

Soft Soil Brazilian Review

03

Aterros rodoviários com recalques. Recomendações para diagnóstico e correção.

24

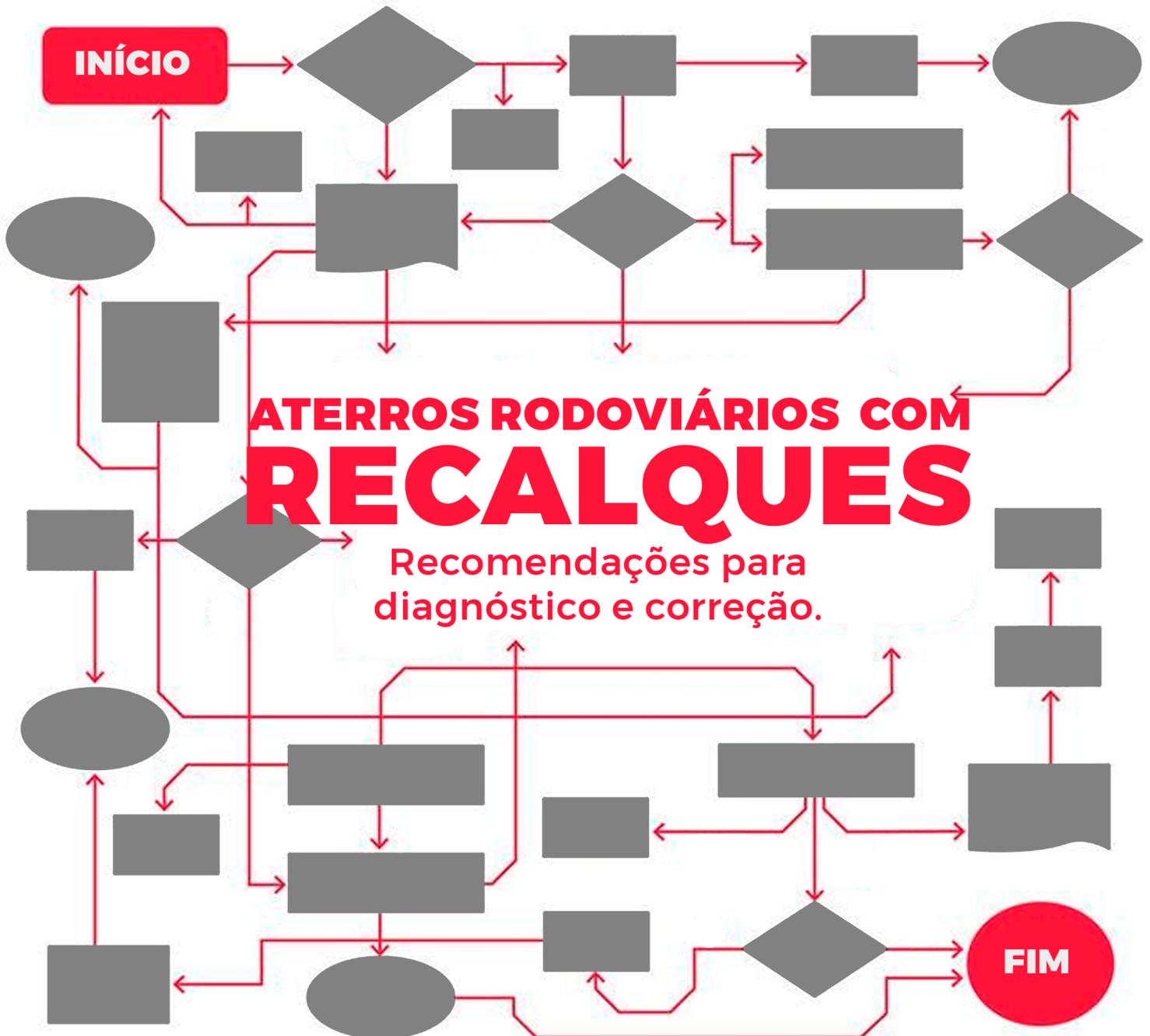
Evolução de patologias em aterros estradais. A sensibilidade do aterro e o pré-diagnóstico.

31

A técnica de investigação e monitoramento de aterros estradais com problemas.

17 - CONSULTA

Trabalho com rodovias e obras de arte. Gostaria de saber mais sobre a interação solo-estrutura junto a encontros de pontes e viadutos, já que é onde se concentra a maioria das patologias em nossas estradas.





