

Soft Soil Brazilian Review

IBSM

EDIÇÃO AMÉRICA LATINA
SETEMBRO - OUTUBRO 2026

03

Melhoramento de Solos Moles para Infraestruturas Marítimas e Aeroportuárias. O novo estado da arte internacional.

14

Por que a Baía de Guanabara continua sendo um dos maiores laboratórios geotécnicos do mundo.

36

Como escolher a técnica de tratamento do solo em áreas aeroportuárias sobre argilas moles

26 - Consulta

Gostaria de conhecer mais sobre infraestruturas aeroportuárias costeiras e estratégias para melhoramento geotécnico de aterros sobre enrocamentos.

A nova geotecnia do solo mole.

Da resistência ao desempenho.
Não basta resistir,
é preciso eliminar
deformações.

3 MELHORAMENTO DE SOLOS MOLES PARA INFRAESTRUTURAS MARÍTIMAS E AEROPORTUÁRIAS. O NOVO ESTADO DA ARTE INTERNACIONAL.

14 POR QUE A BAÍA DE GUANABARA CONTINUA SENDO UM DOS MAIORES LABORATÓRIOS GEOTÉCNICOS DO MUNDO.

26- CONSULTA

GOSTARIA DE CONHECER MAIS SOBRE INFRAESTRUTURAS AEROPORTUÁRIAS COSTEIRAS E ESTRATÉGIAS PARA MELHORAMENTO GEOTÉCNICO DE ATERROS SOBRE ENROCAMENTOS.

36 COMO ESCOLHER A TÉCNICA DE TRATAMENTO DO SOLO EM ÁREAS AEROPORTUÁRIAS SOBRE ARGILAS MOLES

Editorial

Ao longo da história da engenharia geotécnica, grande parte das soluções foi desenvolvida com o objetivo muito claro de aumentar a capacidade suporte do terreno. Durante décadas, esta abordagem respondeu adequadamente às necessidades de uma infraestrutura em expansão, permitindo a implantação de rodovias, portos, aeroportos, ferrovias e grandes empreendimentos industriais. Entretanto, a infraestrutura construída ao longo do último século começa agora a enfrentar um novo ciclo de desafios. A ampliação de corredores logísticos, a adaptação às mudanças climáticas, o crescimento das cargas operacionais e a necessidade de manter estruturas em funcionamento durante as obras exige solução muito mais sofisticada do que aquelas tradicionalmente empregadas. Neste novo cenário, uma pergunta torna-se inevitável: o problema está realmente na resistência do solo ou na forma como ele se deforma? Esta questão norteia toda esta edição da Soft Soil Brazilian Review. Na matéria de abertura, apresentamos o estado da arte internacional das técnicas de tratamento de solos moles, aplicadas às infraestruturas marítimas e aeroportuárias, mostrando como diferentes países vêm evoluindo de soluções convencionais para o método capaz de modificar o comportamento do terreno de forma mais eficiente. Na sequência, discutimos a crescente importância dos módulos de deformabilidade obtidos por métodos geofísicos, especialmente em programas de monitoramento e controle executivo, destacando que a avaliação da rigidez do maciço passa a desempenhar

papel tão importante quanto a determinação da resistência ao cisalhamento. A terceira matéria aprofunda justamente essa mudança de paradigma, demonstrando que o desempenho de um solo não pode mais ser interpretado apenas pela sua capacidade resistente mas, principalmente, por sua resposta às deformações induzidas pelas cargas de serviço. Complementando esta edição apresentamos, na consulta, a resposta a uma questão de um leitor, sobre o desafio mais complexo da geotecnia contemporânea que é o melhoramento de aterros costeiros, destinados a infraestruturas aeroportuárias. Mais do que descrever uma solução executiva, procuramos discutir uma filosofia de projeto, baseada na atuação integrada sobre resistência, rigidez e comportamento hidráulico do maciço, conceitos que tendem a ganhar importância crescente nas próximas décadas. Talvez este seja o momento em que a engenharia geotécnica deixa de perguntar quanto o solo resiste para passar a perguntar como o solo se comporta. Esta mudança de perspectiva representa muito mais do que uma evolução tecnológica, redefinindo a maneira de projetar, monitorar e intervir em maciços naturais e aterros existentes, aproximando cada vez mais a geotecnia de uma engenharia baseada no comportamento do terreno em serviço. É esta reflexão que esperamos compartilhar com nossos leitores nesta edição.

Boa leitura.
Joaquim Rodrigues
Editor
Soft Soil Brazilian Review

03



14



36



MELHORAMENTO DE SOLOS MOLES PARA INFRAESTRUTURAS MARÍTIMAS E AEROPORTUÁRIAS. O NOVO ESTADO DA ARTE INTERNACIONAL.



ANÁLISE

Eng. Joaquim Rodrigues

Fig. 1 - Empreendimentos aeroportuários implantados sobre aterros hidráulicos e depósitos sedimentares demandam técnicas avançadas de melhoramento do terreno para controlar recalques, aumentar a rigidez do maciço e assegurar a estabilidade durante a construção e ao longo da vida útil da infraestrutura.

Durante muitos anos, a engenharia geotécnica considerou o tratamento do solo mole como um conjunto de técnicas destinadas principalmente a acelerar a consolidação de aterros ou aumentar a capacidade suporte da fundação. Entretanto, publicações internacionais mais recentes demonstram que este conceito evoluiu significativamente. Hoje, a questão não consiste apenas em melhorar o terreno, mas em desenvolver soluções integradas capazes de

reduzir riscos geotécnicos, minimizar impactos ambientais, diminuir a emissão de carbono e aumentar a confiabilidade da previsão do desempenho ao longo da vida útil da obra. Esta mudança de paradigma é consequência direta da expansão da infraestrutura costeira em todo o mundo. Novos portos, ampliações de áreas retroportuárias, terminais de contêineres, aeroportos construídos sobre aterros marítimos, parques industriais e plataformas logísticas vêm sendo implantados, em sua

maioria, sobre depósitos espessos de argilas marinhas muito moles. Nesta condição, o problema clássico da baixa resistência ao cisalhamento, elevada compressibilidade e longos períodos de consolidação continuam representando problemas significativos para projetistas e construtores. A análise da literatura, publicada particularmente entre 2025 e 2026 mostra, entretanto, que o foco da pesquisa deixou de ser a criação de novos métodos de tratamento. O interesse atual concen-

tra-se na combinação de técnicas já consolidadas, explorando vantagens específicas de cada uma. Sistemas que integram drenos verticais pré-fabricados, pré-carregamento convencional ou a vácuo, Deep Soil Mixing, colunas granulares, CPR Grouting e monitoramento instrumental vêm substituindo soluções isoladas, permitindo reduzir prazos de execução, controlar recalques diferenciais e aumentar a previsibilidade do comportamento do maciço tratado. Outro aspecto marcante da pesquisa recente é a crescente utilização do método observacional. Em vez de depender exclusivamente dos parâmetros obtidos nas campanhas de investigação geotécnica, projetos passam a incorporar sistemas permanentes de instrumentação, permitindo que a previsão numérica seja continuamente comparada com o comportamento observado em campo. Esta integração entre projeto, monitoramento e atualização dos modelos matemáticos representa uma das tendências mais importantes da engenharia geotécnica contemporânea. Sob o ponto de vista tecnológico observa-se, também, uma mudança importante



Fig. 2 - Obras costeiras modernas exigem soluções integradas entre geotecnia e engenharia marítima, combinando proteção contra a ação das ondas com o melhoramento do solo para assegurar estabilidade e vida útil da infraestrutura.

na forma de avaliar as diferentes soluções de tratamento. Até poucos anos atrás, o critério predominante era custo inicial e redução de recalques. Atualmente, fatores como pegada de carbono, consumo de cimento, reaproveitamento de materiais, impacto ambiental, velocidade construtiva e possibilidade

de monitoramento digital passaram a integrar estudos comparativos publicados pelos principais centros de pesquisa. A sustentabilidade deixou de ser um tema complementar e passou a fazer parte do próprio critério do projeto. No Brasil, esta tendência possui especial relevância. Grande parte da expansão portuária, instalações in-

O MÉTODO OBSERVACIONAL: PROJETAR, MEDIR E DECIDIR

Em obras geotécnicas, nem todas as incertezas podem ser eliminadas antes da construção. A heterogeneidade natural do solo, a variabilidade de suas propriedades e a dificuldade de reproduzir em laboratório condições reais de campo fazem com que determinadas respostas do terreno somente sejam conhecidas durante a própria execução da obra. É nesse contexto que se insere o Método Observacional, conceito consagrado por Ralph B. Peck, no qual projeto, instrumentação e execução passam a constituir um processo integrado de tomada de decisão. O princípio é simples: prevê-se o comportamento esperado, estabelecem-se previamente limites aceitáveis e respostas de contingência, mede-se o comportamento real e compara-se continuamente previsão e realidade. Assim, a instrumentação deixa de ser apenas um registro do que aconteceu e passa a funcionar como ferramenta ativa geotécnica. Em obras sobre solos moles, podem ser acompanhados por exemplo, recalques, deslocamentos horizontais, poropressões, resistência, rigidez e evolução das deformações. Piezômetros, inclinômetros, marcos de recalque, pressiómetros e métodos geofísicos podem fornecer diferentes partes dessa resposta. O aspecto fundamental é que o critério de decisão deve ser definido antes que problemas ocorram. Se determinado parâmetro ultrapassa o intervalo previsto, a sequência executiva pode ser modificada, cargas podem ser reduzidas ou interrompidas, etapas podem ser antecipadas e medidas corretivas previamente estudadas podem ser acionadas. No Método Observacional, medir não significa apenas verificar se o projeto funcionou. Significa utilizar a resposta real do solo para conduzir o projeto enquanto a obra acontece. Esta filosofia é particularmente importante em solos moles, onde pequenas alterações no estado de tensões, na drenagem, no confinamento ou na sequência construtiva produzem respostas significativamente diferentes das inicialmente previstas. O ciclo observacional é:

PREVER → INSTRUMENTAR → MEDIR → COMPARAR → DECIDIR → AJUSTAR

Mais do que monitoramento, portanto, o Método Observacional representa mudança de filosofia, onde o comportamento real do terreno passa a participar das decisões da engenharia geotécnica.

CPR[®]

GROUTING

Melhorar solos moles exige precisão.

A PRECISÃO TRANSFORMA
CONHECIMENTO EM DESEMPENHO.



INVESTIGAÇÃO
GEOTÉCNICA



PRESSIOMETRIA E
ENSAIOS TOMOGRÁFICOS



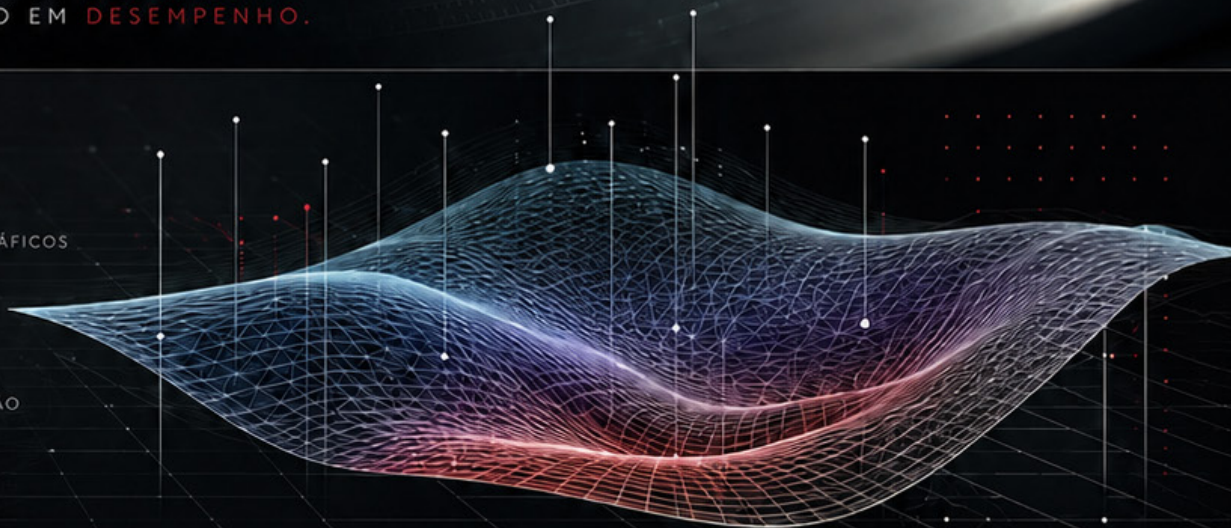
MODELAGEM
NUMÉRICA



MONITORAMENTO
E INSTRUMENTAÇÃO



EXECUÇÃO
CONTROLADA



O **CPR Grouting** integra investigação geotécnica, modelagem numérica, monitoramento e execução controlada para **transformar solos moles** em plataformas seguras para infraestrutura.



geotecnia@engegraut.com.br



[@engegraut_geotecnia](https://www.instagram.com/engegraut_geotecnia)



Engegraut Engenharia Geotécnica

dustriais costeiras e infraestruturas aeroportuárias localizam-se sobre depósitos quaternários de argilas marinhas extremamente compressíveis, como aqueles encontrados ao longo do litoral sudeste e, particularmente, na Baía de Guanabara. Nesta condição, a opção pela técnica de melhoramento efetivo do terreno influencia diretamente não apenas o recalque final mas, também, o cronograma executivo, o custo de implantação e a segurança da estrutura durante todas as fases da construção. Procuramos apresentar uma síntese das principais contribuições publicadas internacionalmente em 2025 e 2026, identificando a tendência que deverá orientar os próximos anos da geotecnica do tratamento do solo mole. Mais do que revisar técnicas conhecidas, busca-se compreender como a integração entre investigação geotécnica, modelagem numérica, monitoramento de campo e métodos construtivos está redefinindo o projeto de grandes infraestruturas marítimas e aeroportuárias.

