetivo de pré-carregá-lo, comprimindo-o, objetivando-se sua consolidação. Mas, o que é a consolidação do solo argiloso mole? É a compressão vertical, imposta ao solo, neste caso, com aterro de sobrecarga, promovendo a redução gradual de seu volume (recalque), em consequência da drenagem da água do solo mole. Ou seja, gera-se um excesso de poropressão e, conseqüentemente, sua dissipação. Assim, é preciso que haja compressão em toda a profundidade do solo que se deseja consolidar e, evidentemente, também a drenagem. Pré-carregamento em solos argilosos moles, só com geodrenos. Ora, sabe-se que as tensões de compressão, geradas pelo peso do aterro de sobrecarga, para produzir o pré-carregamento, mal chegam a 5m de profundidade. Então,

não há compressão no solo mole, abaixo dos 5m de profundidade, o que significa que pré-carregamento e o seu processo de consolidação não ocorre a partir daí. Neste caso, significa que o solo permanece mole e intacto de 5m para baixo, o que irá gerar futuros recalques. Como é que se pode atestar este fato? Simples, o progresso do processo de consolidação do solo mole, pode ser monitorado por meio da instalação de piezômetros, a várias profundidades, de modo a verificar o comportamento da poropressão ao longo do tempo. Desta forma, sabe-se qual a profundidade que as tensões de compressão atuam, informando a atuação do pré-carregamento. Da mesma forma, utiliza-se célula de pressão. De nada adianta, em terrenos com solos moles, tendo 10 ou 40m de profundidade impor esta solução. Os exemplos estão evidentes em milhares de quilômetros de estradas construídas, nos últimos anos, particularmente em Pernambuco, Santa Catarina e Rio de Janeiro, apresentando ondulações e distorções, responsáveis por desconfortos e inúmeros acidentes. Então, por que ainda projeta-se solução com pré-carregamento em terrenos com depósitos de solos moles profundos? Desconhecimento? Provavelmente, pois pressupõe-se que a camada compressível de solo mole, submetida às tensões de compressão (limitadas), em alguns meses, “sofrerá recalque” e, com isso, remove-se o pré-carregamento, dando-se início à obra. Engano. O que ocorre é o recalque imediato ou elástico, decorrente (apenas) de um deslocamento de massa mole e de uma pequena parcela da poropressão dissipada, que pouco tem a

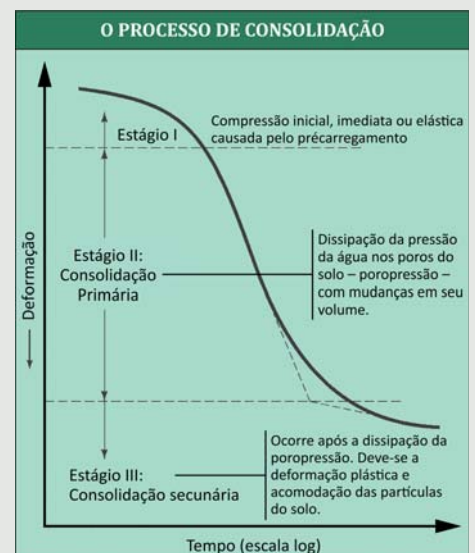


Figura 5 -

ATERRO DE PRÉ-COMPRESSÃO - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Recalque causado pelo carregamento estrutural futuro (S_p):

$$S_p = \frac{C_c H}{1 + e_0} \log \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0} \right)$$

Recalque causado pelo carregamento estrutural futuro e a sobrecarga (S_{p+f} ou S_{p+f}):

$$S_{p+f} = \frac{C_c H}{1 + e_0} \log \left(\frac{\sigma'_0 + [\Delta\sigma' + \Delta\sigma_f]}{\sigma'_0} \right)$$

Onde:

$\Delta\sigma_f$ = mudança na tensão vertical devido à sobrecarga

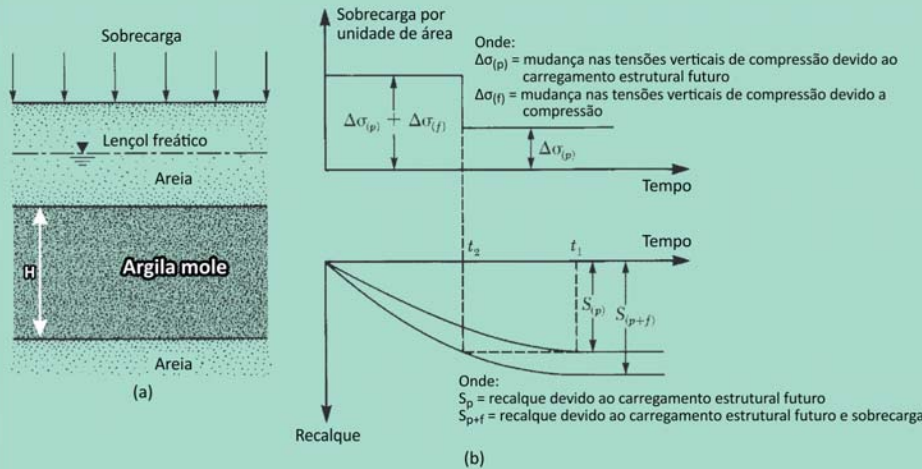


Figura 6 - Dimensionamento do pré-carregamento.

ver com o processo de consolidação desejado, denominado também de compressão primária, que pode durar anos, bastando acompanhar a evolução de toda dissipação da poropressão. Desta forma, erra-se duas vezes ao projetar-se aterros de sobrecarga, em terrenos com depósitos de solos moles profundos: pela profundidade e pelo engano da obtenção do recalque elástico, esquecendo-se que o recalque por consolidação vem a seguir, e pode durar anos, muitas vezes muito maior que o elástico (figura 5).

A solução com colunas

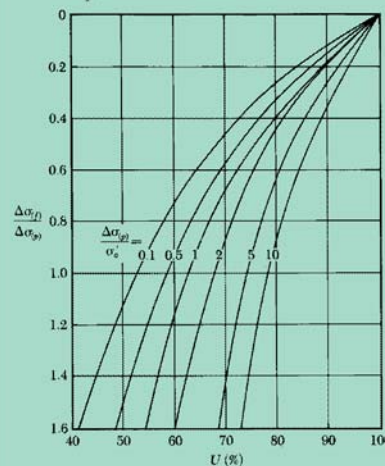
O uso de elementos colunares, com pedra ou brita foi, e continua sendo, uma técnica de certa forma adaptada ou mesmo improvisada, utilizada desde os tempos de Napoleão, para “melhorar” solos moles, sem se importar com consequências futuras já que, efetivamente, não consolida o solo mole, é muito limitada pois depende da própria “estabilidade do solo mole” para sustentar as colunas lateralmente, sem o que embarrigam e promovem recalques diferenciais, uma das razões principais de sua pouca eficiência. Mais recentemente, desenvolveu-se a técnica com colunas de

solo-cimento (Deep Mixing). A rigidez destas colunas é caracterizada por seu módulo de Young, que varia de 10 a 50 vezes o módulo do solo original, que permanece mole e passivo ao redor. Esta característica, dos elementos colunares, apenas promove redução e não a eliminação do recalque. A resistência ao cisalhamento das colunas é caracterizada tanto pelo ângulo de atrito, com colunas de brita ($\phi > 40^\circ$) e, para o caso das colunas de solo-cimento (Deep Mix), possui coesão de 20 a centenas de vezes à do solo mole, que permanece mole e passivo ao redor, Broms, 2000. O projeto de solos moles “melhorados” com colunas, inclui tanto a verificação de sua capacidade de carga, quanto a do recalque. O parâmetro chave é a taxa de área de solo “melhorado”, definido pela seção transversal de todas as colunas existentes em relação a área total (solo mole + colunas). A nível de norma, a Alemã proíbe o “melhoramento” de solos moles com colunas, quando o depósito de solos moles for mais profundo que 10m. Outro fator limitante é a proibição quando da existência de solos muito moles, com resistência não drenada

ATERRO DE PRÉ-COMPRESSÃO - PLANEJAMENTO

Equações Matemáticas

$$U = \frac{S_p}{S'_{p+f}} \text{ Definição do grau médio da consolidação } U \text{ desejada}$$



$$U = \frac{\log \left[\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'_{(p)}}{\sigma'_0} \right]}{\log \left[\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'_{(p)} + \Delta\sigma'_{(f)}}{\sigma'_0} \right]}$$

Substituição

$$U = \frac{\log \left[1 + \frac{\Delta\sigma'_{(p)}}{\sigma'_0} \right]}{\log \left[1 + \frac{\Delta\sigma'_{(p)}}{\sigma'_0} \left[1 + \frac{\Delta\sigma'_{(f)}}{\Delta\sigma'_{(p)}} \right] \right]}$$

Rearranjo das equações

Onde:

$\Delta\sigma_{(f)}$ = mudanças nas tensões verticais de compressão devido à sobrecarga

$\Delta\sigma_{(p)}$ = mudança nas tensões verticais devido ao carregamento estrutural futuro

σ'_0 = tensões verticais de compressão efetivas iniciais

Passo à passo:

- 1 - Calcule o recalque da consolidação primária a partir da carga planejada (S_p).
- 2 - Calcule o recalque da consolidação primária a partir do carregamento planejado mais a sobrecarga (S_{p+f}).
- 3 - Calcule o grau médio da consolidação U . Considerar $U = S_p/S_{p+f}$. Podendo utilizar também o gráfico acima.
- 4 - Encontre T_v , a partir do U calculado, para achar o tempo em que a sobrecarga deverá ser removida (ou seja t_2):

$$\Rightarrow t_2 = \frac{T_v H_{dr}^2}{c_v}$$

Figura 7 - Dimensionamento do pré-carregamento.

inferior a 15kPa. O “melhoramento” de solos moles com elementos colunares impõe também, necessariamente, a utilização de colchão ou plataforma de transferência de cargas com material granular utilizando-se geogrelha, de modo a procurar uniformizar o inevitável recalque diferencial, entre colunas e o solo mole circundante, o que aumenta um pouco mais a estabilidade do conjunto contra a rutura.