SOFT SOIL
BRAZILIAN
INSTITUTE

PROGRAMA

03

Aterros rodoviários com recalques. Recomendações para diagnóstico e correção.

24

Evolução de patologias em aterros estradais. A sensibilidade do aterro e o pré-diagnóstico.

31

A técnica de investigação e monitoramento de aterros estradais com problemas.

Editorial

Determinados desempenhos de aterros prejudicam sua performance, seja a curto ou longo prazo, promovendo patologias que podem chegar a rutura. O órgão estradal responsável, publico ou privado, deve rastrear, diagnosticar e priorizar patologias inerentes ao mal funcionamento do aterro estradal, propondo medidas de manutenção e recuperação eficazes e, claro, pouco custosas. Objetivando apoiar este processo, esta edição da SSBi oferece um conjunto de recomendações para o diagnóstico, manutenção e recuperação de aterros rodoviários, incluindo-se aterros de encontro, aterros de portos fluviais, etc. Trata-se de um trabalho inte-

ressante e inédito, já que é resultado da experiencia dos editores, em mais de 30 anos de atividades nesta área. As informações contidas, nas três matérias apresentadas, objetivam ajudar o gestor estradal, tanto para serviços de recuperação pontuais, como para aqueles casos que exijam monitoramento de patologias em longos prazos. Como é importante ter uma ideia clara e precisa, do objeto que vamos diagnosticar, a primeira matéria descreve a estrutura dos aterros e sua profundidade. Nas duas matérias seguintes, define-se os diferentes tipos de problemas, sua evolução e origens, finalizando com as técnicas de manutenção e recuperação.

Boa leitura.

Seções

02 Editorial

17 Consulta

9 Agenda

Capa

Considerando todas as questões levantadas e que a inspeção no trecho estradal não revele patologias importantes, determinadas questões e fatores poderão ser relevantes, tanto para o prazo dos serviços quanto para o desenvolvimento de patologias maiores.



ATERROS RODOVIÁRIOS COM RECALQUES

RECOMENDAÇÕES PARA DIAGNOSTICO E CORREÇÃO.



Joaquim Rodrigues

Fig. 1 - Aterros da rodovia Raposo Tavares, com processo de recalque crescente, sob uma galeria de passagem de gado, devido ao comprometimento das camadas do sub-leito devido a percolação d'água apartir da superfície. Serviços de melhoramento do solo, através da galeria, de modo a não comprometer a rodovia. Interrompeu o recalque e corrigiu a depressão no pavimento. Observe que os anéis da galeria sofrem recalques diferenciais.

Aterros são obras comuns e perdem-se no tempo, seja para construções lineares, como redes rodoviárias e ferroviárias, realização de acessos a obras de arte e a vales, na construção de diques de contenção, irrigação, controle de cheias, barragens e, claro, aterrando para a construção de empreendimentos, particularmente, aeroportos, portos e áreas logísticas. Mas a realidade

é que, cada vez mais, torna-se raro áreas com terrenos firmes ou que não tenham solos compressíveis. Zonas de elevada densidade populacional coincidem com regiões costeiras ou deltaicas, cobertas por depósitos recentes de argilas e siltes compressíveis. Apesar da longa e volumosa experiência brasileira, associada a este tipo de obra, a construção de aterros sobre solos compressíveis continua em escala crescente e, invariavelmente, acompanhado



Figura 2 -Rutura de aterro, ao longo do rio negro, em Manaus, AM, construído sobre solo argiloso/ siltoso mole. A utilização de colunas, como jet grouting, não suporta o enorme empuxo horizontal, causado pela poropressão quando da vazante do rio. A solução é a consolidação efetiva do solo de fundação.