As cinco tendências que estão redefinindo o melhoramento do solo mole.

A análise dos trabalhos publicados em 2025 e 2026 permite identificar uma característica comum, a engenharia do tratamento do solo mole entrou em fase de consolidação tecnológica. Ao contrário das décadas anteriores, quando novos métodos eram constantemente propostos, a pesquisa atual concentra-se no aperfeiçoamento de técnicas já consagradas, combinando-as de forma a atender à exigência cada vez maior de gran-



Fig. 3 - A proximidade da água altera o mecanismo que governa o processo de expansão/ retração do solo do talude costeiro, interferindo em sua resistência, recalque, estabilidade, deformabilidade e erosão.

des obras de infraestrutura. Portos, terminais marítimos, aeroportos costeiros, áreas industriais e plataformas logísticas passam a exigir soluções que conciliem segurança geotécnica, rapidez construtiva, sustentabilidade ambiental e elevado grau de previsibilidade. Como consequência, o tratamento do terreno deixou de ser uma etapa isolada do projeto para tornar-se parte integrante do planejamento global do empreendimento. Entre as diversas linhas de pesquisa observadas na literatura recente, algumas tendências merecem destaque.

Soluções híbridas substituem técnicas isoladas

Talvez a mudança mais significativa observada nas publicações recentes, seja a crescente utilização de sistemas híbridos de tratamento do solo. Em vez de adotar apenas uma técnica, projetistas passam a combinar diferentes métodos, explorando vantagens específicas de cada uma. São frequentes as associações entre drenos verticais pré-fabricados e pré-carregamento, CPR Grouting, colunas granulares associadas a reforços geossintéticos. Esta filosofia permite otimizar o comportamento global do maciço tratado. Enquanto uma técnica promove ganho de

Fig. 4 - Antes da infraestrutura, vem o solo. O sucesso de portos modernos depende, cada vez mais, da capacidade de transformar depósitos de argilas moles em fundações capazes de suportar cargas elevadas com segurança e previsibilidade.



Fig. 5 - Fraturamento do solo causado por deformações em solo mole. Casos como este reforçam a importância da técnica de melhoramento do terreno, capaz de aumentar a rigidez do maciço e eliminar recalques e deslocamentos durante a construção de aterros e infraestruturas lineares.



resistência, outra acelera a dissipação das poro-pressões e uma terceira controla o recalque diferencial. O resultado é um sistema de tratamento do solo mais eficiente e, principalmente, mais previsível. Outra vantagem importante é a possibilidade de adaptar o tratamento às variações geológicas existentes dentro de uma mesma obra. Em depósitos naturais de argilas marinhas, onde espessura, resistência e compressibilidade podem variar significativamente em pequenas distâncias, soluções híbridas oferecem maior flexibilidade de projeto do que métodos únicos aplicados separadamente.

O monitoramento passou a fazer parte do projeto

Outro aspecto recorrente na literatura internacional é a valorização crescente da instrumentação geotécnica. Se anteriormente placas de recalque, piezômetros e inclinômetros eram utilizados apenas para verificar o desempenho da obra, atualmente estes instrumentos passaram a integrar o próprio processo de tomada de decisão durante a execução. O conceito do Método Observacional ganha novo significado com o avanço dos sistemas automáticos de aquisição de dados. Leituras praticamente em tempo real permitem acompanhar a evolução do processo

de recalque, da dissipação das poro-pressões e de deslocamentos horizontais, fornecendo informações que podem justificar alterações no cronograma executivo ou mesmo revisões localizadas do projeto. Esta integração entre projeto, execução e monitoramento reduz incertezas e aumenta significativamente a confiabilidade da previsão do desempenho, especialmente em depósitos moles de elevada heterogeneidade.

Sustentabilidade tornou-se o critério principal.

A avaliação ambiental da técnica de tratamento do solo, é tema constante. Além da eficiência geotécnica, estudos passaram a comparar consumo de materiais, emissões de dióxido de carbono, utilização de cimento, reaproveitamento de resíduos industriais e consumo de energia durante a execução. Este enfoque vem modificando a própria forma de selecionar

ESG: POR QUE ESTE CONCEITO PASSOU A INFLUENCIAR PROJETOS GEOTÉCNICOS?

Até poucos anos atrás, a escolha de uma técnica de tratamento de solos era baseada quase exclusivamente em três critérios: custo, prazo de execução e redução do recalque. Atualmente, um novo conjunto de exigências passou a fazer parte dos grandes projetos de infraestrutura: os critérios ESG. A sigla significa Environmental, Social and Governance (Ambiental, Social e Governança) e representa uma forma de avaliar não apenas o desempenho técnico de uma solução mas, também, seu impacto ambiental, social e sua qualidade de gestão. Na engenharia geotécnica, isto significa considerar aspectos como consumo de cimento e de energia, emissões de carbono, movimentação de materiais, geração de resíduos, interferência nas comunidades vizinhas, segurança durante a execução e a capacidade de monitorar e controlar tecnicamente o desempenho da obra. Esta mudança explica por que a literatura internacional passou a comparar diferentes técnicas também sob a ótica da sustentabilidade. Em muitos casos, soluções com desempenho geotécnico semelhante apresentam impactos ambientais bastante diferentes, tornando o ESG um critério cada vez mais importante na tomada de decisão. Mais do que uma tendência, o ESG já integra processos de financiamento e contratação de grandes obras portuárias, aeroportuárias e industriais em diversos países, indicando que o futuro do melhoramento do solo dependerá não apenas da eficiência técnica da solução mas, também, de sua sustentabilidade e de sua capacidade de oferecer desempenho previsível ao longo de toda a vida útil da infraestrutura.

soluções de projeto. Métodos que apresentam desempenho semelhante passaram a ser comparados também sob o ponto de vista ambiental, incorporando critérios que até poucos anos atrás, raramente, eram considerados na engenharia geotécnica. Esta tendência deverá ganhar importância crescente à medida que governos, operadores portuários e concessionárias de infraestrutura adotem metas de redução de emissões e critérios ESG em seus investimentos. Nos próximos tópicos serão discutidos outros dois avanços que vêm transformando o setor, a evolução da modelagem numérica aplicada ao melhoramento do solo mole e novas aplicações destas tecnologias em obras marítimas e aeroportuárias, onde os desafios geotécnicos continuam entre os mais complexos da engenharia civil contemporânea.

A modelagem numérica tornou-se ferramenta de decisão

A evolução da capacidade computacional e o aperfeiçoamento de modelos constitutivos transformaram profundamente a forma como projetos de tratamento de solos moles são concebidos. Se, há poucos anos, a modelagem numérica era utilizada principalmente para confirmar soluções previamente definidas, hoje participa ativamente da escolha da alternativa mais eficiente. Programas baseados no Método dos Elementos Finitos simulam, com elevado nível de



detalhamento, todas as etapas construtivas de um empreendimento. A sequência de execução dos aterros, a evolução e a dissipação das poropressões, o recalque progressivo, deslocamentos laterais e a redistribuição das tensões podem ser avaliados antes mesmo do início da obra. Outro avanço importante refere-se à utilização de modelos constitutivos capazes de representar, com maior fidelidade, o comportamento não linear da argila muito mole. A consideração do histórico de tensões, da consolidação dependente do tempo, da deformabilidade e da interação entre diferentes elementos do tratamento, proporciona previsões significativamente mais próximas do comportamento observado em cam-

po. Neste contexto, a modelagem deixa de ser apenas um recurso de verificação e passa a integrar o processo de tomada de decisão, permitindo comparar diferentes alternativas de tratamento, otimizar geometrias, reduzir volumes de material e estabelecer critérios mais seguros para o acompanhamento executivo. Entretanto, a literatura internacional também reforça que nenhum modelo numérico, por mais sofisticado que seja, substitui o conhecimento do comportamento real do solo. Os melhores resultados são obtidos quando a modelagem é continuamente calibrada por meio da instrumentação de campo, formando um ciclo permanente de previsão, monitoramento e atualização dos parâmetros geotécnicos.

ROCTEST



PIEZÔMETRO AUTOCRAVÁVEL (PWP)

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

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

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



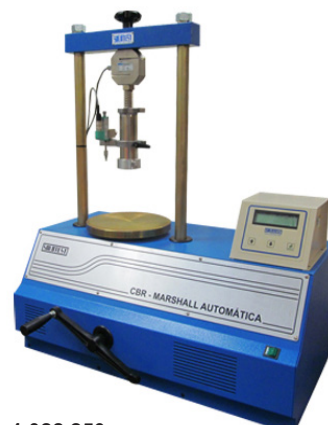
A solotest equipa os melhores laboratórios de solos, concreto e misturas asfálticas da América Latina, com equipamentos próprios e de seus parceiros internacionais.



 1.014.250 - Extrator Shelby de Bancada



 1.055.001 - Prensa de Adensamento



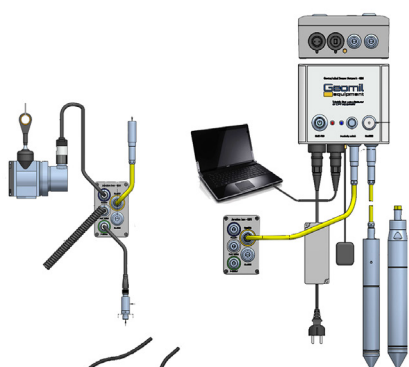
 1.022.250 - Prensa CBR / Marshall Digital Microprocessada



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



 4.100.300 - LWD "Light Wheight Deflectometer"



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



 4.100.035 - Penetrômetro Dinâmico Eletrônico para Solos Panda

Infraestruturas marítimas e aeroportuárias impulsionam novas soluções

Grande parte dos investimentos em infraestrutura, previstos para as próximas décadas, concentra-se em regiões costeiras. A expansão de portos, terminais de contêineres, instalações industriais, diques de proteção, retroáreas portuárias e áreas aeroportuárias, implantadas sobre aterros marítimos, exigem soluções capazes de controlar deformações, em depósitos espessos de argilas muito moles. Estes empreendimentos apresentam características particulares que, além das elevadas cargas permanentes, convivem com restrições rigorosas de recalques diferencial, cronogramas reduzidos, limitações operacionais e elevados custos associados a qualquer interrupção das atividades. Nesta condição, o melhoramento efetivo do terreno assume papel estratégico para a viabilidade técnica e econômica do empreendimento. Publicações mais recentes mostram tendência clara de integrar investigação geotécnica detalhada, modelagem numérica, monitoramento instrumental e execução controlada. O objetivo deixa de ser apenas aumentar a resistência do solo, passando a garantir previsibilidade de desempenho durante todas as fases da construção e da operação. No Brasil, esta abordagem possui importância ainda maior, pois diversas obras de infraestrutura costeira são implantadas sobre depósitos de argilas marinhas extremamente compressíveis, como os encontrados na foz do rio Itajaí-açu, ao longo da Baía de Guanabara e de outras planícies litorâneas. Estas formações apresentam elevada variabilidade geotécnica, exigindo soluções adaptadas às condições locais e permanente controle do comportamento do maciço. Ao analisar o conjunto das pesquisas publicadas em 2025 e 2026, percebe-se que a engenharia do melhoramento efetivo do solo mole alcançou novo estágio de maturidade. A inovação já

Técnica	Mecanismo predominante	Principal vantagem	Principal limitação
Coluna de brita	substituição parcial + formação de colunas pouco rígidas	Reduz recalque	eficiência limitada em argilas muito moles. Promove recalque diferencial entre colunas e o solo mole envolvente.
DSM	Formação de colunas rígidas	Reduz o recalque	elevado consumo de cimento. Promove recalque diferencial entre colunas e o solo mole envolvente.
Jet Grouting	Formação de colunas rígidas.	Reduz o recalque	elevado consumo de cimento. Promove recalque diferencial entre colunas e o solo mole envolvente.
CPR	modificação do estado de tensões e consolidação com readequação do solo mole, para as necessidades de projeto.	Elimina o recalque.	Adequa-se a qualquer tipo de solo mole. Pouco consumo de cimento. Elimina o recalque diferencial.

Quadro comparativo dos dois mecanismos geotécnicos de tratamento do solo mole: um estrutural (na cor salmão) e outro de melhoramento geotécnico do solo mole (na cor branca).

não está associada exclusivamente ao desenvolvimento de novas técnicas, mas à integração entre conhecimento geológico, investigação de campo, modelagem numérica, monitoramento instrumental e planejamento executivo. Esta evolução amplia significativamente a confiabilidade do projeto e contribui para a execução de obras mais seguras, mais sustentáveis e economicamente mais eficientes. Para a engenharia geotécnica brasileira, este cenário representa oportunidade singular, já que a experiência acumulada ao longo de décadas, em obras sobre solos moles, aliada ao desenvolvimento de soluções próprias e ao avanço das ferramentas de análise e monitoramento, coloca o país em posição privilegiada para participar da próxima geração de grandes em-

preendimentos marítimos e aeroportuários. Mais do que acompanhar a tendência internacional, a geotecnia nacional reúne condições para contribuir ativamente com novas metodologias, novos modelos de análise e tecnologia de tratamento, consolidando seu papel entre os principais centros de desenvolvimento geotécnico do mundo.

Da comparação entre técnicas à comparação entre mecanismos

Uma das conclusões mais interessantes, observadas na literatura internacional recente, é que a comparação entre técnicas de tratamento deixou de ser baseada apenas no desempenho final obtido. Cada vez mais pes-



O PROBLEMA NÃO É A RESISTÊNCIA.
O PROBLEMA É A DEFORMABILIDADE.

O solo não precisa ser substituído.
Ele pode ser transformado.

O melhoramento do solo reduz deformações, aumenta a rigidez e viabiliza empreendimentos onde antes existiam limitações geotécnicas.

SOLO MOLE
INSTÁVEL E DEFORMÁVEL

SOLO MELHORADO
ESTÁVEL E CONFIÁVEL

CONHEÇA AS SOLUÇÕES
DE MELHORAMENTO DE SOLOS.