A solução com Geoenrijecimento

Para se falar em Geoenrijecimento do solo argiloso mole, torna-se necessário entender bem o mecanismo da consolidação da argila mole, já que esta técnica baseia-se integralmente neste conceito. Assim, a consolidação de uma argila mole é o processo mecânico, com o qual, promove-se redução gradual de seu volume, como consequência da imposição de tensões de compressão. Ou seja, sem pressão de compressão no solo não há redução de volume, consequentemente não há consolidação. Como o solo argiloso mole é composto por duas fases – grãos e água intersticial – ao se comprimí-lo, a alta rigidez volumétrica da água, comparada à matriz do solo, faz com que a água, absorva todas as tensões de compressão sem alteração no volume do solo, criando-se picos ou excessos de poropressão. À medida em que a água dissemina-se ou drena, destas regiões com excessos de poropressões, a matriz do solo absorve estas tensões e reduz seu volume. Ou seja, tudo o que se obtém num teste edométrico: a sequência executiva da consolidação da argila mole. Ver figura abaixo.

A técnica do Geoenrijecimento estabelece um meio drenante artificial, com a cravação de geodrenos. A seguir, promove-se intenso processo de compressão radial, no interior do solo mole, feito com a formação de bulbos, a cada metro de profundidade, de baixo para cima, bombeados com argamassa seca, via expansão de cavidades, ao redor dos geodrenos previamente cravados, ao longo de verticais distribuídas no terreno com malha triangular. Desta maneira, pressuriza-se integralmente o solo argiloso mole, fazendo-o drenar pelos geodrenos, promovendo-se a consolidação imediata e, quase que integralmente, a consolidação primária, considerando-se pressões impostas da ordem de 10kg/cm²,

o que desenvolve forças de compressão, nos bulbos formados, da ordem de 500 toneladas. O resultado nada mais tem a ver com o antigo solo mole mas, sim, com um solo completamente modificado e homogeneizado, tendo parâmetros de resistência e rigidez pré-estabelecidos em toda a profundidade do antigo depósito de solo argiloso mole. Sua grande particularidade recai sobre os parâmetros de resistência e rigidez do solo, permanentemente verificados à medida em que o serviço evolui, estabelecendo-se rígido controle da qualidade do volume de solo geoenrijecido, com certificação geotécnica através de análises piezométricas, pressiométricas e volumétricas com tomografia por ima-



Figura 8 - Melhoramento do solo, com Geoenrijecimento, em área portuária fluvial no Vale do Itajaí, SC.

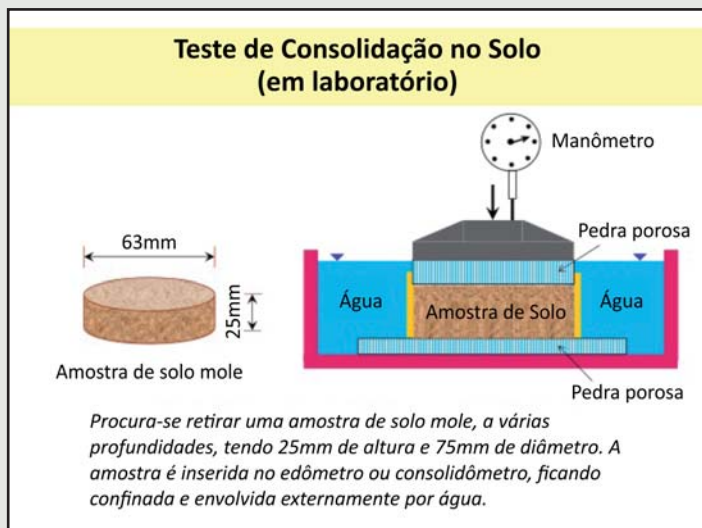


Figura 9 - O teste de consolidação do solo mole em laboratório.

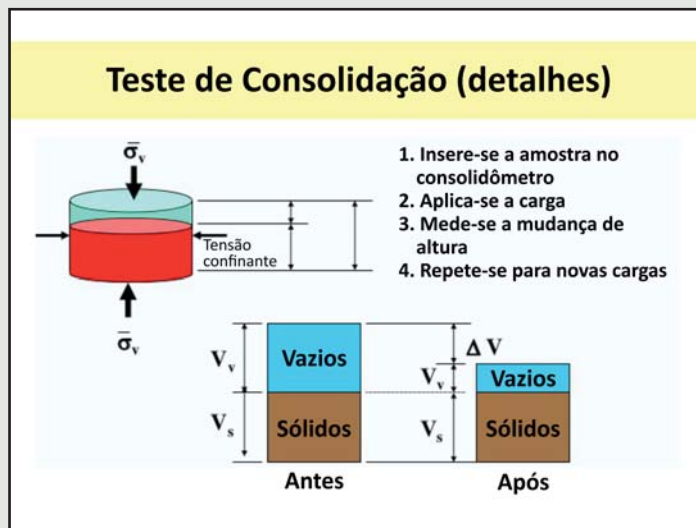


Figura 10 - Análise, em detalhes, do teste de consolidação.

Webinar - Live

SIG Workshop: Geotechnical Analysis - Using SoilVision SVSLOPE to Determine the Factor of Safety

Apr 14, 2020

4:00 PM CEST

1 hr



Slope Stability analysis using the Limit Equilibrium Method is applied worldwide to obtain a factor of safety. With the SoilVision solution, engineers can assess ...

Speaker Bio



Micha van der Sloot

Technical Support Manager
Bentley Systems, Inc.



Marina Trevizolli

Senior Application Engineer
Bentley Systems



Slope Stability analysis using the Limit Equilibrium Method is applied worldwide to obtain a factor of safety. With the SoilVision solution, engineers can assess critical slip failure mechanisms in 2D/3D through a deterministic and probabilistic approach. This Geotechnical Analysis Special Group virtual workshop guides engineers about concepts and methods available in SVSLOPE for determining the factor of safety.

This one-hour session works within SoilVision CONNECT Edition, Version 10 and includes a technical presentation as well as time to share questions. Topics include:

- Assessing a critical factor of safety in SVSLOPE
- Different search methods and their application in 2D/3D
- Analyzing critical slip failure shape mechanism

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

www.bentley.com



Figura 9 - Repare os geodrenos cravados no terreno para dissipar a poropressão gerada durante o Geoenrijecimento do solo mole.

gem. Para dimensionamento acesse: http://www.engegraut.com.br/geoenrijecimento/MC_v1.0.rar

A questão da certificação do melhoramento do solo mole

A utilização do Geoenrijecimento, o que efetivamente melhora o solo mole, homogeneizando-o e o georeforço, que estabelece elementos colunares envolvidos por solos moles, define um padrão de célula unitária, já que ambos sistemas estabelecem o que se denomina solo compósito.

O comportamento mecânico do solo compósito, de acordo com sua célula unitária, que estabelece suas propriedades mecânicas portanto, está associado aos dois elementos – o solo e a inclusão (bulbo ou coluna) – que trabalham conjuntamente, estabelecendo suas propriedades, forma e topologia. Para a determinação de seu comportamento geotécnico, torna-se necessário avaliar sua resistência cisalhante, de modo a oferecer estabilidade, capacidade de carga e da rigidez, que possibilita reduzir ou eliminar a compressibilidade, evitando recalques, particularmente os diferenciais. A avaliação do solo compósito, portanto, deverá considerar conjuntamente os dois componentes da célula unitária de modo a aferir a situação do solo compósito, no caso do Geoenrijecimento. Somente com ensaios caracterizados pela deformação do solo, isto é, com ensaios pressiométricos e tomográficos com imagem, po-

der-se-á avaliar os dois elementos do solo compósito. Sondagens caracterizadas pela rutura do solo, ou seja, penetrométricos, que avaliam apenas um elemento, como o SPT, CPT-U e Palheta não são aptas a aferir o solo melhorado. Para o caso do georeforço, que utiliza colunas para transferência de cargas, mantendo-se o solo mole ao redor, apenas provas de carga em cada estaca e em conjunto de três ou quatro estacas poderá aferir o “melhoramento do solo”. (mais informações consulte o livro “Melhoramento de Solos Moles e o Geoenrijecimento”).