de surgência de enormes problemas e prejuízos, na medida em que escolhe-se soluções que não privilegiam a consolidação efetiva desses solos, seja pela ausência do melhoramento do solo, seja utilizando-se colunas ou estaqueamento para servir de base a elevação de aterros. A maioria dos problemas não está concentrado na questão da estabilidade das obras realizadas, mas na inquisição das deformações que ocorrem através do tempo, exatamente pelo efeito do longo processo de consolidação não considerado; Sistemáticamente, os grandes vilões deste complexo processo de elevação de aterros sobre solos compressíveis, continua a ocorrer pesadamente na construção de estradas, devido a diversificada ordem de tensões aplicadas, no solo de fundação, ao longo de quilômetros, suficientes para causar grandes deformações, da ordem de metros, como recalques absolutos e diferenciais, desnivelamentos laterais, devido a heterogeneidade do solo mole de fundação e a não uniformidade dos carregamentos (pesos dos aterros). No setor logístico, que mais cresce no país, caracterizado pela construção horizontal de grandes áreas, com cargas quase insignificantes, da ordem de 5 toneladas por metro quadrado, ainda se utiliza, com alguma frequência, soluções de “melhoramento de solos” a base de colunas de solo cimento, brita ou mesmo estacas para suportar aterros! O que ocorre é que o recalque do solo, devido a carga do aterro, resulta no desenvolvimento de forças significativas de atrito negativo nas colunas/ estacas, as vezes até superiores à sua carga útil, promovendo um enorme problema no empre-

endimento.

A interação entre aterros antigos e novos, particularmente na ampliação de estradas (edição 31) é uma outra questão, que desencadeia enormes problemas e prejuízos, na medida em que promovem trinças ao longo da intercessão do aterro novo com o antigo, além de deslocamentos laterais e recalques diferenciais, difíceis de serem resolvidos.

Metodologia para um diagnóstico



Figura 3 - Depressão na rodovia, devido a diferentes características de solos (zona de corte/ aterro), o que exige melhoramento do solo para homogeneizar ambos os lados.

A origem do conteúdo objetivando-se um guia metodológico para diagnóstico de patologias em aterros estradais, advém de algumas constatações:

- Os aterros estradais envelheceram, principalmente os construídos entre 1980 e 1990, significando um aumento de problemas para os próximos anos, particularmente pela evolução climática que estamos observando.

- A surgência ou o agravamento de patologias em nossas estradas, exigem um custo de manutenção adicional, destinado a garantir níveis de soluções aceitáveis para o usuário ou, simplesmente, para restaurar a segurança.

- Torna-se necessário es-

tabelecer uma metodologia para diagnosticar aterros estradais.

- Propor a otimização da manutenção de aterros estradais, objetivando-se sua correta avaliação.

- Promover um levantamento técnico específico, advindo da presença de solos moles, inclusive em encontros de pontes e viadutos, permitindo as secretarias de obras (gestor), otimizar as estratégias de recuperação.

- O escopo do levantamento concentra-se nas patologias pertinentes aos principais problemas que ocorrem em aterros, sobre solos moles e a séria

questão comum de diagnósticos completamente inespecíficas e até equivocados, principalmente pelo fato de que secretarias de obras municipal e estaduais, invariavelmente, consultam especialistas que não são engenheiros geotécnicos, com conhecimento de melhoramento de solos moles. Isto por que é necessário ter



Figura 4 - Instabilidade no talude gerou rutura com parede quase vertical. A origem foram fissuras longitudinais ao longo do acostamento.



SOLO MOLE NO SEU PROJETO?

NÃO TRABALHE COM TÉCNICAS
ALTERNATIVAS OU ADAPTADAS

FAÇA MELHORAMENTO DE SOLO

MELHORAMENTO DE SOLOS MOLES É
GEOENRIJECIMENTO*

**100% TEORIA DO ADENSAMENTO DA ARGILA*

 facebook.com/engegraut

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

 www.engegraut.com.br

VISITE NOSSO SITE: WWW.ENEGRAUT.COM.BR

uma ideia precisa do objeto que vamos diagnosticar e a consolidação do solo mole.

- Este estudo resume 25 anos de experiência na área de melhoramento de solos moles, para a construção de aterros estradais e sua recuperação, quando motivada principalmente, por recalques e ruturas.

Diagnóstico de um aterro estradal

Basicamente temos, em primeiro lugar, aterros comuns, que garantem a geometria dos projetos de estradas, adequando a necessidade do projetista, além de suportar a estrutura da rodovia. Em segundo lugar, há os aterros adjacentes as obras de arte, onde tem a função essencial de assegurar um determinado nível de rigidez no solo de fundação e, a partir daí, promover-se-á construção do aterro de encontro para pontes e viadutos, etc. E, por fim, específicos como os aterros para diques, que funcionam inclusive para estradas, ferrovias, etc...