Soft Soil Group

Saiba mais em
www.softsoilbrazilianreview.com.br

quisadores procuram compreender como cada método modifica o comportamento do maciço e quais mecanismos físicos predominam durante o processo do tratamento. Sob esta ótica, métodos como Deep Soil Mixing (DSM), Jet Grouting, colunas de brita, pré-carregamento associado a drenos verticais e outras soluções passam a ser analisadas não apenas pela redução do recalque mas, também, pela forma como alteram o estado de tensões, a deformabilidade, a drenagem e a rigidez do terreno. De maneira simplificada, o Deep Soil Mixing promove a criação de colunas rígidas de elevada rigidez, transformando parte do maciço em um sistema composto solo mole-colunas. O Jet Grouting, por sua vez, produz colunas de elevada resistência, por meio da desagregação e mistura hidráulica do solo com calda de cimento sendo, particularmente, empregado quando é necessário elevada capacidade resistente ou contenção localizada, permanecendo o solo mole. Por sua vez, colunas de brita apresentam comportamento distinto. Seu principal efeito está associado à fraca criação de caminhos drenantes e ao confinamento lateral do solo mole, promovendo alguma consolidação e reduzindo recalques em aterros e plataformas industriais. Diferentemente da formação de elementos verticais, rígidos ou não, de transferência de carga para camadas profundas resistentes, conforme apresentado anteriormente, há o método do melhoramento efetivo do solo, com CPR Grouting, com modificação direta do estado de tensões do maciço, promovendo aumento da resistência não drenada, redução/eliminação da compressibilidade e deformações. Esta distinção é importante, porque demonstra que as duas modalidades de técnicas podem, eventualmente, produzir reduções parecidas, utilizando mecanismos completamente diferentes. Em consequência, a escolha da solução mais adequada não deve considerar apenas o desempenho final obser-

vado mas, também, a compatibilidade entre o mecanismo de funcionamento da técnica e o comportamento esperado da obra.

Como comparar diferentes técnicas e o conhecimento do fator β de melhoria do recalque

Nestes últimos anos, diversos pesquisadores passaram a utilizar fatores de desempenho capazes de comparar diferentes soluções de tratamento sob um mesmo critério geotécnico. Entre esta

abordagem destaca-se o fator β , de melhoria do recalque, apresentado em trabalhos desenvolvidos pelo professor Márcio de Souza Soares de Almeida. Simplificadamente, este parâmetro relaciona o recalque esperado, após o tratamento, com aquele que ocorreria na condição natural do terreno. Quanto menor o valor de β , maior é a eficiência do sistema de tratamento do solo na redução das deformações. O interesse desta abordagem reside no fato de permitir comparar técnicas distintas, utilizando um único indicador de desempenho, independentemente do mecanismo físico empregado.

O FATOR β DE MELHORIA DO RECALQUE: UMA FORMA DE COMPARAR DIFERENTES TÉCNICAS

Nos estudos de melhoramento de solos moles, uma das maiores dificuldades é comparar técnicas que atuam por mecanismos completamente diferentes. Enquanto algumas aumentam a rigidez do terreno apenas por meio da formação de elementos estruturais, outras aceleram a consolidação, modificando diretamente o estado de tensões do maciço. Para facilitar esta comparação, o professor Márcio de Souza Soares de Almeida, da COPPE/UFRJ, propôs a utilização do fator β , um índice que expressa a eficiência do tratamento na redução do recalque. De forma simplificada, β representa a relação entre o recalque do terreno tratado e o recalque que ocorreria na condição natural. Quanto menor o valor de β , maior é a eficiência do melhoramento em reduzir as deformações. A principal vantagem desse conceito, é permitir que diferentes tecnologias sejam comparadas, utilizando um mesmo indicador de desempenho, independentemente do mecanismo responsável pela melhoria. Entretanto, a interpretação do fator β deve ser feita com cautela. Valores semelhantes de β não significam que duas técnicas apresentem o mesmo comportamento geotécnico. Métodos distintos podem, eventualmente, alcançar reduções equivalentes de recalque por processos físicos completamente diferentes, como transferência de carga, aumento da rigidez, aceleração da consolidação ou modificação do estado de tensões do solo. Por esta razão, o fator β deve ser entendido como um excelente indicador de desempenho global, mas sempre associado à compreensão dos mecanismos de funcionamento de cada técnica.

Entretanto, a utilização deste parâmetro também evidencia uma questão extremamente importante. Dois métodos podem apresentar valores semelhantes de β e, ainda assim, possuir comportamentos completamente diferentes durante a construção e ao longo da vida útil da estrutura. Enquanto a maioria das técnicas reduz o recalque por meio da formação de elementos estrutu-

rais rígidos ou não o melhoramento efetivo do solo atua pela modificação do estado de tensões, com a aceleração da consolidação e aumento da rigidez do próprio solo. Assim, o fator β deve ser entendido como um excelente indicador de desempenho global, mas não substitui a análise dos mecanismos geotécnicos responsáveis pela melhoria observada.

O novo paradigma é controlar deformações e não, apenas, aumentar a resistência do solo.

Talvez a principal mudança observada na literatura internacional de 2025 à 2026, seja a transferência do foco da engenharia geotécnica. Durante décadas, o principal objetivo do tratamento do solo mole consistia em aumentar a capacidade suporte do solo. Atualmente, grande parte das pesquisas demonstra que, em muitas obras de infraestrutura, a resistência disponível já é

suficiente para garantir a estabilidade global. O desafio passa a ser o controle das deformações. Portos, aeroportos, ferrovias, rodovias e plataformas industriais possuem critérios de desempenho cada vez mais rigorosos, para recalque absoluto, recalque diferencial, deslocamentos horizontais e deformações durante a construção e operação. Nestas condições, a rigidez do terreno e a previsibilidade do comportamento tornam-se parâmetros tão importantes quanto a resistência ao cisalhamento. Esta mudança explica a crescente integração entre investigação geotécnica, modelagem numérica, instrumentação

de campo e o acompanhamento em tempo real da obra. O conceito de desempenho deixa de estar associado apenas ao fator de segurança e passa a incorporar também a capacidade de prever, monitorar e controlar o comportamento deformacional do maciço ao longo de toda a vida útil da infraestrutura. É justamente esta visão integrada, baseada no entendimento dos mecanismos de funcionamento, na previsão das deformações e na avaliação contínua do desempenho, que vem caracterizando a nova geração de projetos de tratamento do solo mole em todo o mundo.

Fig. 7 - Execução do melhoramento do solo mole por CPR Grouting em área portuária. A atuação simultânea de múltiplos equipamentos evidencia a elevada produtividade do processo, permitindo o aumento da rigidez e da capacidade suporte do terreno com mínima interferência nas operações do terminal.



REFERÊNCIAS

- Joaquim Rodrigues é engenheiro geotécnico M.Sc. Formado no Rio de Janeiro em 1977 e pós-graduado pela COPPE na Universidade Federal do Rio de Janeiro. Diretor do Instituto Brasileiro do Solo Mole e da Engenharia Geotécnica e Engenharia, associada à ABMS e ao American Society of Civil Engineers desde 1994. Desenvolveu duas técnicas de melhoramento de solos moles, sendo motivo de patente o GEOENRIJCIMENTO, utilizada hoje em todo o Brasil.
- Chen, Z.; Shu, J.; Song, S.; et al. (2025). Advancements in Drainage Consolidation Technology for Marine Soft Soil Improvement: A Review. *Journal of Marine Science and Engineering*, 13(10), 1951. Uma das revisões mais completas sobre tecnologias de adensamento para solos moles marinhos.
- Nguyen, M.T.; Le, N.T.; Nguyen, K.T. (2025). Consolidation Behavior of Soft Soil Treated with PVDs and Vacuum-Surcharge Preloading. *Civil Engineering Journal*, 11(7), 3055–3068. Estudo de campo e modelagem numérica em depósitos espessos de argila mole.
- Bergado, D.T.; Jamsawang, P.; Voottipruex, P.; et al. (2024). First and Second Vacuum-PVD Improvement of Soft Bangkok Clay for the Third Runway of Suvarnabhumi International Airport. *Innovative Infrastructure Solutions*, 9. Caso histórico de melhoramento para pista aeroportuária.
- Liu, K.; He, H.T.; Tan, D.Y.; et al. (2024). A Case Study of Performance Comparison Between Vacuum Preloading and Fill Surcharge for Soft Ground Improvement. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*. Comparação entre duas das principais técnicas utilizadas em áreas portuárias e aeroportuárias.
- Singh, V.; Mishra, A. (2025). Vacuum-Assisted Radial Consolidation of Vertical Drain-Improved Soft Soils Considering Creep Effect. *International Journal of Geomechanics (ASCE)*. Aborda consolidação radial e fluência em solos tratados com drenos verticais.
- Scientific Reports (2025). Consolidation Analysis of Soft Ground with Air-Boosted Vacuum Preloading Considering Attenuation of Vacuum and Boost Pressure. *Nature Portfolio*. Trabalho recente sobre pré-carregamento a vácuo com reforço pneumático.
- Song, D.B.; Pan, Y.; Yin, J.H.; et al. (2025). Consolidation Analysis of Staged-Filled Soil Slurry with Combined Grid-Horizontal and Vertical Drains under Vacuum Preloading. *Geotextiles and Geomembranes*. Aplicação voltada ao reaproveitamento de sedimentos dragados.
- Review (2025). Improvements in Vacuum Preloading for Different Soils and Their Clogging Mechanisms. *Marine Georesources & Geotechnology*. Revisão sobre evolução do pré-carregamento a vácuo e mecanismos de colmatção dos drenos.
- FHWA – Federal Highway Administration. (2015). Design and Construction of Ground Improvement Methods. FHWA-NHI. Manual clássico amplamente utilizado em projetos rodoviários e aeroportuários.
- Bergado, D.T.; Chai, J.C.; Alfaro, M.C.; Balasubramaniam, A.S. (1996). *Soft Ground Improvement in Lowland and Other Environments*. ASCE Press. Uma das principais referências mundiais sobre melhoramento de solos moles.

PRESSIÔMETRO

Um ensaio geotécnico completo realizado no campo

Fácil de operar e 100 % viável



ROCTEST

Representante exclusivo no Brasil

+55 21 2718 3968

 **3Geo**
TECNOLOGIA

vendas@3geotecnologia.com

www.3geotecnologia.com

POR QUE A BAÍA DE GUANABARA CONTINUA SENDO UM DOS MAIORES LABORATÓRIOS GEOTÉCNICOS DO MUNDO.

Fig. 1 - Vista aérea da Baía de Guanabara, onde a interação entre extensas camadas de solos moles, aterros sucessivos, infraestrutura portuária, áreas aeroportuárias e intensa ocupação urbana transformou a região em um dos mais importantes laboratórios geotécnicos do mundo. Ao longo de décadas, os desafios impostos por estes depósitos sedimentares impulsionaram o desenvolvimento e a validação de novas técnicas de investigação, monitoramento e melhoramento de solos, muitas delas posteriormente aplicadas em projetos de infraestrutura em diversos países.



Eng. Thomas Kim

O Ao longo das últimas décadas, a Baía de Guanabara consolidou-se como uma das regiões de maior importância para a engenharia geotécnica brasileira. Além de concentrar algumas das principais infraestruturas portuárias, industriais, logísticas e aeroportuárias do país, a região apresenta uma característica comum à maior parte destas obras, sua implantação sobre espessos depósitos de argilas marinhas extremamente moles, altamente compressíveis e de comportamento geotécnico complexo. Estes depósi-

tos sedimentares, formados durante as sucessivas transgressões e regressões marinhas ocorridas ao longo do Quaternário, constituem ambiente onde coexistem baixa resistência ao cisalhamento, elevada compressibilidade, reduzida permeabilidade e significativa variabilidade espacial. Em consequência, recalques de longa duração, deslocamentos laterais e dificuldades construtivas tornam-se fatores determinantes para planejamento, execução e desempenho de obras. Entretanto, limitar a discussão das argilas da Baía de Guanabara apenas aos problemas que elas impõem, seria uma visão incompleta.

Ao longo de mais de cinquenta anos, esta mesma condição estimulou o desenvolvimento de uma sólida escola brasileira de geotecnia, responsável por pesquisas fundamentais sobre adensamento, resistência não drenada, deformabilidade, monitoramento de aterros, modelagem numérica e uma revolucionária técnica de melhoramento de solos moles. Muitas destas contribuições passaram a integrar o conhecimento internacional e continuam servindo de referência para projetos executados em regiões costeiras de diversos países. Atualmente, a expansão das áreas portuárias, a implantação de novas



plataformas logísticas, a modernização de instalações industriais e intervenções em áreas aeroportuárias, renovam o interesse pela compreensão detalhada destas argilas. Mais do que garantir estabilidade global, projetos contemporâneos buscam controlar recalques diferenciais, reduzir prazos construtivos, minimizar impactos ambientais e aumentar a previsibilidade do comportamento de estruturas ao longo de toda a sua vida útil. Neste contexto, conhecer a origem geológica, a variabilidade dos depósitos sedimentares e os parâmetros que governam seu comportamento mecânico torna-se indispensável para a escolha das técnicas

de investigação, modelagem e tratamento mais adequadas. Esta matéria apresenta uma visão integrada das argilas marinhas da Baía de Guanabara, reunindo aspectos geológicos, geotécnicos e tecnológicos que explicam por que esta região continua sendo um dos maiores laboratórios naturais para o desenvolvimento da engenharia de solos moles.