REFERÊNCIAS

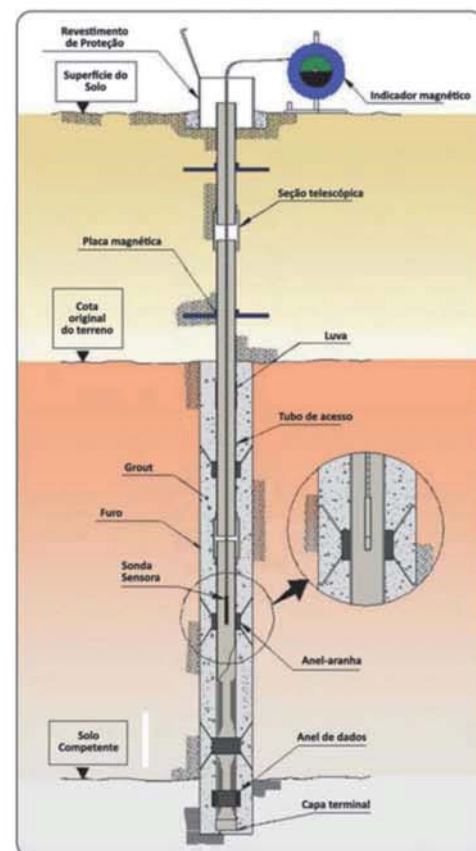
- **Joaquim Rodrigues** é engenheiro civil M.Sc. formado no Rio de Janeiro em 1977, pós-graduado pela COPPE na Universidade Federal do Rio de Janeiro em 1999. Diretor do Soft Soil Group e da Engegraut Geotecnia e Engenharia, associada à ABMS e ao American Society of Civil Engineers desde 1994. Desenvolveu 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.
- 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.

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.



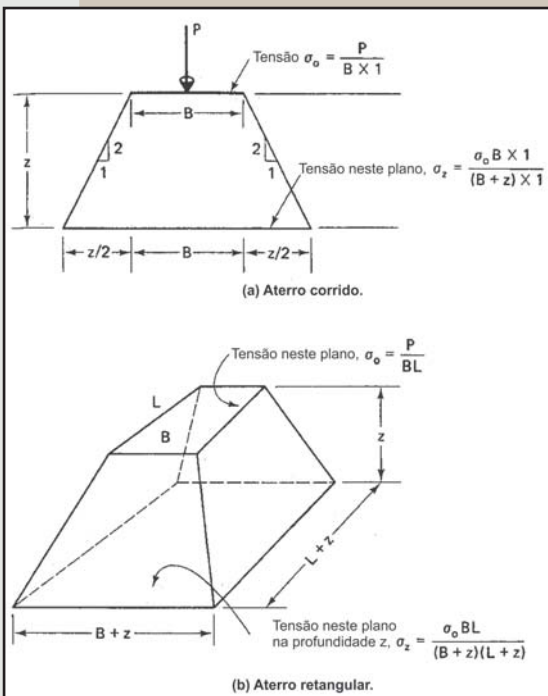
Para maiores informações, acesse: <http://www.softsoilgroup.com> ou atendimento@softsoilgroup.com

PRECISAMOS CONSTRUIR UM ATERRO PARA UMA ESTRADA. HÁ PRESENÇA DE SOLOS MOLES. QUAIS OS DETALHES NECESSÁRIOS PARA O PROJETO? (II)

Dando continuidade à edição anterior, chegamos à questão da distribuição de tensões. Um dos principais parâmetros de entrada, para a análise de recalques, é o aumento das tensões verticais, devido ao aterro no ponto médio da camada que está sendo avaliada. Assume-se, corriqueiramente, que as tensões verticais, a uma determinada profundidade, é igual a pressão exercida pelas cargas do aterro na superfície do terreno. Além desta pressão exercida, outros fatores também influenciam a distribuição de tensões ao longo da profundidade, incluindo-se a geometria (largura e comprimento) do aterro, inclinação de seus taludes, profundidade da camada a ser avaliada, além da distância horizontal do centro da carga ao ponto em questão. Há diversos métodos para se avaliar a distribuição de tensões.

• O método 2V:1H

É o método mais simples para estimar a distribuição das tensões com a profundidade.



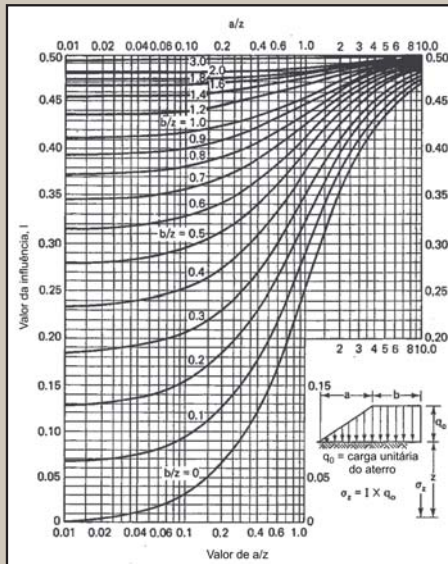
Método 2V:1H para estimar o aumento de tensões verticais função da profundidade.

• A teoria da elasticidade

Esta metodologia é a mais utilizada para estimar a distribuição de tensões em depósitos de solos, a partir da base do aterro (carregamento). A maioria das tabelas, que resumem as informações desta metodologia, baseiam-se nas teorias de Boussinesq e outras nas equações de Westergaard, que também incluem os coeficientes de Poisson - relacionada a taxa de deformação, aplicada em uma orientação induzida em uma direção ortogonal.

• Tabelas empíricas

As equações da teoria da elasticidade foram incorporadas com gráficos e tabelas, para cenários de carregamentos típicos, como abaixo de

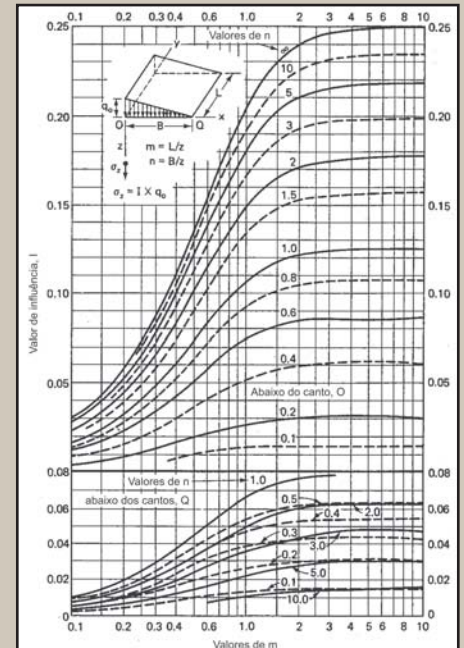


Fatores da influência das tensões verticais provocadas por aterros longos.

elementos de fundação ou de aterros. Os gráficos para avaliar o tempo do desenvolvimento do processo da consolidação primária a ser imposto no depósito de solo mole, sob o aterro utiliza-se, de maneira estimada, as equações com base na teoria da consolidação unidimensional de Terzaghi.

• Avaliação do recalque

Para se avaliar o tempo do desenvolvimento do processo da consolidação primária a ser imposto no depósito de solo mole, sob o aterro utiliza-se, de maneira estimada, as equações com base na teoria da consolidação unidimensional de Terzaghi. O valor do C_v deverá ser determinado a partir dos cálculos de dados do monitoramento do recalque, obtidos no local da obra ou em suas proximidades, considerando-se que hajam solos semelhantes. O comprimento da trajetória de drenagem, talvez, seja o parâmetro mais crítico, já que o tempo para se alcançar uma determinada porcentagem da consolidação é função do quadrado do comprimento da trajetória de drenagem. Observar algumas suposições de Terzaghi para entender suas limitações, como o fato de assumir pequenas deformações, de modo que o coeficiente de compressibilidade do solo mole e seu coeficiente de permeabilidade permaneçam essencialmente constantes. Terzaghi assume que não haverá compressão secundária e, conseqüentemente, informa que seus cálculos não são válidos quando houver camadas de solos orgânicos. Logo, quando houverem solos orgânicos muito compressíveis, a avaliação do recalque, com a teoria de Terzaghi, pode não ser solução. Muitos casos, ou quando se perceber que o processo de



Valores da influência das tensões verticais nos cantos das cargas triangulares que apresentam comprimento limitado.

consolidação será longo, dever-se-á considerar o seguinte:

- Verificar as profundidades de solo mole. Se forem pouco espessas, com 5 ou até 7m de profundidade, no máximo, poder-se-á utilizar pré-carregamento nos locais, monitorando-se com piezômetros e placas de recalque, de modo a se avaliar a intensidade e o tempo do recalque.
- Caso hajam depósitos de solos com profundidade superior a 7m, não dever-se-á utilizar pré-carregamento, já que as tensões de compressão necessárias à consolidação não ultrapassam esta profundidade. Conseqüentemente, o pré-carregamento não tem qualquer benefício. Neste caso, apenas o Geoenrijecimento é indicado, já que seu processo de compressão e drenagem atua em toda a camada de solo mole.
- Da mesma maneira, quando houver solos orgânicos. Apenas o Geoenrijecimento garantirá a compressão, drenagem e confinamento adequados ao processo de consolidação.