O corpo do aterro

O funcionamento do corpo do aterro, que inclui sua estabilidade deve-se:

- As características mecânicas do material que o construiu, em particular sua resistência ao cisalhamento que, por sinal, é dependente da condição de sua execução, como compactação (tridimensionamente) heterogênea), da condição meteorológica durante a obra, etc
- À sua geometria

O estudo inicial da estabilidade interna de um aterro deve incluir condições que, a longo prazo, possam afetar seu corpo, não propriamente conduzindo-o à rutura, mas a ocorrência de deformações, que podem chegar a

níveis inaceitáveis para a condição operacional. O corpo do aterro pode apresentar deformações localizadas ou generalizadas, resultado da falta de compactação apropriada e/ou devido a evolução do comportamento do material utilizado. O talude do aterro poderá apresentar um início de rutura global ou local, impondo risco significativo, na medida em que possa comprometer sua capacidade de serviço, ou mesmo afetar a segurança dos usuários, caso a rutura seja repentina, geralmente associando:

- Características mecânicas insuficientes dos materiais que constituem o aterro, no que diz respeito a sua geometria, ou seja, o solo torna-se mole, se houver falta de compactação, presença de camada de solo medíocre., etc...
- Condições hídricas, em particular as redes de fluxos parasitas, no interior do aterro (por exemplo devido a defeitos na rede de saneamento superficial



Figura 5 - Processo de erosão no talude do aterro.

ou dispositivo de drenagem) ou a presença de fortes contrastes de permeabilidade, susceptíveis de favorecer a surgência de excessos de poropressão, crítico para a estabilidade geral.

- Deformações provocadas por uma sucessão de processos de retração/ expansão do solo argiloso que compõe o aterro. Este movimento é a combinação de dois fenômenos com diferentes direções, provocando gradientes de deformação ao nível do talude, com desenvolvimentos refletidos de maneira gradual até a plataforma gerando, em prazos longos, rotação da crista do talude, e uma flexão geral acompanhada de trincas longitudinais. Não há uma superfície cisalhante preferencial ao longo da profundidade do aterro. Este fenômeno é particularmente sensível para bordas de aterros mal compactados e com geometrias que favoreçam ciclos de retração/ expansão (acostamentos muito largos, etc...). Observa-se, também, que podem ocorrer fenômenos de fissuração no talude ou em bermas devido a processos de retração de materiais argilosos em períodos de sol intenso. Evidentemente, a

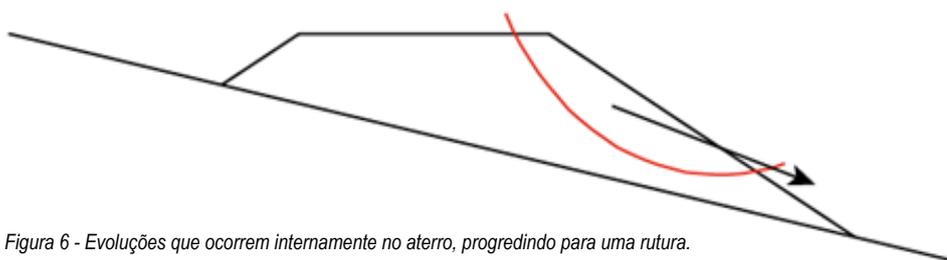


Figura 6 - Evoluções que ocorrem internamente no aterro, progredindo para uma rutura.

surgência destas fissuras favorece a infiltração de água da chuva.

O solo suporte de fundação

É aqui que mora o perigo. Dever-se-á examinar vários aspectos pertinentes ao solo de fundação e, particularmente, a presença de camadas moles. Os aspectos são:

- O solo de fundação começa a deformar pelo peso do aterro, particularmente devido a presença de camadas moles. A evolução de processos de recalques impostos está, essencialmente, ligada ao desequilíbrio das poropressões (fenômeno da consolidação). A



Figura 8 - Comportamento do sub-leito e o comprometimento de postes.

amplitude e a duração do processo de recalque é avaliado durante o estudo prévio, dando origem a necessidade do melhoramento efetivo com geoenrijecimento. A opção por precarregamento é extremamente limitada a pequenas profundidades (5 a 7mts de solos moles) e, quase que invariavelmente, o processo de consolidação não termina, provocando recalques, principalmente devido ao componente da fluência.

- O melhoramento efetivo do solo mole, elimina qualquer possibilidade de limitação da altura máxima do aterro. Técnicas alternativas (paliativas) além de perigosas, limitam enormemente a altura máxima do aterro.