A formação geológica da Baía de Guanabara

Para compreender o comportamento geotécnico das argilas marinhas da Baía de Guanabara é necessário,

inicialmente, entender sua origem geológica. As propriedades mecânicas desses depósitos são consequência direta de processos de sedimentação que ocorreram durante milhares de anos, associados às variações do nível relativo do mar, ao transporte de sedimentos pelos rios e à evolução geomorfológica da costa sudeste brasileira. Durante o período Quaternário, sucessivas transgressões marinhas inundaram antigos vales fluviais, formando extensas planícies estuarinas protegidas da ação direta das ondas. Nestes ambientes de baixa energia hidrodinâmica, partículas extremamente finas, como siltes, argilas e matéria



Fig. 2 - Obras de melhoria de solo em ambiente portuário ilustram um dos maiores desafios da engenharia geotécnica moderna: transformar depósitos sedimentares altamente compressíveis em plataformas aptas a receber estruturas de grande porte, reduzindo recalques e aumentando a confiabilidade das obras costeiras.

orgânica, sedimentaram lentamente, dando origem aos espessos depósitos atualmente encontrados em grande parte da Baía de Guanabara. A baixa velocidade das correntes favoreceu a deposição de partículas muito finas e a preservação de elevados teores de matéria orgânica, resultando em solos com alto índice de vazios, elevada umidade natural e estrutura extremamente compressível. Em muitos locais, a espessura destas camadas ultrapassa 20 metros, repousando sobre depósitos arenosos mais antigos ou sobre o embasamento cristalino. Além disso, a sedimentação não ocorreu de forma uniforme. Mudanças no nível do mar, migração dos canais fluviais e variações locais da condição ambiental produziram uma distribuição bastante heterogênea dos materiais, alternando camadas de argilas muito moles, siltes, areias finas e lentes orgânicas. Esta heterogeneidade constitui uma das

principais dificuldades enfrentadas no projeto e na execução de obras geotécnicas na região.

Perfil geotécnico típico das argilas da Baía de Guanabara

Embora os depósitos sedimentares da Baía de Guanabara apresentem significativa variabilidade espacial, decorrente da evolução geológica da região e das diferentes condições de sedimentação, é possível estabelecer um perfil geotécnico típico que representa a maioria das áreas destinadas à implantação de grandes obras de infraestrutura. De forma geral, observa-se uma sequência constituída por uma camada superficial de aterros ou sedimentos recentes, seguida por espessos depósitos de argilas marinhas muito moles, frequentemente intercalados por finas lentes de silte e areia, apoiados so-

bre camadas arenosas mais compactas ou diretamente sobre o embasamento cristalino. A espessura destas argilas varia consideravelmente, podendo atingir mais de 20 metros em determinadas regiões da baía. Esta grande espessura, associada à baixa permeabilidade, explica os longos períodos necessários para a dissipação das poropressões e para a consolidação natural do terreno. Sob o ponto de vista geotécnico, trata-se de um solo caracterizado por elevada deformabilidade, comportamento fortemente dependente do tempo e grande sensibilidade às alterações do estado de tensões induzidas durante a construção.

Parâmetros geotécnicos típicos

Embora cada empreendimento exija investigação específica, os valores normalmente encontrados nas argilas marinhas da Baía de Guanabara situam-se aproximadamente nas seguintes faixas:

Parâmetro	Faixa típica
Resistência não drenada (S_u)	8 a 30 kPa
Umidade natural	70 a 150%
Índice de vazios (e_0)	1,8 a 4,0
Limite de liquidez	60 a 130%
Índice de plasticidade	30 a 80%
Peso específico natural	14 a 17 kN/m ³
OCR	1,0 a 2,0
Índice de compressão (C_c)	0,8 a 2,5
Índice de recompressão (C_r)	0,08 a 0,30
Coefficiente de permeabilidade	10^{-9} a 10^{-10} m/s

Estes valores evidenciam solo de elevada compressibilidade, baixa resistência inicial e reduzida ca-

pacidade de dissipação das poropressões, fatores que condicionam praticamente todas as decisões de projeto e de execução em obras implantadas sobre esses depósitos.

O verdadeiro desafio é controlar o processo deformativo.

Embora a baixa resistência ao cisalhamento seja frequentemente citada como a principal característica dessas argilas, a experiência acumulada em inúmeras obras demonstra que o maior desafio raramente está associado à ruptura do terreno. Na maioria dos empreendimentos, a estabilidade global pode ser assegurada mediante adequada definição das etapas construtivas, controle das alturas de aterro e adoção de fatores de segurança compatíveis. O aspecto realmente crítico passa a ser o controle deformativo. Recalques totais elevados, recalques diferenciais, deslocamentos laterais e deformações progressivas ao longo do tempo representam, na prática, as principais limitações ao desempenho das fundações, pavimentos, estruturas portuárias, pistas aeroportuárias e instalações industriais. Esta realidade explica por que projetos modernos vêm priorizando cada vez mais a previsão do comportamento deformacional do terreno, integrando investigações geotécnicas, modelagem numérica e monitoramento instrumental desde as primeiras fases do empreendimento.

A elevada heterogeneidade como característica marcante

Outro aspecto importante das argilas da Baía de Guanabara é sua elevada variabilidade lateral. Mesmo em áreas relativamente pequenas, podem ocorrer mudanças signifi-

cativas na espessura das camadas, na resistência não drenada, no teor de matéria orgânica e na presença de lentes arenosas ou siltosas. Esta heterogeneidade dificulta a extrapolação direta dos resultados obtidos em sondagens isoladas e reforça a necessidade de programas de investigação mais abrangentes, utilizando métodos complementares como CPTu, pressiómetro, tomografias por imagem (MASW e eletroresistividade), além da instrumentação durante a execução das obras. Esta abordagem permite reduzir incertezas e construir modelos geotécnicos mais representativos, fundamentais para o dimensionamento de soluções de melhoria e para a previsão confiável do desempenho

da infraestrutura. Os depósitos argilosos da Baía de Guanabara reúnem, simultaneamente, diversas características que tornam o comportamento do terreno significativamente mais complexo do que aquele observado em solos convencionais. Não se trata apenas de uma argila de baixa resistência, mas de um sistema geológico cuja resposta depende da interação entre deformabilidade, permeabilidade, história de tensões, tempo de carregamento e variabilidade espacial. Esta combinação faz com que soluções aparentemente adequadas sob o ponto de vista da estabilidade possam apresentar desempenho insatisfatório quando avaliadas sob os critérios de deformação, durabilidade e operação da infraestrutura.



Fig. 3 - Execução do melhoramento de solo mole em área portuária, junto ao cais operacional, utilizando equipamento de CPR (Consolidação Profunda Radial). A intervenção foi realizada em ambiente com elevada restrição operacional e presença de infraestrutura existente, demonstrando a viabilidade da técnica para aumentar a rigidez do maciço, reduzir recalques futuros e preparar a fundação para novos pátios e estruturas logísticas, sem necessidade de longos períodos de pré-carregamento. O controle geométrico e a execução sequencial das verticais permitem compatibilizar produtividade, segurança e desempenho geotécnico em obras portuárias sobre depósitos sedimentares compressíveis.



Fig. 4 - Fraturamento longitudinal de grande abertura desenvolvida em aterro durante a fase de construção, evidenciando deslocamentos diferenciais associados à perda de estabilidade do maciço. Este tipo de manifestação é um importante indicativo de deformações progressivas em fundações sobre solos moles, exigindo monitoramento contínuo e a adoção imediata de medidas de melhoramento do solo para evitar a evolução para processo de ruptura.

SOLO MOLE NO SEU PROJETO?

NÃO ESCOLHA TÉCNICAS
ALTERNATIVAS OU
ADAPTADAS PARA
SOLOS MOLES.



FAÇA
**MELHORAMENTO
DO SOLO**

MELHORAMENTO DE SOLOS MOLES É
CPR GROUTING
* 100% TEORIA DA CONSOLIDAÇÃO



TECNOLOGIA PATENTEADA
UTILIZADA EM TODO BRASIL HÁ
MAIS DE 30 ANOS.



MAIS SEGURANÇA
PARA O SEU PROJETO



DESEMPENHO GEOTÉCNICO
SUPERIOR E DURADOURO



VISITE NOSSO SITE:
WWW.ENGEGRAUT.COM.BR



facebook.com/engegraut



[@engegraut](https://www.instagram.com/engegraut)



www.engegraut.com.br



Baixa resistência é apenas a ponta do iceberg. O grande problema é a elevada deformabilidade.

A experiência acumulada, em grandes obras, demonstra que a resistência inicial representa apenas uma parcela do comportamento geotécnico. Em muitos casos, mesmo quando a estabilidade global pode ser garantida, por meio da execução em etapas ou pela adoção de fatores de segurança adequados, permanecem problemas relacionados a recalques excessivos, a deslocamentos horizontais e à deformações diferenciais. Assim, o desempenho da obra passa a depender muito mais da evolução das deformações, ao longo do tempo, do que da resistência disponível no instante da construção. Esta mudança de enfoque representa uma das principais transformações da engenharia geotécnica contemporânea. As argilas marinhas da Baía de Gua-



Fig. 5 - Colapso de estrutura de contenção durante execução de aterro sobre solo mole. A ruptura evidencia a elevada sensibilidade de soluções estruturais com estaqueamento quando o ganho de resistência do subsolo não acompanha a velocidade de alteamento do aterro. O excesso de poropressões e a baixa rigidez da fundação desencadeiam grandes deslocamentos laterais, culminando no colapso da estrutura e do maciço. Casos como este reforçam a importância do melhoramento do solo, do controle da sequência executiva e do monitoramento geotécnico contínuo ao longo da construção.

nabara quando submetidas a carregamentos provenientes de aterros, fundações, pavimentos ou estruturas industriais, desenvolvem recalques que podem continuar evoluindo durante muitos anos, após a conclusão da construção. Além da consolidação primária, frequentemente ocorre deformação lenta da estrutura do

solo, conhecida como compressão secundária (creep), que contribui para deslocamentos adicionais ao longo da vida útil da obra. Em terminais portuários, pistas aeroportuárias, áreas industriais e vias de transporte, mesmo pequenos recalques diferenciais podem comprometer o desempenho operacional, exigindo intervenções corretivas de elevado custo. Por esta razão, a deformabilidade passou a ser um dos principais parâmetros considerados na escolha das técnicas de tratamento do solo mole. Outro fator limitante é a reduzida permeabilidade das argilas marinhas. Com coeficientes de permeabilidade extremamente baixos, a dissipação das poropressões ocorre lentamente, fazendo com que o processo natural de consolidação possa exigir vários anos para atingir condições compatíveis com a operação definitiva da infraestrutura. Historicamente, esta característica levou ao desenvolvimento de soluções como pré-carregamento e drenos verticais, capazes de acelerar a consolidação. Atualmente, entretanto, observa-se tendência crescente para melhorar efetivamente o solo, com geoenrijecimento, o que reduz simultaneamente o tempo de construção, eliminan-

GEOKON

Escavação profunda em ambiente urbano exige monitoramento extensivo para garantir estabilidade, verificando-se se estruturas próximas são afetadas.
Em todo o mundo utiliza-se instrumentos GEOKON.

Monitoramento de Escavação Profunda

1 Repetidor de dados	4 Células de carga	7 Medidor de verticalidade	10 Inclinômetro portátil
2 Piezômetros	5 Medidor de Deformação	8 Medidor de Trincas	11 Células de pressão
3 Inclinômetro de corda vibrante	6 Extensômetros	9 Repetidor de dados de multi-canal	

The World Leader in Vibrating Wire Technology

Geotechnical Instrumentation

LINHA DO TEMPO

SOLUÇÕES DE TRATAMENTO DO SOLO MOLE

- 1950  ATERROS CONVENCIONAIS
- 1960  DRENOS VERTICAIS
- 1970  PRÉ-CARREGAMENTO
- 1980 A 2010  COLUNAS DE BRITA CPR (MELHORAMENTO DO SOLO)
DSM (COLUNAS DE SOLO-CIMENTO)
JET GROUTIN (COLUNAS DE SOLO-CIMENTO)
- 2020 A 2026  CPR GROUTING
MONITORAMENTO + MODELAGEM

GRANDES OBRAS EXECUTADAS NA BAÍA - 1950 À 2026

-  TERMINAIS MARÍTIMOS
-  RETROÁREAS
-  PIÉRES
-  ESTALEIRAS
-  ÁREAS INDUSTRIAIS
-  VIAS EXPRESSAS
-  DIQUES
-  PLATAFORMAS LOGÍSTICAS



POR QUE A BAÍA DE GUANABARA É UM LABORATÓRIO NATURAL?



ENORME ESPESSURA DE ARGILAS MOLES



DIFERENTES IDADES GEOLÓGICAS



OBRAS DE TODOS OS TIPOS



DÉCADAS DE MONITORAMENTO



O QUE A BAÍA DE GUANABARA ENSINOU AO MUNDO?



MUITOS CONCEITOS UTILIZADOS HOJE NASCERAM OU FORAM AMPLAMENTE DESENVOLVIDOS EM PESQUISAS REALIZADAS NA BAÍA DE GUANABARA



COMPORTAMENTO DE ARGILAS MOLES TROPICAIS



ESTUDOS CLÁSSICOS DA COPPE/UFRJ E DA PUC-RIO



CONTRIBUIÇÃO DE DIVERSOS PESQUISADORES BRASILEIROS PARA A MODELAGEM DO ADENSAMENTO E A AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE TÉCNICAS DE MELHORAMENTO.

PESQUISAS SOBRE PRÉ-CARREGAMENTO E DRENOS VERTICAIS

MONITORAMENTO DE RECALQUES EM GRANDES ATERROS



SENSORES DE
RECALQUE



CÉLULAS DE PRESSÃO
PARA ATERROS

GEOKON

TRUSTED MEASUREMENTS®

EQUIPAMENTOS GEOTÉCNICOS



CÉLULAS DE PRESSÃO
CRAVÁVEIS NO TERRENO



PIEZÔMETROS



A Geokon é líder mundial em automação e instrumentação geotécnica para **monitoramento de solos**



REPRESENTANTE EXCLUSIVO
NO BRASIL



GS ENGENHARIA

GS ENGENHARIA LTDA

(41) 3402-1707

GSENGENHARIA.COM.BR

do o recalque futuro. Um aspecto frequentemente subestimado é a heterogeneidade desses depósitos. Mesmo dentro de uma única área de implantação, podem ocorrer alterações significativas na espessura da camada mole, na resistência, na compressibilidade e na presença de lentes arenosas ou níveis orgânicos. Esta variabilidade explica por que programas de investigação geotécnica baseados exclusivamente em sondagens pontuais nem sempre conseguem representar adequadamente o comportamento do maciço. Em empreendimentos mais recentes, esta limitação vem sendo superada pela integração de diferentes métodos de investigação, incluindo CPTu, pressiómetros, ensaios tomográficos com imagem, específicos para solos moles, monitoramento instrumental e modelagem numérica calibrada com dados de campo.