• Ferramentas analíticas

Tanto a consolidação primária, quanto a secundária poderão ser calculadas à mão ou com programas de computador.



Situação típica de um aterro de pré-carregamento onde, na maioria das vezes, não é consebido e realizado de forma adequada. Trata-se de uma solução barata, mas muito limitada e muito pouco eficiente.



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



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

11 February 2020
10:00 A.M. CET
04:00 P.M. CET

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!**



UNIONTECH

TECNOLOGIA DE JUNTAS

UNIONTECH JUNTAS E IMPERMEABILIZAÇÕES LTDA.

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

www.uniontech.com.br

SOFT SOIL BRAZILIAN INSTITUTE

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.softsoilbrazilianinstitute.com.br>

E-mail: contato@softsoilbrazilianinstitute.com.br

SOFT SOIL BRAZILIAN REVIEW

Diretor Editorial

ENGº JOAQUIM RODRIGUES

joaquim@softsoilbrazilianinstitute.com.br

Diretores Adjuntos

ENGº THOMAS KIM

ENGº ROGER RODRIGUES

PATRÍCIA TINOCO

patricia@softsoilbrazilianinstitute.com.br

Publicidade, Assinatura, Livros e Vídeos

CLEIDE FERREIRA

cleide@softsoilbrazilianinstitute.com.br

Editor de Arte

ALEX CRISPIM

Reprints Editoriais

MARIANA TATI

mariana@softsoilbrazilianinstitute.com.br

Solicite reimpressões de reportagens

ou artigos publicados

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

Agenda

1 a 4 de março de 2020

PDAC 2020 - Prospectors & Developers Association of Canada

Toronto - Canadá

<http://pdac-2020.org/>

15 e 17 de março de 2020

4ª Conferência Europeia de Modelagem Física em Geotecnia

Luleå University of Technology

971 87 Luleå, Suécia

<http://www.ltu.se/ecpmg>

17 a 19 de março de 2020

Intermodal South America – 2020

São Paulo Expo – São Paulo / SP

<https://www.intermodal.com.br/pt/>

26 a 29 de Abril de 2020

Geoamerica 2020 - 4º Congresso Panamericano de Geossintéticos

Rio de Janeiro - RJ

geoamericas2020@geoamericas2020.com

3 a 6 de maio de 2020

17º Congresso Nacional de Geotecnia & 10º Congresso Luso-Brasileiro de Geotecnia

Lisboa, Portugal

<http://17cng2020.lnec.pt/>

10 a 14 de maio de 2021

International Foundations Conference and Equipment Expo

Dallas - TX - Estados Unidos

<http://ifceexpo.com/>

13 a 15 de maio de 2020

XII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

Pestana Rio Atlântica Hotel. Av. Atlântica, 2964 – Copacabana – Rio de Janeiro – Brasil

<http://www.cbpe2020.com.br/site/>

15 e 18 de junho de 2020

Deep Mixing 2020

Gdansk, na Polónia

<http://www.dfi.org/dfieventlp.asp?13330>

15 a 19 de junho de 2020

XIII ISL – International Symposium on Landslides

Cartagena, Colômbia

<http://www.scg.org.co/xiii-isl/index.html>

25 a 28/ de julho de 2021

3rd Pan-American Conference on Unsaturated Soils

PUC-Rio - Gávea - Rio de Janeiro, RJ

<https://panamunsat2021.com/>

15 a 18 de setembro de 2020

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica

Campinas – SP

<https://cobramseg2020.com.br/>

21 a 25 de setembro de 2020

Fourth International Dam World Conference

Lisboa - Portugal

<https://dw2020.lnec.pt/>

29 e 30 de outubro de 2020

3rd International Symposium on Coupled Phenomena in Environmental Geotechnics

Kyoto University's - Kyoto

<https://cpeg2020.org/details/>

12 a 17 de setembro de 2021

20th International Conference on Soils Mechanics and Geotechnical Engineering

Sydney - Austrália

<http://www.icsmge2021.com/>

DIMENSIONANDO SOLO MOLE PARA OPERAÇÃO E ESTOCAGEM DE PILHAS DE MINÉRIO DE FERRO.











Figura 1 - Pilhas de minério tensionam exageradamente o solo de fundação.

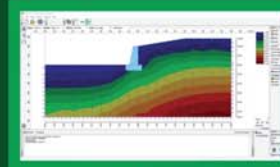
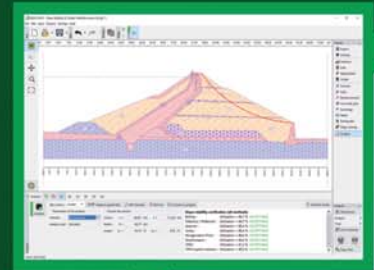
A construção e operação de pilhas de minério de ferro são consequências naturais das empresas de mineração e constituem uma das estruturas geotécnicas mais complexas feitas pelo homem, sendo de fundamental importância seu planejamento. Portanto, qualquer terreno que deva ser aproveitado para depósito de pilhas de minério de ferro deve ser investigado e, naturalmente, adequado a este fim. O princípio geral da escolha dos locais de implantação das pilhas é governado pela distância do transporte necessária, o que direciona sua localização em áreas próximas às frentes da lavra, no contexto do próprio



Figura 2 - Rutura de pilha de minério no porto de Vitória, ES. (Evandro Moraes Gama).

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 

www.solucoescad.com.br



domínio do empreendimento. A investigação geotécnica possibilita a elaboração de diferentes seções, na área de implantação das pilhas de minério de ferro granulado, grosso ou fino que, analisados em conjunto com perfis individuais de sondagem, permitem estabelecer o perfil geotécnico do terreno e sua interpretação. Áreas afastadas ou localizadas em cotas mais elevadas que as da lavra, a inserção das pilhas no domínio de bacias de drenagem e a presença de solos com baixa capacidade suporte, são condicionantes específicas, que restringem a escolha do local de disposição. O arranjo geométrico das pilhas, sua análise de estabilidade e o projeto de instrumentação e monitoramento são as etapas subsequentes. A análise de estabilidade, sem dúvidas, é etapa crítica, de modo a evitar ruturas no terreno, nos taludes naturais ou construídos, além das frequentes trincas, fraturas de tração, deslizamentos do material com formação de bermas ou bancos. É muito comum em áreas de pátios de estocagem de minério de ferro, haverem depósitos de solo argiloso mole, extremamente compressíveis. Para efeito deste estudo, idealizamos um perfil geotécnico típico em uma zona costeira brasileira. Com este intuito, visualiza-se a presença de aterro, até 2m de profundidade, sobre-

jacente à argila marinha orgânica muito mole a mole, até 5 m de profundidade. Entre 5 e 13 m (em média), o depósito apresenta lentes arenosas e aumenta sua resistência com a profundidade, com a argila variando de mole a rija. Abaixo dos 13 m, encontra-se solo residual siltoso

micáceo, com SPT variando entre 16 e 25. Mais abaixo, o topo rochoso apresenta profundidade bastante irregular.

Apresenta-se, a seguir, o perfil geotécnico 1D.

A grande questão é que as pilhas de minério de ferro não são necessariamente iso-

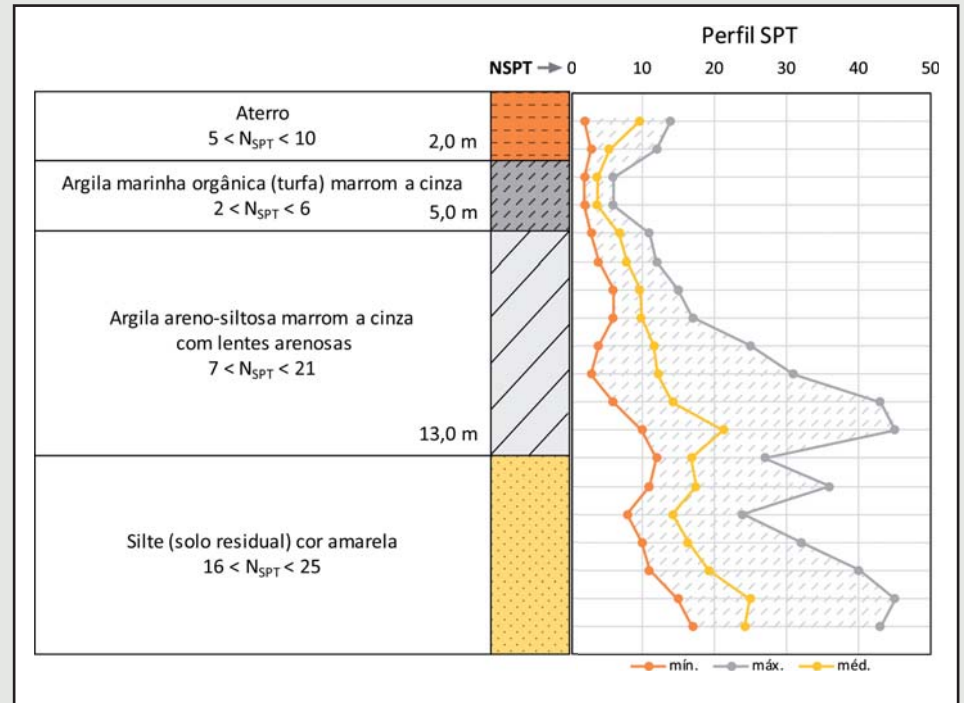


Figura 3 - Perfil geotécnico pelas sondagens SPT.