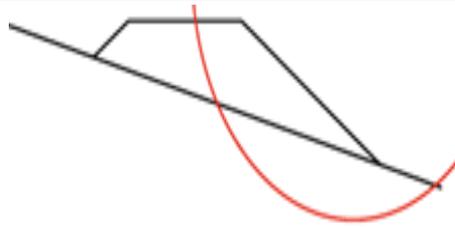


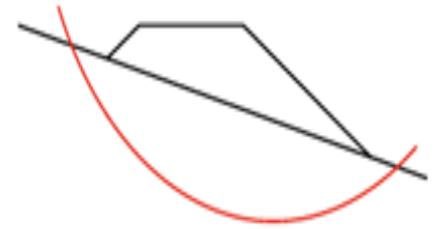
Figura 7 - A) Exemplo de rutura associada ao aterro e ao solo de fundação. Geralmente começando com fissuras em arcp.

- A estabilidade a deslizamentos, particularmente a superfícies de rutura que atravessam o aterro e/ou o solo de fundação, não descartando a rutura global da obra. Estes problemas são igualmente susceptíveis de ocorrer, quando o aterro apoia-se sobre uma inclinação natural, com presença de camadas de solo de baixa resistência mecânica. Daí a necessidade de se estudar a possi-

bilidade de surgência de superfícies de cisalhamento abrangendo todo o aterro, ou parte, verificando se os coeficientes de segurança são aten-

didados. O cálculo concentra-se, assim, em verificar se as cargas do aterro rompem ou não o solo suporte em equilíbrio. Quando ocorre um processo de rutura de aterro, muito tempo após a sua construção, geralmente associasse a utilização de técnicas de “melhoramento do solo” alternativas inespecíficas, ou a variação do lençol freático/ circulações de água temporárias e até interseções antrópicas que põe em perigo o equilíbrio existente.

- Quase que invariavelmente, o processo de recalque está ligado ao processo de consolidação do solo suporte, fazendo com que o sistema deformativo seja amortecido ao longo do tempo, com velocidade dependente da



A) Exemplo de grande rutura no local.

permeabilidade do solo e dos dispositivos de drenagem aplicados. O desenvolvimento do processo é mais importante no eixo do aterro do que em suas laterais. As tabelas a seguir, apresentam uma relação de problemas, inerentes à construção de aterros, e que podem ajudar a estabelecer uma análise e um diagnóstico. A codificação adotada é a seguinte:

- As letras representam o conjunto de problemas observados ao nível de uma mesma parte da obra:

Z - Zona de influencia

C - Corpo do aterro

O - Obra em conjunto com o aterro

P - Plataforma

D - Drenagem e saneamento

- Os números representam a numeração dos problemas, sem ordem de importância.