O comportamento depende da trajetória de tensões

Talvez a principal característica das argilas da Baía de Guanabara, seja o fato de seu comportamento não depender apenas da magnitude das cargas aplicadas, mas da forma como estas cargas são introduzidas no terreno. A sequência construtiva, a velocidade de execução dos aterros, a dissipação das poropressões e a evolução das tensões efetivas influenciam diretamente a resposta do maciço. Por esta razão, o conceito moderno de projeto geotécnico deixou de considerar apenas estados finais de carregamento e passou a analisar toda a trajetória de tensões desenvolvida durante a



Fig. 6 - Pressiómetro de campo utilizado na investigação geotécnica. O ensaio pressiométrico fornece diretamente parâmetros de deformabilidade, rigidez e resistência in situ, permitindo caracterizar o comportamento tensão-deformação dos solos moles com maior representatividade do que ensaios convencionais. Esses parâmetros são fundamentais para o dimensionamento de técnicas de melhoramento do terreno, para a calibração de modelos numéricos e para a avaliação do desempenho de obras executadas sobre depósitos compressíveis.

construção. Esta abordagem explica o crescente emprego de modelos numéricos capazes de simular etapas executivas, evolução temporal do recalque e a redistribuição das tensões, sempre associados a programas de instrumentação que permitam validar continuamente a previsão de projeto.

Uma nova forma de enxergar as argilas da Baía de Guanabara.

Ao longo de muitos anos, as argilas da Baía de Guanabara foram consideradas apenas um obstáculo ao desenvolvimento da infraestrutura. Hoje, a visão é diferente. Estes depósitos moles passaram a representar um dos mais importantes laboratórios naturais da engenharia geotécnica, impulsionando pesquisas sobre adensamento, deformabilidade, monitoramento, modelagem numérica e uma técnica específica

de melhoramento do solo. Mais do que um problema geológico, estas argilas tornaram-se uma oportunidade para o desenvolvimento de soluções inovadoras, capazes de conciliar segurança, desempenho, sustentabilidade e previsibilidade. É justamente esta evolução que explica por que a Baía de Guanabara permanece como uma das principais referências brasileiras no estudo e na aplicação de tecnologias para solos moles.

As novas tecnologias de investigação e monitoramento

A compreensão do comportamento das argilas marinhas da Baía de Guanabara evoluiu significativamente nas últimas décadas. Se, no passado, a caracterização geotécnica dependia quase exclusivamente de sondagens à percussão, amostragem e ensaios laboratoriais, atualmente projetos incorporam métodos de investigação ca-

pazes de fornecer visão muito mais abrangente do maciço. Ensaio como CPTu, pressiômetro, levantamentos tomográficos por MASW e eletroresistividade, permitem avaliar não apenas a estratigrafia mas, também, a distribuição espacial da rigidez, da resistência e das condições de saturação do terreno. Associados à modelagem numérica, estes métodos reduzem incertezas e tornam modelos geotécnicos mais representativos da realidade. Da mesma forma, o monitoramento deixou de ser uma etapa destinada apenas à verificação do desempenho final da obra. Piezômetros, inclinômetros, placas de recalque, marcos superficiais e sistemas automatizados de aquisição de dados passam a integrar o próprio processo de decisão durante a construção. Esta integração entre investigação, modelagem e monitoramento representa uma das principais transformações observadas na engenharia geotécnica contemporânea.

O que a Baía de Guanabara ensinou à engenharia geotécnica

Ao longo de mais de meio século, a Baía de Guanabara tornou-se um dos mais importantes laboratórios naturais para o estudo das argilas marinhas tropicais. Foi neste ambiente que diversas pesquisas brasileiras contribuíram para o entendimento dos mecanismos de adensamento, da evolução das tensões efetivas, da resistência não drenada, da deformabilidade, do recalque de longa duração e da eficiência de diferentes técnicas de tratamento do solo mole. A COPPE/UFRJ, a PUC-Rio e outras instituições de pesquisa, juntamente com empresas especializadas no tratamento de solos moles, desen-

volveram trabalhos que hoje fazem parte da literatura internacional, formando gerações de engenheiros especializados em solos moles e consolidando uma escola brasileira reconhecida pela qualidade de suas pesquisas e pela aplicação prática em grandes obras. Mais recentemente, a experiência acumulada em empreendimentos portuários, industriais e aeroportuários permitiu incorporar novas ferramentas de investigação, modelagem numérica e monitoramento em tempo real, aproximando a engenharia brasileira da tendência observada nos principais centros internacionais. Este patrimônio técnico constitui uma vantagem estratégica para o país, especialmente diante da crescente demanda por obras de infraestrutura em regiões costeiras. As argilas marinhas da Baía de Guanabara continuam representando um dos maiores desafios da engenharia geotécnica, com sua elevada compressibilidade, baixa permeabilidade, reduzida resistência inicial e grande variabilidade espacial, exigindo soluções capazes de controlar não apenas a estabilidade da obra mas, principalmente, sua deformabilidade e seu desempenho ao longo do tempo. Entretanto, estes mesmos desafios impulsionaram o desenvolvimento de uma sólida base científica e tecnológica no Brasil. A

experiência acumulada em décadas de pesquisas e de obras executadas sobre estes depósitos sedimentares, transformou a Baía de Guanabara em uma referência nacional para o estudo do comportamento de argilas muito moles. A tendência internacional, apresentada na primeira matéria desta edição, demonstra que a geotecnia caminha para uma integração cada vez maior entre investigação, modelagem numérica, monitoramento instrumental e a técnica de melhoramento com geoenrijecimento. A realidade da Baía de Guanabara confirma plenamente esta evolução. Mais do que selecionar uma técnica construtiva, o desafio atual consiste em compreender o comportamento do maciço como um sistema integrado, no qual geologia, trajetória de tensões, deformabilidade e sequência executiva condicionam o desempenho final da infraestrutura. Neste contexto, a engenharia geotécnica brasileira encontra-se em posição privilegiada para contribuir com soluções inovadoras para grandes obras costeiras. O conhecimento adquirido na Baía de Guanabara, associado ao avanço das tecnologias de investigação, modelagem e monitoramento, oferece bases sólidas para enfrentar os desafios das próximas décadas.

REFERÊNCIAS

- Thomas Kim é engenheiro geotécnico. Trabalha com melhoramento de solos moles.
- Soares-Gomes, A. et al. (2016). An environmental overview of Guanabara Bay, Rio de Janeiro. *Regional Studies in Marine Science*, 8, 319–330. Um dos trabalhos mais completos sobre a geologia, geomorfologia, hidrodinâmica e evolução ambiental da Baía de Guanabara.
- FUGRO In Situ Geotecnia (2014). *Geotechnical Report – Widening of the Access Channel to the Port of Rio de Janeiro*. Relatório de investigação geotécnica marinha elaborado para o aprofundamento do canal de acesso ao porto, contendo sondagens, SPT e caracterização dos depósitos sedimentares da Baía.
- Massad, F. (2010). *Obras de Terra – Curso Básico de Geotecnia*. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos.
- Almeida, M. S. S.; Marques, M. E. S. (2014). *Aterros sobre Solos Moles – Projeto e Desempenho*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Danziger, F. A. B.; Almeida, M. S. S. Diversos artigos publicados pela COPPE/UFRJ e pela ABMS sobre argilas moles da Baía de Guanabara, instrumentação e comportamento de aterros.
- Lunne, T.; Robertson, P. K.; Powell, J. J. M. (1997). *Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice*. Blackie Academic & Professional.
- Terzaghi, K.; Peck, R. B.; Mesri, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. 3rd Edition. John Wiley & Sons.
- D'Appolonia, E. (2009). *Container Terminal Development on Soft-Ground Sites: Geotechnical Considerations*. Trabalho de referência sobre terminais portuários implantados sobre depósitos compressíveis, com foco em recalques, estabilidade e técnicas de melhoramento.
- Poulos, H. G. et al. (2013). *Geotechnical Challenges in Reclamation of a Soft Soil Site*. Estudo clássico sobre grandes aterros portuários executados sobre argilas moles, com aplicação de drenos verticais, pré-carregamento e controle de recalques.
- Watabe, Y.; Sassa, S. (2016). *History of Land Reclamation Using Dredged Soils at Tokyo Haneda Airport*. Relata a evolução das técnicas de aterro hidráulico, consolidação e melhoramento de solos em um dos maiores aeroportos construídos sobre solos moles do mundo.



NOTÍCIAS EM TEMPO REAL;



ANÁLISES EM PROFUNDIDADES;



CONSENSO DE OPINIÕES SOBRE SOLUÇÕES;



GRÁFICOS E FERRAMENTAS ANALÍTICAS

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



CHEGOU SUA
VEZ DE TER

VISÃO

MAIS PROFISSIONAL
DA GEOTECNIA
DO **SOLO MOLE.**



INSTITUTO
BRASILEIRO
DO SOLO MOLE

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



GOSTARIA DE CONHECER MAIS SOBRE INFRAESTRUTURAS AEROPORTUÁRIAS COSTEIRAS E ESTRATÉGIAS PARA MELHORAMENTO GEOTÉCNICO DE ATERROS SOBRE ENROCAMENTOS.

Fig. 1 - Vista aérea de uma importante infraestrutura aeroportuária implantada sobre aterros na margem da Baía de Guanabara. A presença de espessas camadas de argilas moles, elevada compressibilidade, nível d'água superficial e carregamentos operacionais rigorosos faz dessa região um dos ambientes mais desafiadores para a geotecnia brasileira. As soluções adotadas ao longo das últimas décadas contribuíram para o desenvolvimento de técnicas de investigação, monitoramento e melhoramento de solos atualmente empregadas em obras costeiras e aeroportuárias em todo o mundo.

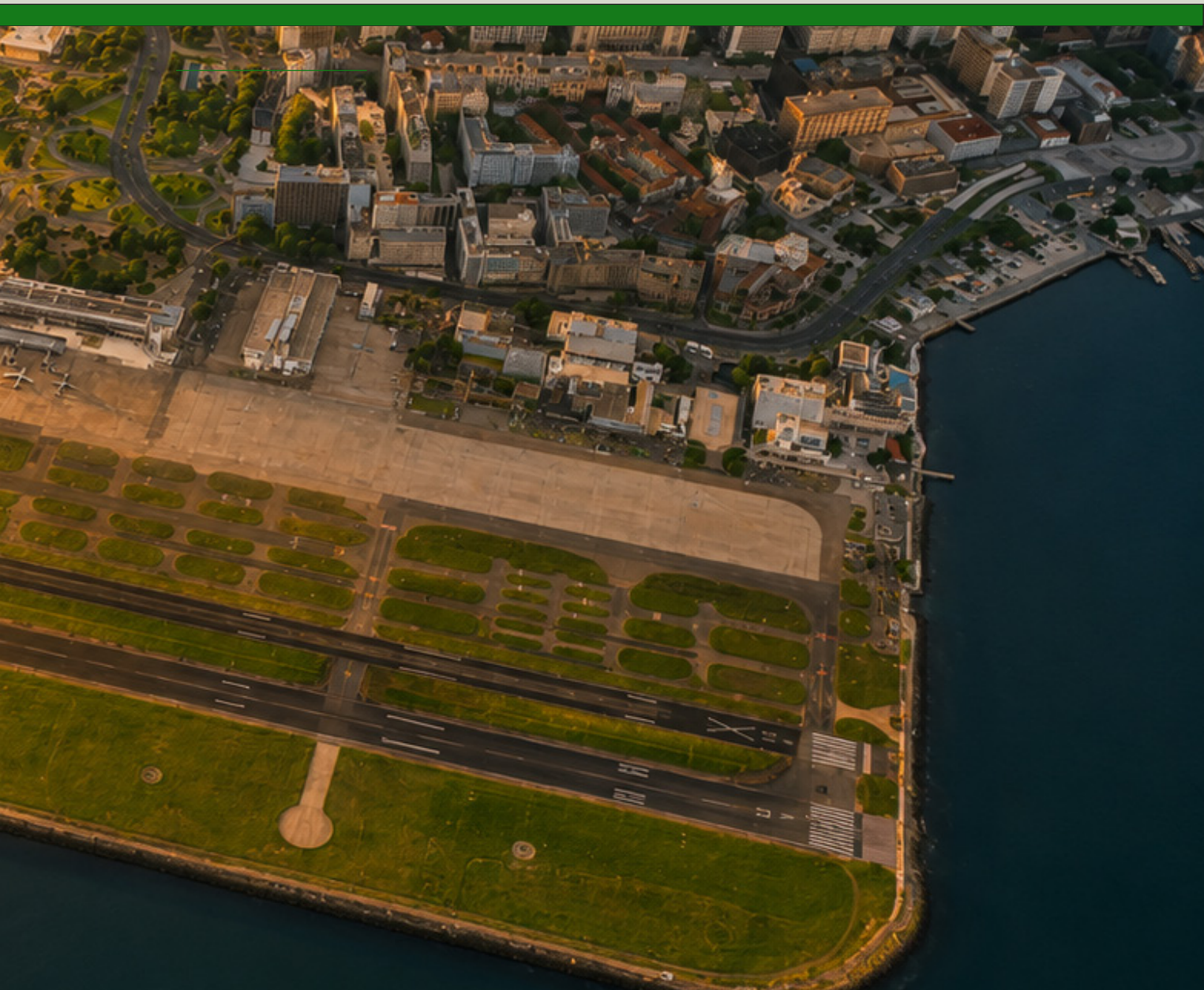
Infraestruturas aeroportuárias, construídas em áreas costeiras, representam um dos ambientes geotécnicos mais complexos da engenharia contemporânea. Ao longo das últimas décadas, muitos desses aeroportos foram implantados sobre aterros hidráulicos, enrocamentos e sedimentos naturais de elevada compressibilidade, frequentemente executados em épocas nas quais os critérios de projeto eram bastante diferentes dos atualmente adotados. Hoje, a neces-

sidade de ampliar áreas operacionais, implantar novas contenções, adequar faixas de segurança e prolongar a vida útil dessas estruturas impõe desafios que vão muito além da simples execução de fundações convencionais. Em muitos casos, a solução deve ser concebida considerando simultaneamente três requisitos fundamentais:

- estabilidade geotécnica do maciço;
- desempenho hidráulico do aterro e do enrocamento;

- manutenção das operações aeroportuárias com elevados níveis de segurança.