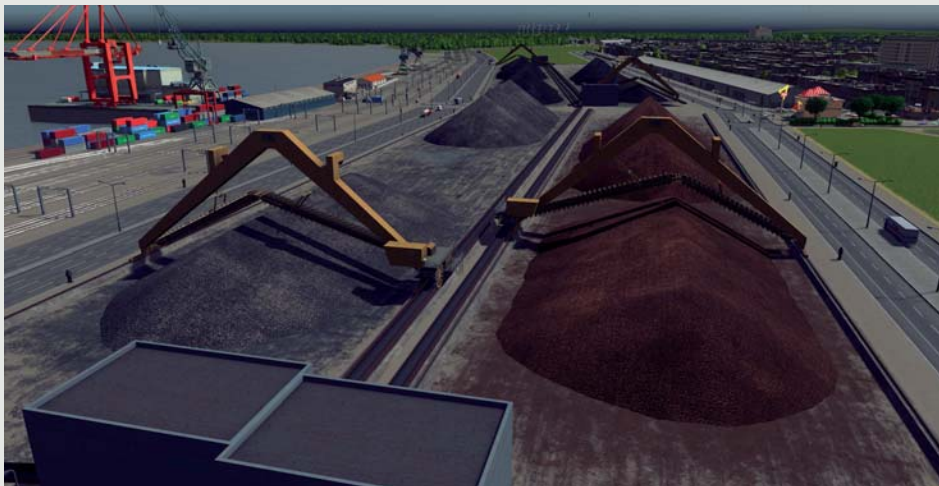


Figura 4 - Pilhas de minério. A presença de solos moles em áreas portuárias é frequente, o que ocasiona perdas substanciais de minérios, além de ruturas no terreno e prejuízos.

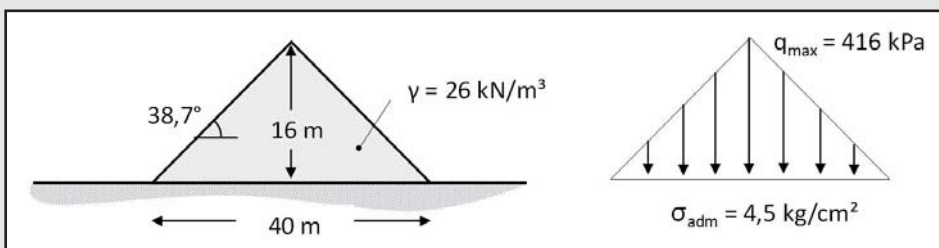


Figura 5 - Idealização de pilha de minério por meio de carregamento triangular.

ladas, podendo ficar justapostas, formando carregamento com grande extensão.

Assim, torna-se interessante idealizar o dimensionamento com carregamento triangular, tendo extensão infinita (problema plano de deformação).

Imaginamos as pilhas de minério de ferro com as seguintes características:

- Altura máxima da pilha 16m.
- Ângulo de repouso 38°.
- Peso específico do minério de ferro 2.600kg/m³.

Conseqüentemente, no centro da pilha, é previsto carregamento da ordem de 416 kPa, ou seja, 4,2 kg/cm².

As pilhas não são necessariamente isoladas, podendo ficar justapostas formando carregamento com notável extensão. Por isso, idealizar-se-á o problema mediante carregamento triangular com extensão infinita (problema plano de deformações). Evidentemente torna-se necessário readequar o solo de fundação às necessidades de projeto. Idealizamos com Geoenrijecimento e com georeforço utilizando-se colunas de brita

LANÇAMENTO DO LIVRO

MELHORAMENTO DO SOLO MOLE E O GEOENRIJECIMENTO



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

Memória de cálculo do melhoramento do solo com Geoenrijecimento

Com base no perfil geotécnico apresentado, pode-se idealizar as seguintes asserções:

- Depósito fortemente heterogêneo, com presença de camadas argilosas e arenosas intercaladas formando, muito provavelmente, contrastes de resistência, rigidez e permeabilidade;
- Alta compressibilidade no bolsão de turfa subjacente ao aterro.
- Aterro submerso devido ao nível d'água elevado.
- Baixo coeficiente de adensamento, porém na faixa típica de argilas costeiras no Sul do Brasil: $c_v = 4,0 - 7,0 \text{ m}^2/\text{ano}$.
- Perfil da resistência não drenada, crescente com a profundidade, de acordo com o gráfico abaixo, aplicando-se método de interpretação baseado em conceitos de energia (Odebrecht et al., 2006):

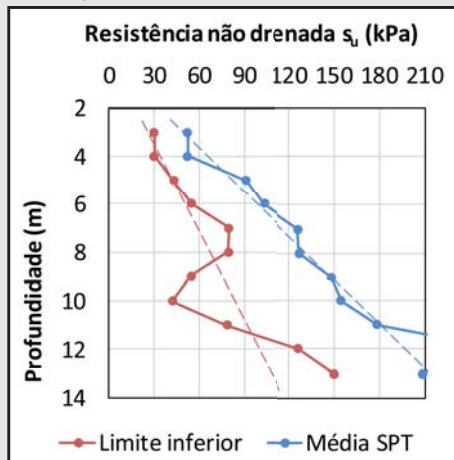


Figura 6 - Perfil da resistência não drenada, S_u , estimado a partir do SPT.



Figura 9 - O melhoramento do solo de fundação, homogeneizando-o com parâmetros que atendam aos critérios de estabilidade e deformação, é a melhor estratégia para evitar riscos e prejuízos nas áreas de trabalho.

- Capacidade suporte necessária superior a $4,2 \text{ kg}/\text{cm}^2$.
- Aplicação imediata da carga máxima (condição de lançamento rápido da pilha).
- Recalques mínimos admitidos

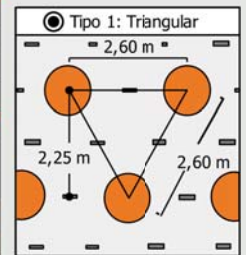
Com estas considerações, idealizou-se novos parâmetros para o solo mole virgem, considerando-se o necessário Geoenrijecimento do solo:

1. Solo mole		
1.1 Perfil geotécnico	3	Tipo P-S
1.2 Espessura da camada de solo mole	H =	11,0 m
1.3 Resistência não drenada	$s_u =$	50,0 kPa
1.4 Coeficiente de adensamento	$c_v =$	5,5 m^2/ano
1.5 Rigidez (módulo elástico)	E =	3.000 kPa
1.6 Condições de drenagem		dupla

Figura 7 - Dados de entrada.

2. Geoenrijecimento		
2.1 Tipo de malha	1	Triangular
2.2 Espaçamento de geodrenos	$S_{geo} =$	1,30 m
2.3 Volume de geogROUT por metro de profundidade	$V_g =$	1.000 l/m
2.4 Resistência à compressão do geogROUT	$f_c =$	2,0 MPa
2.5 Coeficiente de redução volumétrica por adensamento	$\tilde{h}_t =$	0,5
2.6 Profundidade de geoenrijecimento	z =	15,0 m
2.7 Espaçamento entre verticais	$S_v =$	2,60 m
2.8 Razão de substituição	$R_s =$	17,1%

Figura 8 - Dados do Geoenrijecimento do solo.



O Geoenrijecimento é idealizado com análise numérica, utilizando-se método de cálculo disponível na internet*. desenvolvido pela empresa que executa-o. Desta forma, com base nas considerações anteriormente feitas, o projeto, de acordo com o cálculo, estabeleceu as seguintes diretrizes básicas:

- Cravação de geodrenos, em malha triangular com espaçamento de 1,30 m, até 15 m de profundidade.

*http://www.engegraut.com.br/geoenrijecimento/MC_v1.0.rar



Figura 10 - Pilhas de minério causam deformações no solo de fundação. É necessário idealizar parâmetros adequados para o solo melhorado. Desta forma, evita-se riscos e prejuízos.

- Formação escalonada de verticais, com expansão de bulbos de compressão do solo, via expansão de cavidades, utilizando-se geogROUT específico para o serviço, tendo malha triangular de 2,60 m de lado.
- Cada bulbo, de acordo com o cálculo, terá um volume de 1.000l, de modo a atender o critério de deformação ou de 15 kg/cm² para atender o critério de tensão.