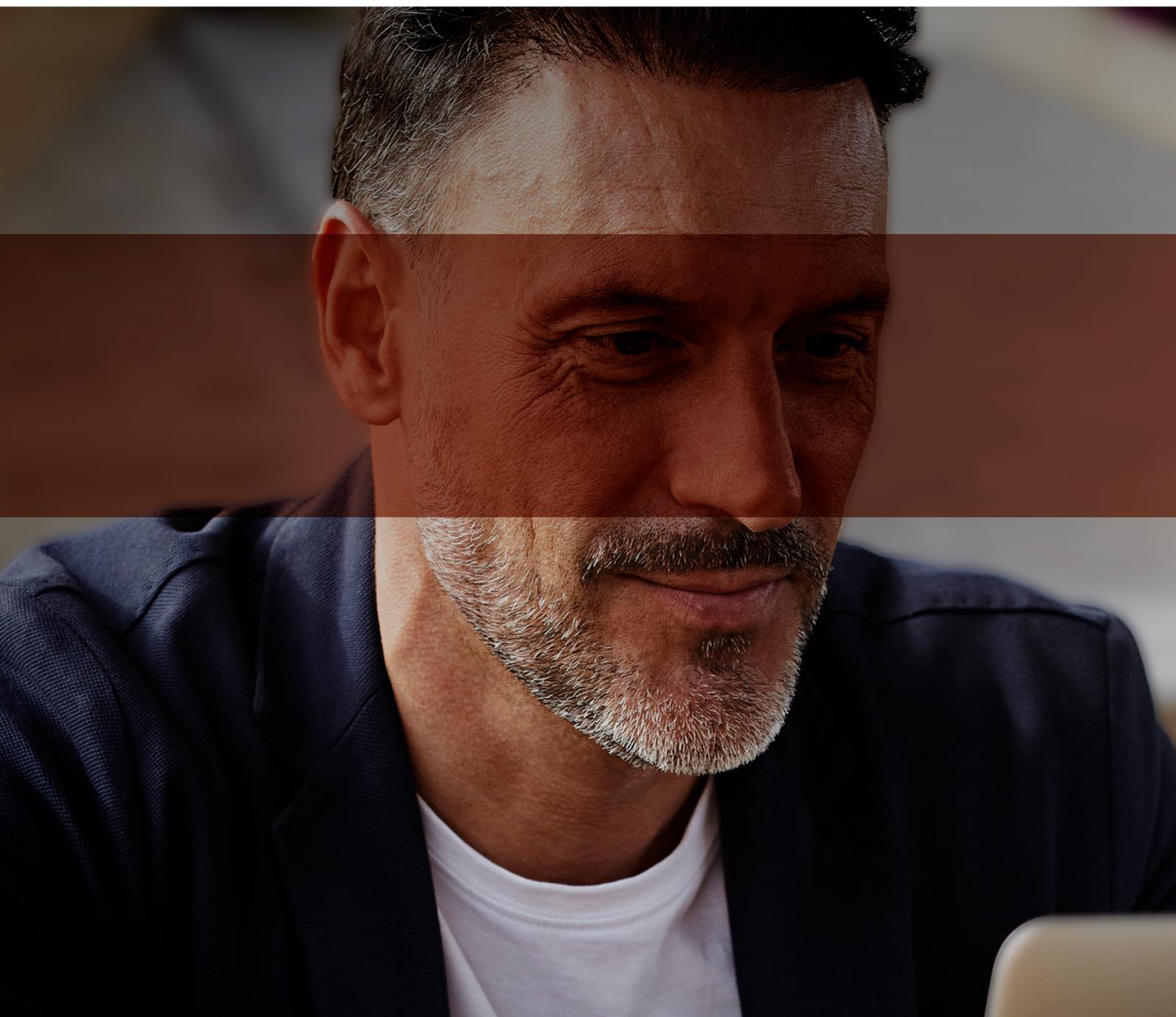
- As partes escuras correspondem aos problemas que podem ser graves ou mesmo críticos.

É importante observar que a natureza evolutiva, dos problemas em uma obra de terra, particularmente suas deformações são, em todos os casos, bastante preocupantes e, na maioria das vezes, um precursor de problemas mais graves. Torna-se, então, necessário tomar medidas rígidas (de 1 a 5 dias), observando-se atentamente a segurança durante a intervenção. Se o aterro inspecionado apresentar instrumentos de monitoramento, como piezômetros, inclinômetros e placas de recalques, é interessante observar e analisar seu estado de funcionamento. Uma campanha de monitoramento, pode e deve ser preparada em paralelo ao diagnóstico observado por aqueles instrumentos.