Esta combinação de exigências faz com que intervenções em aeroportos costeiros sejam classificadas entre as obras geotécnicas de maior complexidade atualmente executadas. O principal desafio decorre da coexistência de materiais com comportamentos completamente distintos. Enquanto o enrocamento apresenta elevada permeabilidade e grande heterogeneidade



estrutural, sedimentos subjacentes normalmente exibem baixa resistência ao cisalhamento, elevada deformabilidade e significativa suscetibilidade a recalques quando submetidos a novos carregamentos. Sob esta condição, o simples aumento das cargas decorrentes de contenções, plataformas operacionais ou ampliações da infraestrutura pode modificar profundamente o estado de tensões existente, produzindo deslocamentos incompatíveis com os rigorosos limites admissíveis para estruturas ae-

roportuárias. Mais do que elevar a capacidade resistente do terreno, torna-se necessário controlar sua deformabilidade, reduzir a permeabilidade dos maciços granulares e promover um comportamento geotécnico mais homogêneo, capaz de atender simultaneamente às exigências estruturais, hidráulicas e operacionais do empreendimento. É exatamente nesse contexto que a técnica de geoenrijecimento do solo, concebida não apenas para aumentar a resistência do maciço mas, principalmente, para modificar seu comportamento

mecânico, proporcionando maior rigidez, melhor distribuição das tensões e redução significativa das deformações ao longo da vida útil da infraestrutura.

O novo desafio das ampliações aeroportuárias costeiras

Durante muitos anos, soluções geotécnicas aplicadas em áreas aeroportuárias tiveram como principal objetivo aumentar a capacidade suporte do terreno. Em situações



Análise de Estabilidade



Escavações e Contenções



Muros e Gabiões



Recalque



Sondagens de Solo



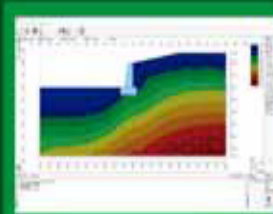
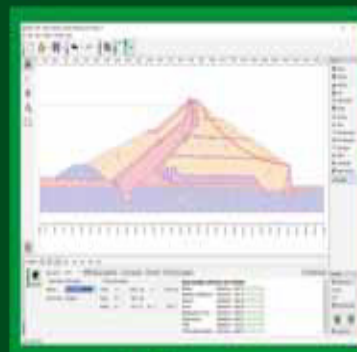
Túneis e Poços



Estudos
geológicos



Muros e
Gabiões



AVALIE GRATUITAMENTE

Solicite: comercial@solucoescad.com.br

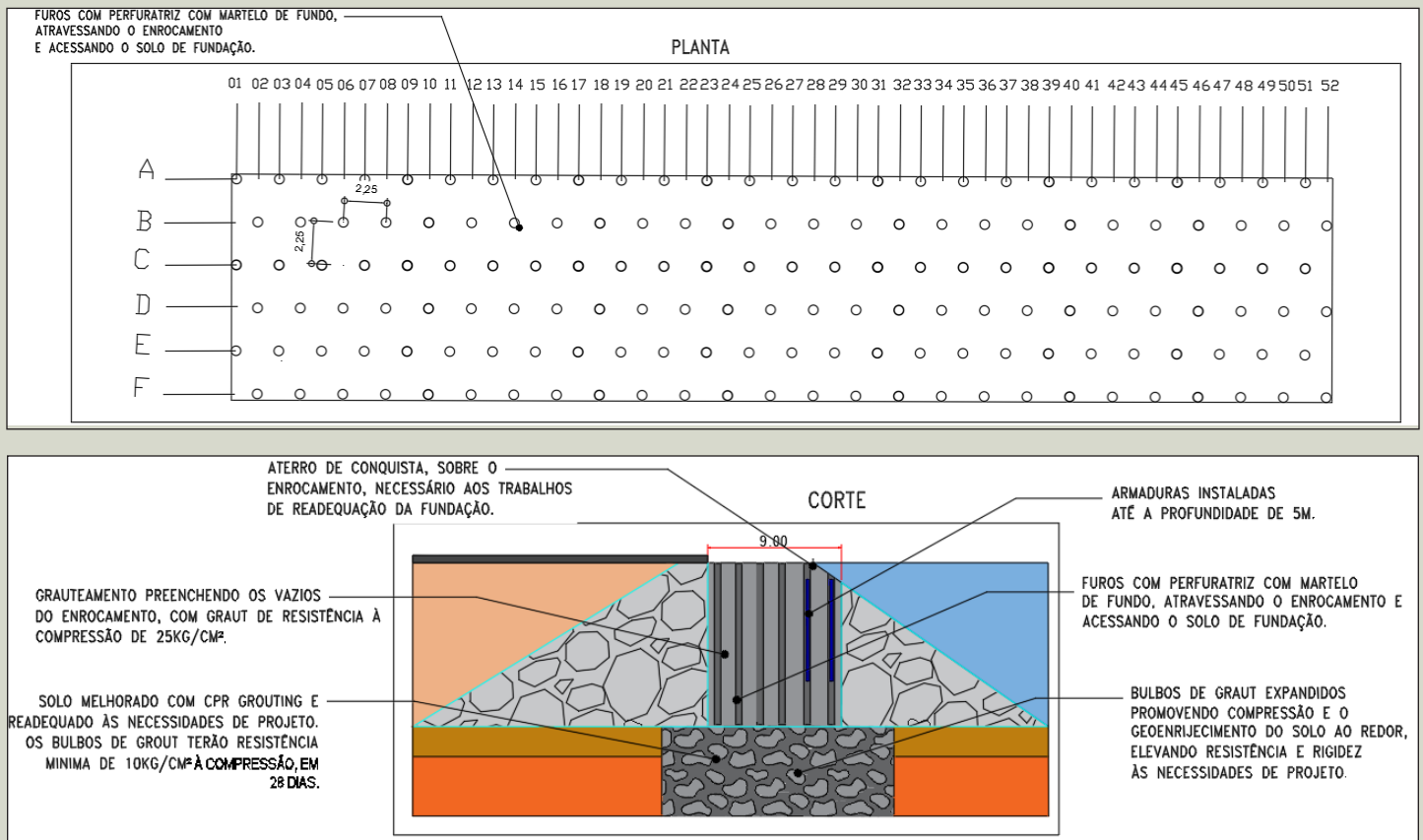
Distribuido por:

SOLUÇÕES CAD
BIM

www.solucoescad.com.br



SUGESTÃO DE SOLUÇÃO DE MELHORAMENTO GEOTÉCNICO PARA RECEBER ATERRO SOBRE ENROCAMENTO, NECESSÁRIO PARA AMPLIAÇÃO DE INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA.



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

ou cinzenta. Para torná-lo rijo faça

MELHORAMENTO DE SOLO

Solicite informações
www.softsoilbrazilianreview.com.br

Fig. 2 - Melhoria do solo de fundação, com CPR Grouting, seguido da execução de muro em gabião em área portuária.



convencionais, esta abordagem mostrou-se suficiente para atender às solicitações impostas pelas pistas de pouso, pátios e taxiways. Entretanto, projetos atuais apresentam características bastante distintas. Ampliações deixam de ocorrer em áreas virgens e passam a ser executadas sobre estruturas existentes, muitas vezes construídas há várias décadas, cujo comportamento geotécnico já encontra-se estabilizado sob um determinado estado de tensões. Nesta condição, qualquer nova intervenção modifica esse equilíbrio originalmente estabelecido. A implantação de contenções, ampliação de plataformas operacionais, a readequação de faixas de

segurança e a construção de novas estruturas passam a introduzir redistribuições de tensões capazes de alterar significativamente o comportamento do aterro existente. O problema torna-se ainda mais complexo quando estruturas são constituídas por aterros apoiados sobre antigos enrocamentos que, embora apresentem capacidade resistente, sua natureza altamente permeável e a existência de vazios entre blocos, dificultam o controle hidráulico e reduzem a eficiência de diversas técnicas tradicionais de tratamento do terreno. Abaixo do enrocamento, é comum a presença de sedimentos naturais de baixa rigidez e elevada compressibilidade,

que passam a concentrar parte importante das deformações induzidas pelas novas cargas. Como consequência, o comportamento global da fundação deixa de depender exclusivamente da resistência dos materiais e passa a ser governado, principalmente, pela compatibilidade de deformações entre enrocamento, sedimentos subjacentes e as novas estruturas implantadas. Esta mudança de paradigma representa uma das maiores evoluções da engenharia geotécnica nas últimas décadas. Em vez de considerar separadamente cada material que compõe o maciço, passa-se a analisar o sistema como um conjunto integrado, no qual resistência, rigidez e comportamento hidráulico precisam atuar de forma complementar. Sob esta ótica, o conceito moderno de melhoria do terreno deixa de ser simplesmente o aumento da resistência ao cisalhamento. O objetivo passa a ser a construção de um maciço geotecnicamente homogêneo, capaz de distribuir tensões de maneira mais uniforme, limitar deformações diferenciais, controlar o fluxo de água e proporcionar condições adequadas para o desempenho estrutural das novas obras. É justamente neste cenário que existe a solução de geoenrijecimento, baseada na atuação simultânea sobre diferentes componentes do maciço. Em vez de tratar isoladamente o enrocamento ou os sedimentos de fundação, a solução promove a integração entre o melhoramento hidráulico e o melhoramento mecânico, permitindo que materiais originalmente distintos passem a trabalhar como um único sistema geotécnico. A crescente demanda por ampliações e readequações de infraestruturas aeroportuárias, em áreas costeiras, vem im-



solotest.com.br



**GERAL
& LABORATÓRIO**

pondo desafios que dificilmente podem ser solucionados por abordagens geotécnicas convencionais. A elevada heterogeneidade dos maciços, a coexistência de enrocamentos, aterros antigos e sedimentos compressíveis, associadas às severas restrições de deformação, impostas pela operação aeroportuária, exigem soluções capazes de atuar simultaneamente sobre diferentes mecanismos de

comportamento do terreno. Neste contexto, o conceito do geoenrijecimento integrado representa evolução importante da engenharia de fundações e do melhoramento do solo. Em vez de concentrar esforços apenas no aumento da resistência do maciço, esta abordagem busca modificar seu comportamento global, promovendo a redistribuição mais eficiente das tensões, reduzindo deformações, controlando o

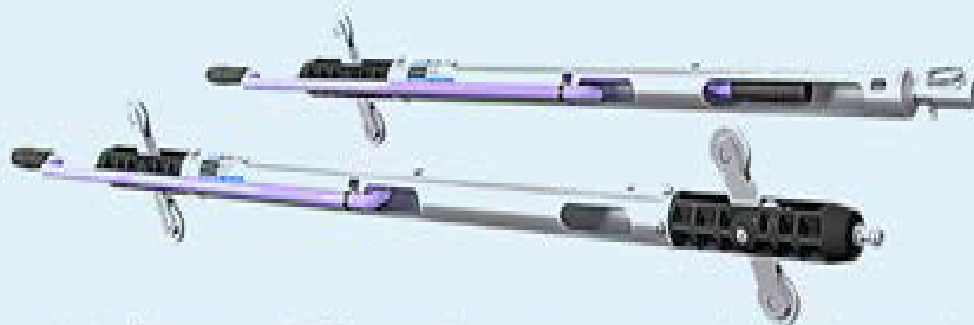
fluxo de água e proporcionando maior uniformidade mecânica ao conjunto da fundação. A integração entre técnicas de tratamento hidráulico do enrocamento e a técnica do geoenrijecimento dos sedimentos subjacentes, permite que materiais originalmente distintos passem a atuar de forma compatível, reduzindo concentrações de tensões e elevando significativamente a estabilidade do

GEOKON

TRUSTED MEASUREMENTS®

EQUIPAMENTOS GEOTÉCNICOS

Conheça nosso moderníssimo inclinômetro M6180 que possibilita automação e leitura em tempo real



O moderníssimo inclinômetro M 6180, caracteriza-se por segmentos individuais, mecanicamente conectados com juntas estilo "bola-soquete", interligadas eletricamente com conectores à prova d'água em um único cabo, tornando o conjunto extremamente leve e compacto, o que torna fácil e rápida sua instalação. Consequentemente, seu custo tornou-se muito atrativo. O modelo M 6180 juntamente com nosso sistema de compartilhamento de dados, sem fio, da série GeoNet torna-se, portanto, a solução mais moderna de monitoramento para deslocamentos horizontais.