Assim, para o meio homogêneo equivalente, foram obtidos os seguintes parâmetros equivalentes:

Dados Calculados: solo geoenrijecido

3. Parâmetros pós-Geoenrijecimento: Meio Homogêneo Equivalente	
3.1 Resistência não drenada	$S_{u,eq} = 186 \text{ kPa}$
3.2 Rigidez (módulo elástico)	$E_{eq} = 19.324 \text{ kPa}$
3.3 Coeficiente de adensamento equivalente	$c_{v,eq} = 273,2 \text{ m}^2/\text{ano}$
3.4 Tensão admissível	
	$\sigma_{adm} = 5,13 \text{ kg/cm}^2$
3.5 Fator de redução de recalques	
	$\beta = 6,4$

A tensão admissível de trabalho estabelecida foi de 5 kg/cm², superior à carga gerada pela pilha de projeto (4,2 kg/cm²).

Memória de cálculo do melhoramento do solo com colunas de brita

O “melhoramento do solo” com a técnica de georeforço, utilizando colunas de brita, baseia-se no princípio da transferência de carga que, na realidade, não é melhoramento e sim formação de colunas para sustentação das cargas. O

tratamento, passivo em relação ao solo, forma colunas que oferecem alguma resistência, mas, no entanto, permanece o solo mole/muito mole ao redor, o que irá impor enormes recalques e, pior, instabilidade. O uso superficial de geogrelhas, introduzindo-se a necessária plataforma de transferência de cargas, atenua parcialmente este problema. O solo mole, portanto, permanece em estado “ativo”, mantendo a condição de ausência de resistência, o que impõe alta compressibilidade (recalques) e instabilidade (ruptura). Esta é a razão para não levarmos à frente este dimensionamento.



Adensamento 1D

U_v (%)	T_v	t (dias)
0	0,000	0
30	0,071	3
60	0,287	12
80	0,565	23
90	0,848	34
95	1,128	46



Figura 11 - O sistema de monitoramento das pilhas de minério é etapa fundamental no controle de riscos e prejuízos.

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.
- BERILGEN M., Investigation of Stability of Slopes under Drawdown condition, Computers and Geotechnics, Vol. 34, 81-91, 2007.
- DIXON, S.J., Burke, J.W. (1973). Liquefaction case history. ASCE J Soil Mech Found Eng SM10:823-840.
- DUNCAN JM, WRIGHT SG, WONG KS. Slope stability during rapid drawdown. In: Proceedings of the H. Bolton seed memorial symposium, Vol. 2; May 1990. p. 253– 72
- HEMPHILL, R W. and 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.
- EDIL TB (2003). Recent advances in geotechnical characterization and construction over peats and organic soils. Proceedings of the 2nd International

A INFLUÊNCIA E A IMPORTÂNCIA DO COMPORTAMENTO DA POROPRESSÃO NO CONTEXTO DO SOLO ARGILOSO MOLE.



Figura 2 - O rápido rebaixamento do Rio Negro, 15m em 6 meses, faz romper taludes na zona portuária de Manaus e em toda a Amazônia (terras caídas). O processo de poropressão é o causador de tantos estragos.

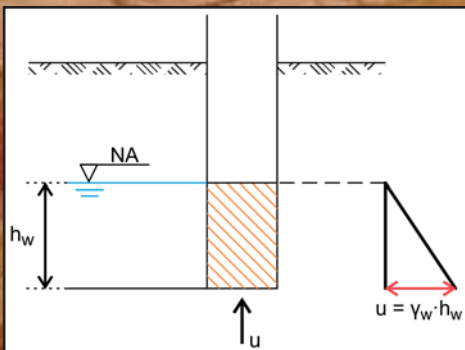


Figura 1 - A poropressão no solo. Ao nível do NA é zero. Abaixo é positiva e acima é negativa.

Solo é material muito poroso, seja ele argiloso ou arenoso, constituído de partículas que, juntas, constituem seu esqueleto. E no esqueleto de solos moles há sempre água, muita água, conectada através da estrutura de seus poros, por uma rede muito complexa que forma um campo contínuo. A pressão existente nos poros, produzida pela água, é a poropressão (u), extremamente importante para se entender o comportamento dos solos moles, antes, durante e após qualquer construção. A situação da poropressão é bem representada na figura 1, através de sua altura h_w , consi-

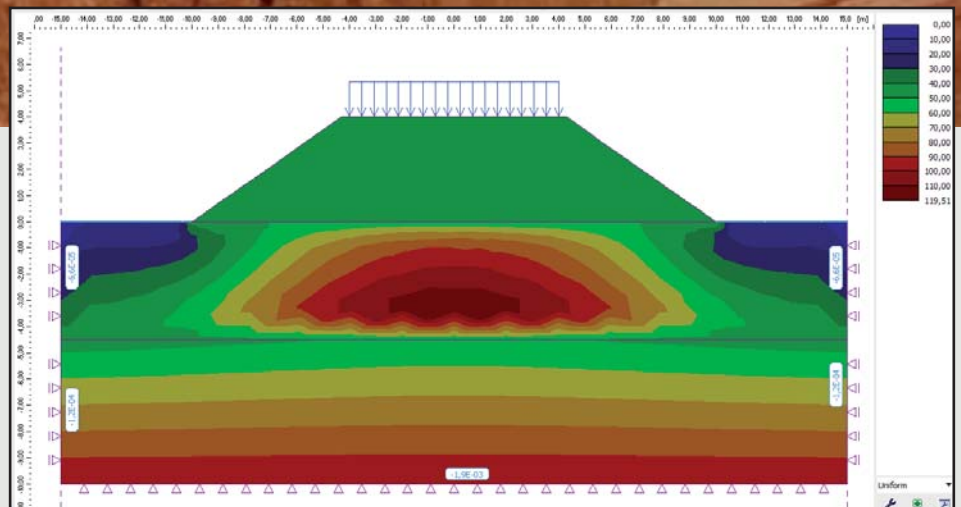
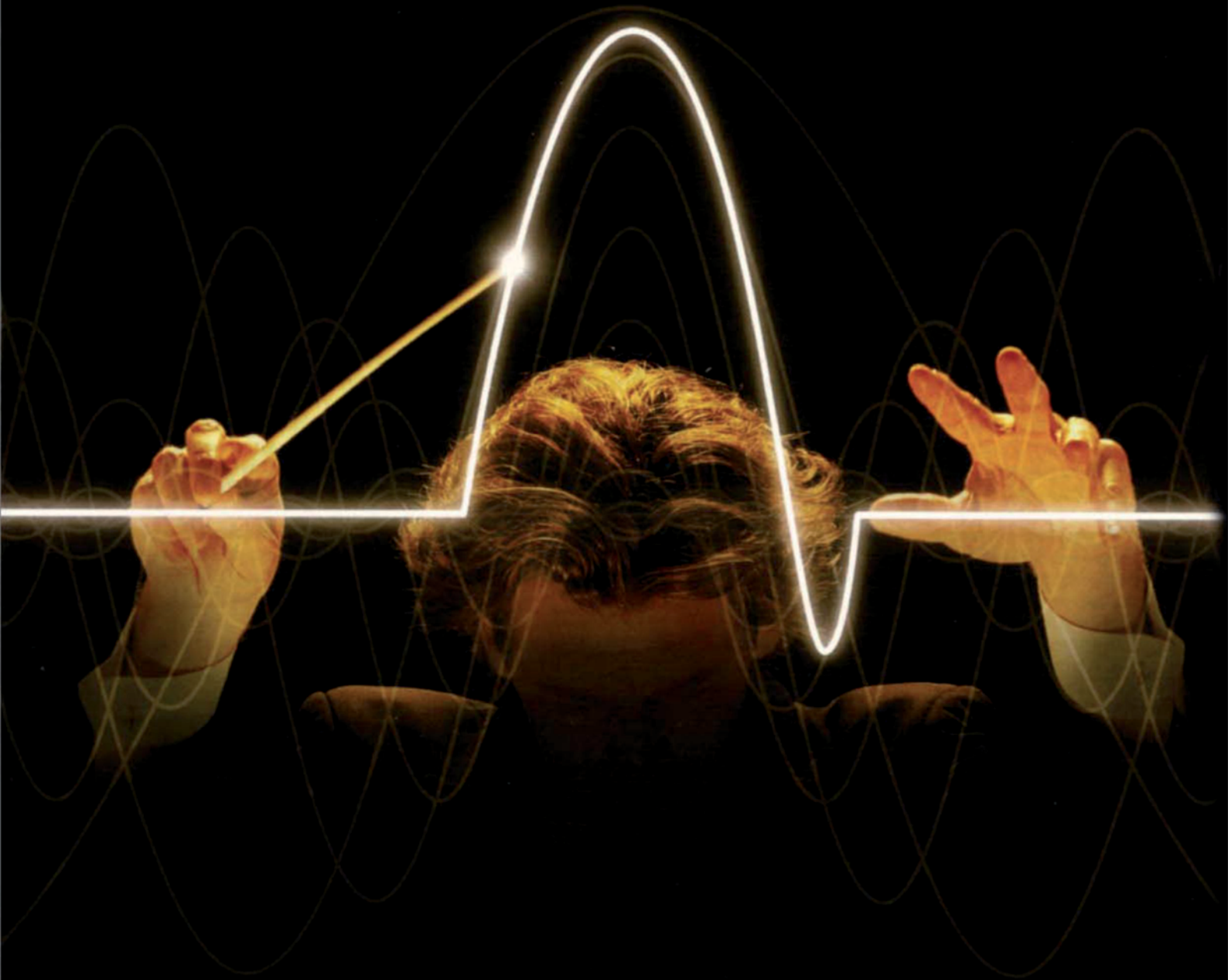


Figura 3 - Elementos finitos para análise numérica do processo de consolidação de um futuro aterro estradal, objetivando-se realizar a verificação do recalque, tempo-dependente, no solo de fundação. Com as cargas externas e condições mecânicas/hidráulicas de contorno, obter-se-á a evolução dos deslocamentos, tensões, deformações, zonas plásticas, a distribuição da poropressão, o nível d'água do solo e a percolação d'água através do modelo montado. O segredo, para uma análise perfeita do processo de consolidação, é montar um modelo constitutivo bem adequado, objetivando-se o comportamento tensão-deformação do solo.