Nº	PROBLEMAS APARENTES	ORIGENS POSSÍVEIS	CRITÉRIOS INFLUENCIADORES
PROBLEMAS APARENTES AO NÍVEL DO ATERRO E DE SUA ZONA DE INFLUÊNCIA			
71	<ul style="list-style-type: none"> FISSURAÇÃO DO SOLO À MONTANTE, CONSIDERADO SE UM ATERRO APOIADO EM UM TERRENO INCLINADO 	<ul style="list-style-type: none"> CAUSAS PARA DESLIZAMENTOS 	<ul style="list-style-type: none"> CONTINUIDADE, COMPRIMENTO E ABERTURA DAS FISSURAS PRESENÇA E IMPORTANCIA DE CHUVAS FISSURAS NÃO TRATADAS
72	<ul style="list-style-type: none"> SULCOS E DEPRESSÕES 	<ul style="list-style-type: none"> MOVIMENTO GERAL DO MACIÇO POSICIONAMENTO DO SOLO SUPORTE POR INSUFICIÊNCIA DE SUA CAPACIDADE DE CARGA 	<ul style="list-style-type: none"> FENÔMENO LOCALIZADA OU GENERALIZADA
73	<ul style="list-style-type: none"> VEGETAÇÃO IMPORTANTE E TÍPICA DE ZONAS ÚMIDAS 	<ul style="list-style-type: none"> PRESENÇA D'ÁGUA: RUTURA DE CANALIZAÇÃO. PROBLEMA DE SANEAMENTO. MODIFICAÇÃO DO REGIME DO LENÇOL FREÁTICO, ETC. 	<ul style="list-style-type: none"> ESCOAMENTO D'ÁGUA PERSISTENTE ZONA INUNDÁVEL ATERRO COM POUCA ALTURA
74	<ul style="list-style-type: none"> RECALQUE DO TERRENO NATURAL 	<ul style="list-style-type: none"> SOLO DE FUNDAÇÃO COMPRESSÍVEL RUTURA DE CANALIZAÇÃO ENTERRADA COLAPSO DE CAVIDADES SUBTERRÂNEAS (NATURAIS OU ANTRÓPICAS) OU ZONAS ANTIGAS ATERRADAS. 	<ul style="list-style-type: none"> FENÔMENO LOCALIZADO OU GENERALIZADO PRESENÇA DE VAZIOS PRÓXIMO A SUPERFÍCIE OBRAS PRÓXIMAS AO LOCAL
75	<ul style="list-style-type: none"> COLAPSO LOCAL DO TERRENO CIRCUNDANTE 	<ul style="list-style-type: none"> COLAPSO DE CAVIDADES SUBTERRÂNEAS FORMAÇÃO DE CAVIDADES POR MOVIMENTAÇÃO DE FINOS OU DISSOLUÇÃO RUTURA DE CANALIZAÇÃO ENTERRADA 	<ul style="list-style-type: none"> IMPORTANCIA DO COLAPSO SENSIBILIDADE DO SOLO SUPORTE À EROSÃO OBRAS PRÓXIMAS AO LOCAL RUTURA DE CANALIZAÇÃO ENTERRADA



MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
<p>AI in AEC Conference 2024</p> <p>Local: Helsinque, Finlândia</p> <p>Data: 20/03/2024</p>	<p>GEOCENTRO 2024</p> <p>Local: Cuiabá-MT</p> <p>Data: 04/04/2024</p>	<p>GeoAméricas 2024</p> <p>Local: Canadá</p> <p>Data: 28/04/2024</p>	<p>Sondagens - Inovações, Problemas e soluções de sondagens no Brasil</p> <p>Local: Hotel Transamérica, BH</p> <p>Data: 07/06/2024</p>		<p>12º Congresso Luso-Brasileiro e 8as Jornadas Luso-Espanholas de Geotecnia</p> <p>Local: Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)</p> <p>Data: 23/08/2024</p>	<p>GeoenviromMeet 2024</p> <p>Local: Portland, Estados Unidos da América</p> <p>Data: 08/09/2024</p>	<p>5th European Conference on Physical Modelling in Geotechnics</p> <p>Local: Delf, Holanda</p> <p>Data: 02/10/2024</p>	<p>17ª Conferência Pan-Americana de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (PANAMGEO-CHILE2024)</p> <p>Local: La Serena, Chile</p> <p>Data: 12/11/2024</p>	<p>International Conference on Transportation Geotechnics 2024</p> <p>Local: Sydney, Austrália</p> <p>Data: 18/12/2024</p>
<p>Palestra Pelópidas da Silveira</p> <p>Local: Aud. Centro de Tecnologia da UFRN</p> <p>Data: 22/03/2024</p>	<p>Slope Stability Symposium 2024</p> <p>Local: Nova Lima (MG)</p> <p>Data: 15/04/2024</p>	<p>International Foundations Congress & Equipment Expó 2024</p> <p>Local: Dallas, Estados Unidos</p> <p>Data: 07/05/2024</p>	<p>Conferência SuperPile 24</p> <p>Local: São Francisco, Califórnia</p> <p>Data: 12/06/2024</p>		<p>18ª Conferência Europeia de Mecânica de Solos e Engenharia Geotécnica</p> <p>Local: Altice Arena, Lisboa</p> <p>Data: 26/08/2024</p>	<p>Cobramseg 2024</p> <p>Local: Balneário Camboriú, Santa Catarina</p> <p>Data: 24/09/2024</p>		<p>GeoMandu 2024</p> <p>Local: Kathmandu, Nepal</p> <p>Data: 28/11/2024</p>	
<p>Vencedores do Prêmio Sigmundo Golombek da ABEG de 2023</p> <p>Local: Cond. Villa Lobos - São Paulo</p> <p>Data: 27/03/2024</p>	<p>GeoAméricas 2024</p> <p>Local: Canadá</p> <p>Data: 28/04/2024</p>	<p>GEORS 2024</p> <p>Local: Centro Integrado de Desenvolvimento Costeiro e Oceânico do Sul (CIDECSul)</p> <p>Data: 23/05/2024</p>	<p>7th International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterization</p> <p>Local: Barcelona, Espanha</p> <p>Data: 18/06/2024</p>			<p>5th European Conference on Physical Modelling in Geotechnics</p> <p>Local: Delf, Holanda</p> <p>Data: 02/10/2024</p>			
<p>GEOCENTRO 2024</p> <p>Local: Cuiabá-MT</p> <p>Data: 04/04/2024</p>	<p>International Foundations Congress & Equipment Expó 2024</p> <p>Local: Dallas, Estados Unidos</p> <p>Data: 07/05/2024</p>	<p>Sondagens - Inovações, Problemas e soluções de sondagens no Brasil</p> <p>Local: Hotel Transamérica, BH</p> <p>Data: 07/06/2024</p>							