Conheça hoje mesmo esta moderníssima tecnologia (com preço atrativo)

Representante exclusivo no Brasil: **G5 Engenharia LTDA**

Contato: (41) 3402-1707/ comercial@g5engenharia.com.br / g5engenharia.com.br



Image courtesy of Adviseurs in Bouwtechniek (ABT)

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



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

PLAXIS: Simulating Soil Lab Tests

www.bentley.com

Dear User,

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

The agenda for the one-hour session encompasses:

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

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

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

sistema como um todo. Trata-se de uma mudança de conceito, onde o projeto deixa de considerar apenas elementos isolados e passa a tratar o maciço como um sistema geotécnico integrado. Mais do que uma alternativa executiva, esta filosofia amplia o campo de aplicação da técnica de melhoramento do solo em obras de infraestrutura crítica, oferecendo solução adaptável a ambientes onde recalques diferenciais, deslocamentos horizontais e variações hidráulicas devem permanecer dentro de limites extremamente re-

duzidos. À medida que aeroportos, portos, terminais logísticos e outras infraestruturas costeiras necessitem de ampliações sem interrupção de suas operações, cresce a importância do método capaz de requalificar o terreno existente, preservando estruturas implantadas e reduzindo a necessidade de intervenções profundas e de elevado impacto construtivo. É provável que essa seja uma das principais tendências da geotécnica nas próximas décadas: não executar colunas no terreno existente, mas compreender seu com-

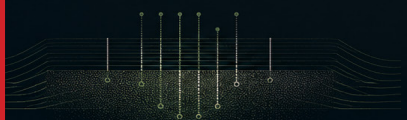
portamento e modificá-lo de forma controlada, tornando-o compatível com as novas exigências estruturais e operacionais. O futuro do melhoramento dos solos não está em construir fundações cada vez mais robustas, mas em compreender o comportamento do maciço existente e modificar, de forma controlada, seu estado de tensões, sua rigidez e sua resposta hidráulica, permitindo que o próprio terreno passe a desempenhar o papel estrutural para o qual antes se recorria exclusivamente às fundações profundas.

REFERÊNCIAS

- Garcia, V. M.; Robinson, W. J.; Tseng, E.; Tingle, J. S. (2024). Full-Scale Evaluation of Airfield Pavement Runway Reconstruction with Full-Depth Reclamation Technique. Transportation Research Record. Estudo em escala real sobre reabilitação estrutural de pavimentos aeroportuários.
- Li, J.; Li, F.; Zhang, Y.; Chu, C.; Chen, K. (2026). Research on Reinforcement Treatment of Thick Rockfill in Reclaimed Airport Foundations. Hydraulic and Civil Engineering Technology X. Trabalho extremamente pertinente sobre reforço de fundações aeroportuárias construídas sobre grandes espessuras de enrocamento em áreas aterradas.
- Numerical Analysis of a Monitored Piled-Supported Embankment of an Airport Runway. Transportation Geotechnics, 2024. Estudo numérico e monitoramento de aterro aeroportuário apoiado em colunas de DSM.
- Hou, B. et al. (2025). Field Experimental Study on Ground Treatment of High Fill Embankments over Expansive Soils. Scientific Reports, 15, 30621. Apresenta monitoramento de campo de aterros elevados e técnicas de melhoramento.
- Dynamic Prediction Method for Ground Settlement of Reclaimed Airports Based on Grey System Theory. Buildings, 2025. Modelagem preditiva de recalques em aeroportos implantados sobre áreas aterradas.
- Investigation into the Working Behavior of Geotextile Pipe-Bag Systems on Soft Soil Foundations in the Ningde Port Industrial Zone. Water (MDPI), 2025. Referência importante para obras costeiras e portuárias sobre solos moles.
- Mridakh, A. H. et al. (2025). Numerical Analysis of Time-Dependent Behavior of an Embankment on PVD-Installed Seabed Soft Soils. Frontiers in Built Environment. Excelente referência sobre recalques, adensamento e monitoramento em solos moles tratados com drenos verticais.
- Jones, M.; Huang, S.; Kelly, R.; Huang, J. (2026). Review of Statistical Back Analysis Methods for Road Embankments Built on Soft Clay Soils. Intelligent Transportation Infrastructure. Revisão moderna sobre retroanálise e monitoramento de aterros em solos moles.
- Bathe, A.; McCabe, W. M.; Bryson, L. S. et al. Primary Consolidation Settlement of Embankments Constructed on Young Bay Mud of San Francisco Bay. Estudo clássico aplicado a aterros aeroportuários sobre argilas marinhas extremamente compressíveis.
- Yiu, J. et al. (2024). An Innovative ELS System on Recently Reclaimed Land – Design and Analysis. HKIE Geotechnical Division Annual Seminar. Apresenta soluções de contenção e escavação em terrenos recém-aterrados do projeto da terceira pista do Aeroporto de Hong Kong.

Os melhores empreendimentos raramente escolhem os melhores terrenos.

Quando a localização é indispensável, o solo não pode ser uma limitação.



O CPR Grouting transforma terrenos problemáticos em ativos estratégicos para implantação de empreendimentos logísticos, industriais, portuários e rodoviários.

CONSOLIDA. VIABILIZA. TRANSFORMA.



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

 www.enggegraut.com.br

Uma nova visão sobre *solos moles.*

O livro que está redefinindo
o entendimento do melhoramento
de solos no Brasil.

CONHECIMENTO
QUE TRANSFORMA
O FUTURO DE OBRAS
GEOTÉCNICAS.



SOLICITE AGORA



Eng.º M. Sc. Joaquim Rodrigues
Especialista em solos moles



TÉCNICA, EXPERIÊNCIA
E INOVAÇÃO
A SERVIÇO DA GEOTECNIA.

COMO ESCOLHER A TÉCNICA DE TRATAMENTO DO SOLO EM ÁREAS AEROPORTUÁRIAS SOBRE ARGILAS MOLES

Fig 1 - Obras de infraestrutura em áreas portuárias exigem soluções geotécnicas compatíveis com solos altamente compressíveis, onde fatores como recalques diferenciais, rigidez do maciço, interferência nas operações e velocidade de execução passam a ser tão importantes quanto a resistência do terreno.

ANÁLISE

Eng.^a Patrícia Tinoco

Gáreas aeroportuárias figuram entre os empreendimentos mais exigentes da engenharia geotécnica contemporânea. Diferentemente de aterros rodoviários ou plataformas industriais convencionais, pistas de pouso, taxiways, pátios de aeronaves e terminais operam sob critérios extremamente rigorosos de desempenho, nos quais pequenas deformações podem comprometer a segurança operacional, aumentar os custos de manutenção e reduzir a disponibilidade da infraestrutura. Em muitas regiões costeiras do mundo, estes empreendimentos são implantados sobre espessos depósitos de argilas marinhas muito moles. Nestas condições, a escolha da técnica de melhoramento do terreno torna-se uma das decisões mais importantes do projeto,

influenciando diretamente os prazos de execução, o investimento necessário, o impacto ambiental e o comportamento da infraestrutura ao longo de décadas de operação. Durante muitos anos, esta escolha baseou-se principalmente na experiência do projetista e na comparação entre custos imediatos. Entretanto, a literatura internacional publicada

entre 2025 e 2026 demonstra uma mudança significativa de paradigma, onde a seleção da solução mais adequada, passou a considerar um conjunto muito mais amplo de critérios, incorporando aspectos relacionados ao desempenho, à sustentabilidade, ao monitoramento, à modelagem numérica e à gestão de riscos. A questão deixou de ser sim-



Fig 2 - Melhoramento do solo para ampliação de infraestrutura portuária. A crescente complexidade dessas obras tem levado à combinação de diferentes tecnologias de tratamento, buscando reduzir recalques, aumentar a rigidez do maciço e minimizar impactos sobre as operações aeroportuárias.



plesmente “qual técnica melhora mais o solo?” para tornar-se “qual técnica atende melhor aos requisitos específicos daquela infraestrutura?”. Esta mudança de enfoque representa talvez a maior evolução observada na engenharia do melhoramento do solo mole.

Não existe uma técnica universal

Uma conclusão praticamente consensual, na literatura recente, é que nenhuma técnica pode ser considerada superior em todas as situações. Cada método modifica o terreno por mecanismos distintos e apresenta vantagens específicas em determinadas condições geológicas, construtivas e operacionais. A decisão moderna deixou de ser baseada apenas na comparação entre métodos e passou a considerar a

compatibilidade entre o mecanismo de funcionamento da técnica e os requisitos de desempenho da infraestrutura. Em outras palavras, o melhor método não é aquele que produz a maior resistência, mas a que responde de forma mais eficiente ao objetivo do projeto. Esta mudança de conceito representa uma evolução importante na prática da engenharia geotécnica.

Os novos critérios de seleção

Ao analisar os trabalhos publicados em 2025 e 2026, observa-se que a escolha das técnicas passou a considerar simultaneamente diversos fatores. Entre eles destacam-se:

- **profundidade da camada mole;**
- **resistência não drenada;**
- **deformabilidade do**

terreno;

- **recalque admissível;**
- **prazo disponível para execução;**
- **restrições operacionais do aeroporto;**
- **interferências com a operação das pistas;**
- **emissão de carbono;**
- **consumo de cimento;**
- **possibilidade de monitoramento;**
- **facilidade construtiva;**
- **custo ao longo do ciclo de vida da infraestrutura.**

Como consequência, projetos que anteriormente seriam resolvidos apenas com base em análises de estabilidade, passaram a incorporar estudos multicritério, nos quais aspectos ambientais, econômicos e operacionais possuem peso semelhante aos parâmetros geotécnicos tradicionais.

O desempenho passou a ser o principal critério

Talvez a maior transformação observada na literatura recente seja a substituição da pergunta: “Quanto aumenta a resistência?” por outra muito mais abrangente: “Como a infraestrutura irá se comportar durante toda sua vida útil?” Esta mudança deslocou o foco para indicadores de desempenho como:

- recalque total;
- recalque diferencial;
- deslocamentos horizontais;
- rigidez operacional;
- previsibilidade do comportamento;
- facilidade de monitoramento;
- manutenção futura.

Em áreas aeroportuárias, onde deformações de poucos centímetros podem gerar custos elevados de manutenção e interrupções operacionais, estes parâmetros frequentemente são mais importantes que o próprio ganho de resistência do solo.



Fig 3 - Execução de verticais de melhoramento do solo em infraestrutura costeira. Em áreas aeroportuárias e portuárias, a seleção da técnica deve compatibilizar capacidade de suporte, controle de recalques, interferência nas operações existentes, restrições de espaço e produtividade executiva, garantindo o desempenho geotécnico sem comprometer a continuidade das atividades.

Uma matriz moderna para a escolha da técnica de tratamento.

Durante muitos anos, a escolha da técnica baseou-se quase exclusivamente na experiência acumulada de projetistas e na comparação entre custos de implantação. Em muitos casos, diferentes soluções eram consideradas equivalentes apenas porque conduziam a reduções semelhantes de recalque ou

apresentavam fatores de segurança próximos. Entretanto, a literatura internacional publicada nestes últimos anos, demonstra que essa abordagem tornou-se insuficiente para os atuais empreendimentos aeroportuários. Hoje, a decisão envolve um conjunto muito mais amplo de critérios técnicos, operacionais, ambientais e econômicos, exigindo avaliação integrada do comportamento esperado da infraestrutura ao longo de toda a sua vida útil. Mais importante do que perguntar qual técnica produz maior resistência ou menor recalque, é compreender qual delas oferece a melhor resposta às características específicas do empreendimento. Esta mudança representa uma evolução significativa na engenharia geotécnica. A escolha deixa de ser centrada na técnica e passa a ser centrada no desempenho da infraestrutura.

Os principais critérios atualmente considerados

Projetos modernos normalmente avaliam, simultaneamente, diversos aspectos antes da definição da solu-

Fig. 4 - Execução de verticais de melhoramento do solo em área costeira com subsolo constituído por argilas moles. A seleção da tecnologia deve ser baseada em critérios geotécnicos, estruturais, construtivos, ambientais e operacionais, buscando compatibilizar segurança, produtividade, controle de recalques e desempenho da infraestrutura ao longo de sua vida útil.



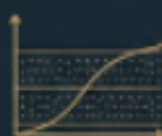
MELHORAMENTO DO SOLO MOLE E O GEOENRIJECIMENTO

A PRINCIPAL REFERÊNCIA SOBRE MELHORAMENTO DE SOLOS MOLES® EM LINGUA PORTUGUESA.

TODO CONHECIMENTO ESSENCIAL QUE O GEOTÉCNICO PRECISA, REUNIDO EM **UM ÚNICO VOLUME.**



CONHECENDO
O SOLO



PROPRIEDADES
GEOTÉCNICAS



ENGENHARIA DOS
SOLOS ARGILOSOS MOLES



MELHORAMENTO
DOS SOLOS



GEOENRIJECIMENTO



AValiação DO
MELHORAMENTO



A PRÁTICA DO
GEOREFORÇO



FUNDAÇÕES
SUPERFICIAIS

Uma obra que reúne propriedades geotécnicas, métodos de investigação, critérios de projeto e técnicas modernas de melhoramento de solos moles, consolidando **décadas de experiência prática e conhecimento científico** em um único volume.

ADQUIRA SEU EXEMPLAR

✉ ofitexto@ofitexto.com.br

✉ atendimento@softsoilgroup.com.br

🌐 www.lojaofitexto.com.br



CONTEÚDO
ATUALIZADO E
ABRANGENTE



LINGUAGEM TÉCNICA
ACESSÍVEL E
DIRETA



APLICAÇÃO PRÁTICA
PARA ENGENHEIROS
E PROJETISTAS



REFERÊNCIA
TÉCNICA EM
PORTUGUÊS



Fig. 5- A presença de espessas camadas de argilas moles em áreas costeiras impõe desafios relacionados à baixa rigidez, elevada compressibilidade e recalques de longo prazo. A escolha da técnica de melhoramento deve compatibilizar desempenho geotécnico, prazo de execução e continuidade das operações da infraestrutura.

ção de tratamento. Entre os critérios mais relevantes destacam-se:

- profundidade e variabilidade da camada mole;
- resistência não drenada inicial;
- deformabilidade do terreno;
- recalque total e diferencial admissíveis;
- prazo disponível para construção;
- possibilidade de manter o aeroporto em operação durante a obra;
- interferências sobre estruturas existentes;
- disponibilidade de equipamentos especializados;
- facilidade de controle executivo;
- possibilidade de monitoramento instrumental;
- consumo de cimento e emissões de carbono;
- custo de implantação;
- custo de manutenção durante a vida útil.