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



derando-se a densidade da água γ_w . A poropressão, presente no solo, empurra a água, para dentro e para cima no tubo, até que o nível d'água dentro seja equivalente ao do solo. Nesta situação, tudo está em equilíbrio e ter-se-á o valor da poropressão, u:

$$u = \gamma_w h_w$$

Imediatamente acima do NA, o solo permanece saturado devido à capilaridade. Neste caso a poropressão é negativa e tem o seguinte valor:

$$u = -\gamma_w h_w$$

Se a água do solo estiver estacionada ou em repouso, o NA será horizontal, como a superfície de um lago. Entretanto, muito frequentemente, o NA não está em repouso e não se apresenta horizontal, significando que a água percola pelo solo, através de seus poros, veja a figura ao lado.

Logo, qualquer pressão que se produza em um terreno com solos moles, através de qualquer tipo de carregamento, seja um aterro ou com elementos de fundação, produzir-se-á imediatamente pressão na rede de poros, saturados d'água, permitindo que a água ali presente flua, através de sua imensurável rede de poros, o que desencadeia excessos de poropressão, desequilibrando todo o sistema. A pressão desenvolvida, é determinada pela localização do ponto considerado em relação à superfície da água. É interessante lembrar os experimentos da física do segundo grau, onde a pressão da água, no fundo de qualquer reservatório cheio, depende apenas do peso da coluna d'água e do seu peso volumétrico, não tendo nenhuma relação com a forma dos reservatórios.

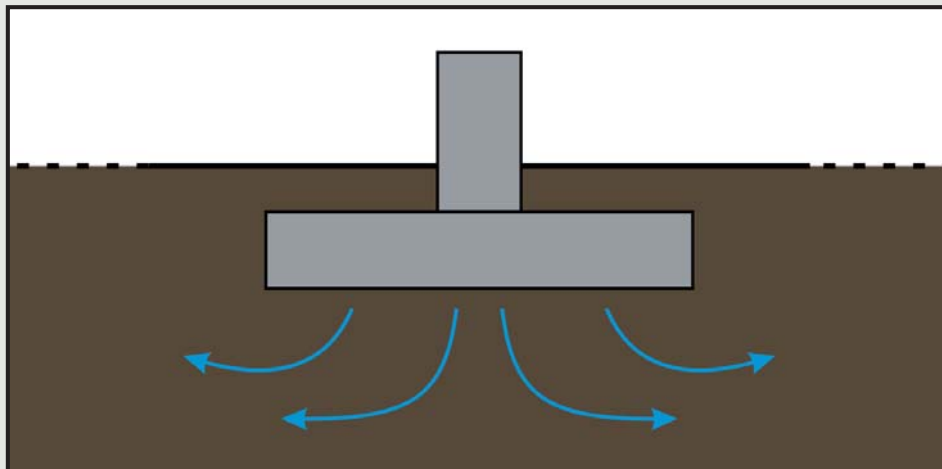


Figura 4 - Fluxos d'água circulando pelo solo.

Em solos secos não há água, consequentemente, não há poropressão e as tensões efetivas são iguais às tensões produzidas no terreno. Por outro lado, solos argilosos moles estão sempre saturados e com

muita água em seus poros, desenvolvendo pressões. Qualquer carregamento que se coloque num solo mole, provocará o desenvolvimento adicional de mais poropressões. Neste contexto, sabe-se que

Princípio das Tensões Efetivas

O princípio das tensões efetivas, de Terzaghi, válido apenas para solos saturados diz que:

- Em qualquer região da massa de solo, as tensões efetivas σ' relacionaram-se com as tensões totais σ e a poropressão u através da equação

$$\sigma' = \sigma - u$$

Podendo ser medida em qualquer ponto no interior da massa do solo mole.

- Qualquer carga produzida por aterros ou elementos de fundação produzem tensões, de compressão e de cisalhamento no

solo, que se relacionam diretamente com as tensões efetivas, que não se podem medir, apenas computá-las.

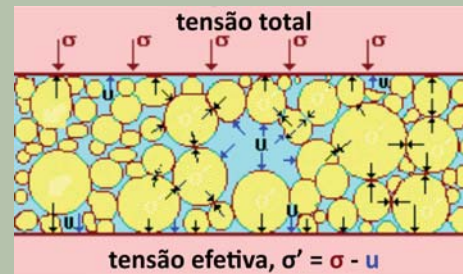


Figura 5 - Rutura da margem portuária de Manaus, devido a permanência do excesso de poropressão nos aterros, seguido do rápido esvaziamento do Rio Negro. Todo o solo de fundação, da margem portuária, após este acidente em 2010, foi Geoenrijecida, promovendo a estabilidade necessária (resistência), impedindo a formação de novos picos de poropressão, ao mesmo tempo em que aumentou-se a rigidez do solo de fundação pela homogeneização de toda a massa de solo.

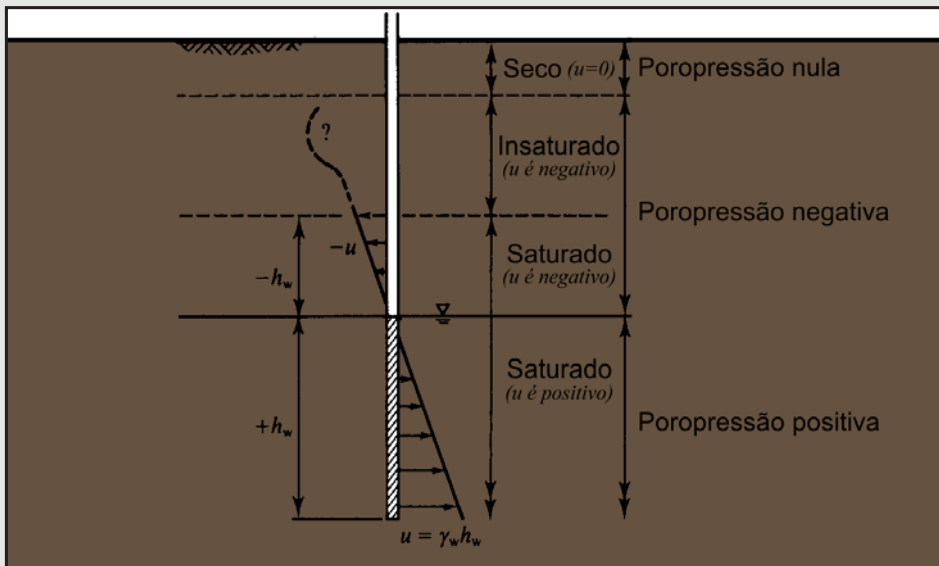


Figura 6 - Esquema da poropressão e sucção no solo.

a água subsuperficial é dividida em duas zonas: com poropressão positiva e negativa. A linha divisória é o NA (conhecido como superfície freática) onde a pressão é igual a atmosférica. Abaixo do NA, o solo é completamente saturado e a poropressão está acima da pressão atmosférica, sempre positiva. Acima do NA, onde o solo não é saturado, a poropressão está abaixo da pressão atmosférica e, por tanto, negativa. Neste ambiente, a água dos poros é contínua ou semi-contínua. O valor da

poropressão negativa (algumas vezes chamada de sucção) é controlada pela tensão superficial no limite do contato ar-água, dentro dos poros do solo, governada pelos tamanhos dos grãos. Em geral, quanto mais finas as partículas do solo, maior a altura capilar saturada. Chuvas podem, rapidamente, reduzir a intensidade da poropressão negativa. Qualquer mudança na poropressão do solo, altera sua resistência cisalhante máxima, modificando completamente a condição de estabilidade do solo

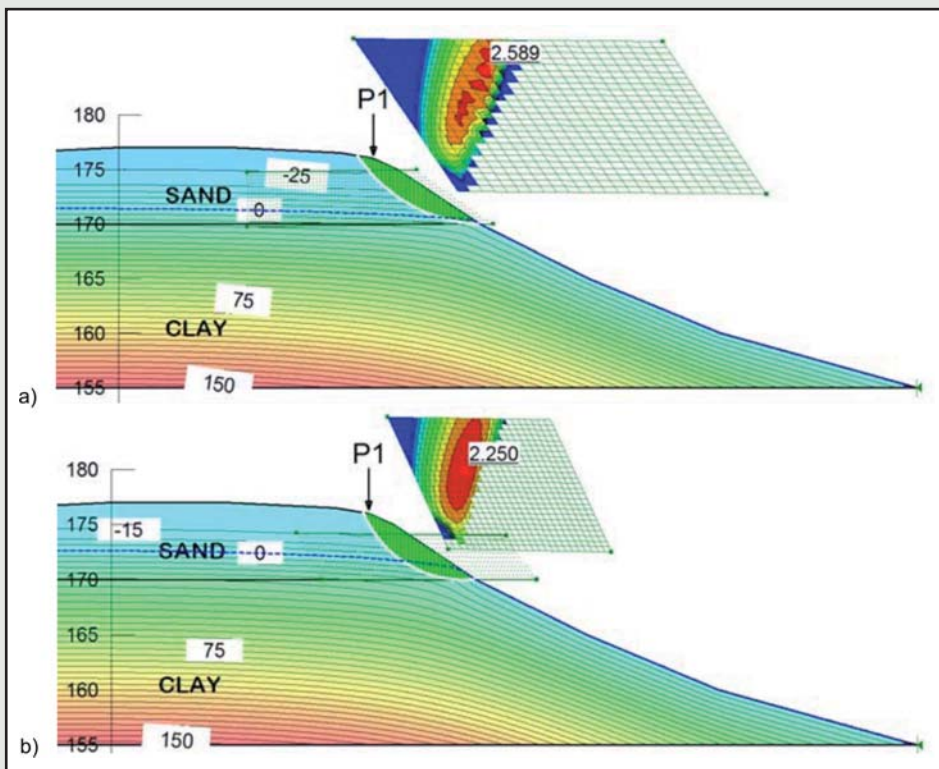


Figura 7 - a) As poropressões e a estabilidade do talude no modelo com areia acima de uma formação argilosa. Considerando-se uma precipitação anual normal (800mm), b) Considerando-se uma precipitação, pertinente à estação chuvosa (240 mm em apenas 30 dias).

de fundação ou de taludes. O nível d'água medido com piezômetro, dentro da zona saturada, coincide com o NA. No entanto, caso existam fluxos, a poropressão não é mais hidrostática, e qualquer ponto dentro da massa do solo é computada pelas redes de fluxos, a partir da diferença de altura com superfície livre da água. Poropressões positivas diminuem a tensão efetiva, reduzindo a resistência da massa do solo, rebaixando sua estabilidade. O aumento da poropressão positiva pode ser rápida, após um período de chuvas forte, razão pela qual, frequentemente, taludes caem durante chuvas. A poropressão negativa, por outro lado, aumenta a tensão efetiva dentro da massa do solo, aumentando sua estabilidade. Neste cenário, ao se construir aterros ou elementos de fundação sobre depósitos de solos argilosos moles, é possível prever as seguintes situações: com o peso, a camada de solo mole comprime, desenvolvendo tensões de compressão em seu interior, desencadeando recalques no aterro ou nos elementos de fundação. Como já se explicou, a água presente nos poros da argila é imediatamente espremida para fora dos poros, provocando excessos de poropressão, o que desencadeia fluxos d'água que circulam pelo solo. Este processo, pertinente à teoria da consolidação dos solos argilosos, é denominado de compressão, recalque ou consolidação primária. Esta dinâmica de fluxos d'água, num segundo momento se equilibra, procurando dissipar os excessos de poropressão criados. Em tese, quando for interrompida esta dinâmica de fluxos, encerra-se a consolidação primária. Na realidade, jamais se consegue 100% da consolidação primária. Na prática da geotecnia dos solos moles, entretanto, 90% da consolidação primária é considerada como o fim do processo. Pertinente a esta questão, exige-se que este resíduo de consolidação ou recalque, ainda presente, ocorra de forma uniforme e com recalque absoluto, nunca com recalques diferenciais. Este é o grande objetivo do melhoramento de solos moles, só conseguido com o Geoenrijecimento. É interessante entender como ocorre a distribuição dos excessos de poropressão, uma vez construído um aterro sobre o solo mole. A figura, a seguir, mostra piezômetros instalados, em diferentes profundidades, próximos ao aterro lançado sobre solo mole. Como se sabe, piezômetros medem a pressão da água

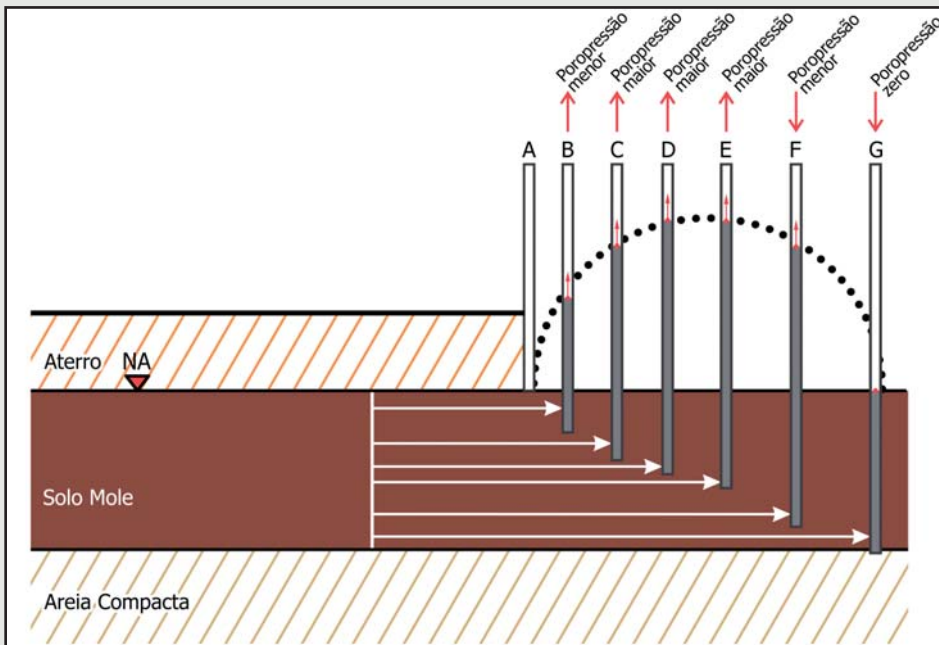


Figura 9 - Distribuição da poropressão próximo à base de um aterro recém lançado. Compare a pressão, em cada piezômetro (altura do nível d'água) e o semi-círculo formado para explicar seu desenvolvimento.

do solo, em diferentes profundidades. É interessante analisar cada resposta de cada piezômetro, devido ao peso do aterro sobre o solo mole.

- **Piezômetro A, instalado junto à base do aterro.**

Pouquíssima pressão gerada, pelo excesso de poropressão no solo mole, pro-

vocada pela carga do aterro, dissipada imediatamente, já que aterros tem característica permeável. Desenvolvimento de rápido recalque.

- **Piezômetro B, pouco mais abaixo do A**

A pressão no solo, gerada pelo excesso de poropressão, devido a carga do aterro, não dissipará rapidamente, já que os fluxos d'água precisam chegar à base do aterro, devido a pouquíssima permeabilidade do solo mole. Durante este tempo, conseqüentemente, haverá a formação de recalques.

- **Piezômetro C, D e E, gradativamente mais abaixo do B**

Logicamente, cada um deles demandará mais pressão e, conseqüentemente, como estão inseridos no interior da argila mole, levarão mais tempo para dissipar. Durante este tempo, conseqüentemente, haverá formação de recalques.

- **Piezômetro F, quase no fundo do depósito de solo mole.**

A poropressão, registrada pelo piezômetro F, é menor do que a do piezômetro E (notar pela altura do nível d'água). Justificável, pela proximidade da camada de areia, que dissipa mais facilmente o excesso de poropressão causado naquela profundidade do solo mole. Desenvolvimento de recalques, que rapidamente acabam.

- **Piezômetro G, instalado na interface do solo mole com a camada de areia compacta**

O excesso de poropressão, gerado pela carga do aterro é dissipado imediatamente em contato com a areia. Desenvolvimento de rápido recalque.



Figura 10 - Georrijecimento do solo, às margens do Rio Negro, na área portuária de Manaus. Este Rio tem seu processo de cheia e vazante, num total de 15m de altura em apenas 6 meses, o que desestabiliza os taludes da área portuária de Manaus e de toda a Amazônia, causando o fenômeno das terras caídas.

REFERÊNCIAS

- 1 Thomas Kim é engenheiro civil e trabalha com melhroamento de solos moles..
- 2 Hans Teunissen, Modelling strains of soft soils, 2017.
- 3 K.J. Bathe, Finite element procedures, Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 1996.
- 4 A. van. Duinen, "SBW Werkelijke sterkte van dijken, WS01 Analyse veld- en laboratoriumonderzoek", Deltares-Report 1001463-022-GEO-0001 (in Dutch), 2010.
- 5 R. Hill, The mathematical theory of plasticity, Oxford: Oxford University press, 1950.
- 6 J. Huetink, On the simulation of thermo-mechanical forming processes, PhD thesis TU Twente, 1986.
- 7 H. van Langen, Numerical analysis of soil-structure interaction, PhD thesis TU Delft, 1991.