Nenhum destes fatores, isoladamente, determina a escolha da solução. O projeto consiste justamente em

encontrar o melhor equilíbrio entre todos eles.

Comparando mecanismos de funcionamento

Uma das principais contribuições da literatura recente é mostrar que técnicas diferentes podem produ-

zir desempenhos semelhantes utilizando mecanismos completamente distintos. Esta distinção é fundamental para compreender o limite e a potencialidade de cada solução. Esta comparação evidencia que a escolha da técnica não depende apenas do resultado final obtido mas, principalmente, da compatibilidade entre seu mecanismo de funcionamento e os

Técnica	Mecanismo predominante	Principal contribuição	Característica da solução
Pré-carregamento + drenos verticais	Adensamento localizado do solo mole.	Melhoria da resistência e rigidez apenas nas primeiras camadas de solo mole.	Solução 100% geotécnica, porém limitada ao efeito compressivo do aterro. Recalque diferencial.
Coluna de brita	Formação de colunas	Formação de elementos verticais de suporte.	Solução estrutural adaptada. Recalque diferencial entre colunas e solo mole.
Deep Soil Mixing (DSM)	Formação de colunas	Formação de elementos verticais de suporte.	Solução estrutural adaptada. Recalque diferencial entre colunas e solo mole.
Aterro estaqueado	Formação de estacas	Formação de elementos verticais de suporte.	Solução estrutural adaptada. Recalque diferencial entre estacas e solo mole.
Jet Grouting	Formação de colunas.	Formação de elementos verticais de suporte.	Solução estrutural adaptada. Recalque diferencial entre colunas e solo mole.
CPR Grouting	Adensamento total do solo mole.	Melhoria da resistência e rigidez em cada m ³ do solo mole.	Solução 100% geotécnica. Eliminação do recalque diferencial.

requisitos da obra.

O que realmente deve ser comparado?

Tradicionalmente, diferentes técnicas eram comparadas apenas por parâmetros como resistência final ou redução de recalques. Hoje, esta comparação tornou-se muito mais abrangente. O projetista procura responder perguntas como:

- Qual solução proporciona maior previsibilidade de desempenho?
- Qual apresenta menor risco executivo?
- Qual interfere menos na operação do aeroporto?
- Qual exige menor consumo de cimento?
- Qual facilita o monitoramento durante a execução?
- Qual apresenta menor custo ao longo da vida útil?
- Qual oferece maior flexibilidade diante das variações geológicas do terreno?

Esta mudança de enfoque aproxima a engenharia geotécnica da engenharia de desempenho, na qual o sucesso do projeto é medido não apenas pela estabilidade alcançada, mas pela capacidade de manter a infraestrutura operando de forma segura, contínua e economicamente eficiente.

O futuro aponta para soluções híbridas

Uma conclusão recorrente nos principais trabalhos publicados em 2025 e 2026 é que dificilmente uma única técnica atenderá, isoladamente, às exigências impostas pelas futuras infraestruturas aeroportuárias. Observa-se uma tendência crescente para a combinação de diferentes métodos de tratamento, aproveitando vantagens específicas de cada um. Sistemas híbridos que asso-

ciam adensamento total, controle de deformações, aumento localizado/ amplo de rigidez e monitoramento instrumental vêm demonstrando desempenho superior ao das soluções convencionais aplicadas isoladamente. Esta abordagem permite adaptar o tratamento às variações geológicas existentes ao longo da área de implantação, reduzindo incertezas e aumentando a previsibilidade do comportamento da infraestrutura. Mais do que combinar tecnologias, estes sistemas representam uma nova filosofia de projeto, baseada na integração entre investigação geotécnica, modelagem numérica, instrumentação de campo e execução controlada. Ao analisar a evolução recente da engenharia do tratamento de solos moles, torna-se evidente que a escolha da técnica mais adequada deixou de ser uma simples comparação entre métodos construtivos. O foco passou a ser o desempenho global da infraestrutura, considerando segurança, deformabilidade, sustentabilidade, prazo executivo e comportamento ao longo de toda a vida útil da obra. Em infraestruturas aeroportuárias, onde pequenas deformações podem comprometer a operação e gerar elevados custos de manutenção, essa mudança de paradigma torna-se ainda mais relevante. A tendência observada internacionalmente aponta para projetos baseados em soluções híbridas, modelagem numérica calibrada por monitoramento de campo e critérios multicritério de seleção, capazes de integrar aspectos geotécnicos, ambientais e operacionais. Neste contexto, o sucesso de um projeto não depende da adoção de uma tecnologia específica, mas da capacidade de compreender o mecanismo de funcionamento de cada técnica e aplicá-la de forma compatível com as condições geológicas e os requisitos de desempenho da infraestrutura.

GEOKON

TRUSTED MEASUREMENTS®

EQUIPAMENTOS GEOTÉCNICOS

Conheça nosso moderníssimo inclinômetro M6180 que possibilita automação e leitura em tempo real



O moderníssimo inclinômetro M6180, caracteriza-se por segmentos individuais, mecanicamente conectados com juntas estilo "bola-soquete", interligadas eletricamente com conectores à prova d'água em um único cabo, tornando o conjunto extremamente leve e compacto, o que torna fácil e rápida sua instalação. Consequentemente, seu custo tornou-se muito atrativo. O modelo M6180 juntamente com nosso sistema de compartilhamento de dados, sem fio, da série GeoNet torna-se, portanto, a solução mais moderna de monitoramento para deslocamentos horizontais.

Conheça hoje mesmo esta moderníssima tecnologia (com preço atrativo)

Representante exclusivo no Brasil: **G5 Engenharia LTDA**

Contato: (41) 3402-1707 / contacao@g5engenharia.com.br / g5engenharia.com.br

Matriz comparativa para seleção de técnicas de tratamento em infraestruturas aeroportuárias

A experiência internacional demonstra que não existe uma técnica universal para o tratamento de solos moles em áreas aeroportuárias. A solução mais adequada depende da interação entre a condição geológica do terreno, o requisito de desempenho da infraestrutura, a restrição operacional da obra e o objetivo do empreendimento. Por esta razão, a escolha da tecnologia deve ser conduzida por uma análise multicritério, considerando simultaneamente aspectos geotécnicos, executivos, ambientais e econômicos. O quadro, a seguir, apresenta uma comparação qualitativa entre as principais técnicas atualmente empregadas em grandes obras sobre solos moles. Os conceitos Alto, Médio e Baixo representam a adequação relativa de cada técnica para cada critério, considerando sua aplicação típica em infraestruturas aeroportuárias. A avaliação final deverá sempre ser ajustada às características específicas de cada projeto.

Quadro comparativo do desempenho das técnicas de tratamento do solo mole.

Critério	Pré-carregamento + DVP	Colunas de brita	DSM	Jet Grouting	CPR
Controle do recalque	Média a baixa	Baixo	Baixo	Baixo	Alto
Controle do recalque diferencial	Difícil devido a heterogeneidade do solo mole	Médio a baixo	Médio a baixo	Médio a baixo	Alto
Ganho de rigidez do terreno	Baixo	Médio a baixo	Médio a baixo	Médio a baixo	Alto*
Aceleração da consolidação	Regular dependendo da profundidade do solo mole	Baixo	Baixo ou inexistente	Baixo ou inexistente	Alto
Rapidez de execução	Baixa	Média	Média	Média	Alta
Interferência na operação aeroportuária	Alta	Média	Média	Alta	Baixa
Consumo de cimento	Inexistente	Muito Baixo	Alto	Muito Alto	Baixo
Pegada de carbono	Muito Baixa	Baixa	Alta	Alta	Baixa
Facilidade de monitoramento	Alta	Baixa	Baixa	Baixa	Alta
Adaptação a heterogeneidades do terreno	Média - baixa	Média a baixa	Média a baixa	Média a baixa	Alta
Flexibilidade executiva	Média - baixa	Média	Média	Média	Alta
Custo do ciclo de vida	Baixo	Baixo	Médio	Alto	Baixo/Médio

Antes que a estrutura se mova, os dados já sabem.

A instrumentação geotécnica transforma dados em segurança, permitindo acompanhar em tempo real o comportamento das contenções, do maciço e das estruturas vizinhas.



ANTECIPA RISCOS
Decisões mais seguras.



MONITORAMENTO
contínuo e confiável.



DADOS QUE GERAM VALOR
Valide projetos.
Proteja investimentos.

GEOKON

TRUSTED MEASUREMENTS.
SMARTER DECISIONS.

SOLUÇÕES AVANÇADAS PARA
MONITORAMENTO GEOTÉCNICO

MONITORAR HOJE.
DECIDIR MELHOR AMANHÃ.

Formação em Gestão de Riscos

ALTO

MÉDIO

BAIXO



Gestão de Riscos 1

[CLIQUE AQUI!](#)

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



Gestão de Riscos 2

[CLIQUE AQUI!](#)

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



Gestão de Riscos 3

[CLIQUE AQUI!](#)

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

+1.5k

Alunos Treinados ao longo dos anos.

Prof. Fernando Affonso
Especialista em Riscos

Sobre o Curso

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

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

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



A mudança de paradigma

Comparando-se as diferentes tecnologias, fica evidente que a engenharia geotécnica evoluiu para um novo paradigma. Durante décadas, a escolha da técnica era baseada principalmente na capacidade de aumentar a resistência do terreno. Hoje, o foco deslocou-se para o desempenho global da infraestrutura, considerando deformabilidade, previsibilidade, sustentabilidade, facilidade de monitoramento e custos ao longo da vida útil. Mais importante do que comparar técnicas é compreender os mecanismos pelos quais cada uma modifica o comportamento do maciço. Soluções aparentemente semelhantes em termos de redução do recalque, podem atuar por processos físicos completamente distintos, produzindo respostas diferentes durante a construção e ao longo da operação da infraestrutura. Esta visão explica a crescente adoção de soluções híbridas, nas quais diferentes métodos são combinados para explorar suas vantagens específicas e atender

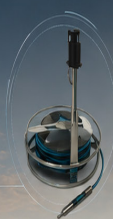
simultaneamente aos requisitos geotécnicos, ambientais e operacionais de cada empreendimento. As três matérias desta edição mostram uma evolução clara na geotecnia do solo mole. A primeira apresentou o estado da arte internacional e as tendências que vêm redefinindo o setor. A segunda demonstra por que as argilas marinhas da Baía de Guanabara constituem um dos mais importantes laboratórios geotécnicos do mundo. Esta terceira matéria, procurou transformar este conhecimento em critérios objetivos para a seleção das técnicas de tratamento. O que se observa é uma mudança definitiva na forma de projetar. O sucesso de uma obra já não depende apenas da estabilidade do terreno, mas da capacidade de prever, monitorar e controlar seu comportamento ao longo de toda a vida útil da infraestrutura. Neste cenário, a integração entre investigação geotécnica, modelagem numérica, instrumentação de campo e métodos de melhoramento deixa de ser uma tendência para tornar-se um requisito fundamental dos projetos contemporâneos.

REFERÊNCIAS

- Patricia Karina Tinoco é engenheira geotécnica. Trabalha com melhoramento de solos moles.
- Kirsch, K. & Bell, A. (2025). Ground Improvement – Modern Methods and Design Practice. CRC Press, Boca Raton.
- Han, J. (2024). Principles and Practice of Ground Improvement. 2nd Edition. Wiley.
- International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering – ISSMGE (2025). Technical Committee TC211 – Ground Improvement: State-of-the-Art Report.
- Síntese internacional das tecnologias e recomendações mais recentes.
- Federal Aviation Administration – FAA (2023). Advisory Circular AC 150/5320 – Airport Pavement Design and Evaluation.
- ICAO – International Civil Aviation Organization (2024). Aerodrome Design Manual – Part 3: Pavements.
- PIANC (2024). Guidelines for Ground Improvement in Port and Coastal Infrastructure.
- ASCE Geo-Institute (2025). Ground Improvement for Transportation Infrastructure.
- EuroSoilStab Consortium. (2023). Design Guide – Soft Soil Stabilisation.
- FHWA – Federal Highway Administration (2024). Ground Improvement Methods Reference Manual.
- Bergado, D. T., Long, P. V. & Balasubramaniam, A. S. (2022). Soft Ground Improvement in Lowland and Other Environments. ASCE Press.
- Indraratna, B., Rujikiatkamjorn, C. & Chu, J. (2023). Ground Improvement Case Histories. Elsevier.
- Terzaghi, K., Peck, R. B. & Mesri, G. (1996). Soil Mechanics in Engineering Practice. 3rd Edition. Wiley.

O que acontece sob a superfície define o sucesso da obra.

O Perfilômetro fornece medições precisas de recalques e deslocamentos em aterros, barragens, reservatórios, rodovias e fundações, permitindo decisões mais seguras ao longo de toda a vida útil da obra.



PERFILÔMETRO
Precisão para medir recalques e deslocamentos com confiabilidade e inteligência.



MONITORAR HOJE.
DECIDIR MELHOR. CONSTRUIR O FUTURO.



PRECISÃO



INTELIGÊNCIA



SEGURANÇA

Soft Soil
Group

Conheça nossas
soluções de
monitoramento
geotécnico.

www.softsoilgroup.com.br



INSTITUTO
BRASILEIRO
DO SOLO MOLE

Instituto Brasileiro do Solo Mole

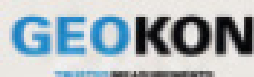
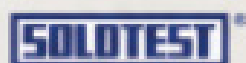
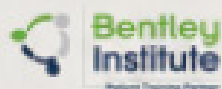
CONHECIMENTO GEOTÉCNICO

APLICADO AOS DESAFIOS DO SOLO MOLE

O Instituto Brasileiro do Solo Mole reúne conhecimento técnico, experiência prática e inovação para apoiar profissionais e empresas na compreensão e solução dos desafios geotécnicos associados aos solos moles.



PARCEIROS



www.ibsm.org.br