:: NOTÍCIAS EM TEMPO REAL;

:: ANÁLISES EM PROFUNDIDADES;

:: CONSENSO DE OPINIÕES SOBRE SOLUÇÕES;

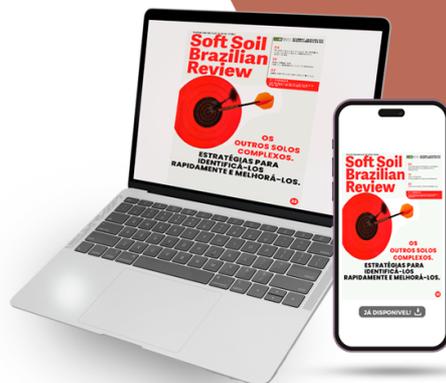
:: GRÁFICOS E FERRAMENTAS ANALÍTICAS

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.



SSBi SOFT SOIL
BRAZILIAN
INSTITUTE

ACESSE SOFTSOILBRAZILIANGROUP.COM E ESCOLHA
A EDIÇÃO IDEAL PARA SUA PESQUISA.



Nº	PROBLEMAS APARENTES	ORIGENS POSSÍVEIS	CRITÉRIOS INFLUENCIADORES
PROBLEMAS APARENTES DE ELEMENTOS ACIMA DO ATERRO			
P1	• FISSURAÇÃO EM ARCO DA PLATAFORMA (FIGURAS 2 E 7)	<ul style="list-style-type: none"> • CAUSAS DE RUTURA NO CORPO DO ATERRO, INCLUINDO OU NÃO O SOLO DE FUNDAÇÃO: - PRESENÇA DE CAMADA DE SOLO DE BAIXA RESISTÊNCIA - SOLO SUPORTE SOLICITADO ACIMA DE SUA CAPACIDADE • RECALQUE POR PROBLEMA DE COMPACTAÇÃO LOCALIZADA 	<ul style="list-style-type: none"> • CONTINUIDADE, COMPRIMENTO E ABERTURA DAS FISSURAS • PRESENÇA E IMPORTANCIA DE CHUVAS • FISSURAS NÃO TRATADAS • CARACTERISTICA EVOLUTIVA DO FENOMENO
P2	• FISSURAÇÃO LONGITUDINAL NA PLATAFORMA (FIGURA 1 E 4)	<ul style="list-style-type: none"> • RETRAÇÃO SOB EFEITO DE ESTIAGENS • PROBLEMA ESTRUTURAL NA RODOVIA • MOVIMENTO DO CORPO DO ATERRO • MOVIMENTO DO TALUDE DEVIDO A PROCESSOS SUCESSIVOS DE EXPANSÃO/ RETRAÇÃO OU POR FLUÊNCIA • SOLO SUPORTE EXPANSIVO (PARA UM ATERRO DE POUCA ALTURA) • TRABALHOS RECENTES DE AMPLIAÇÃO DE ATERRO. 	<ul style="list-style-type: none"> • CONTINUIDADE, COMPRIMENTO, ABERTURA E PROFUNDIDADE DE FISSURAS • AUMENTO DO TRAFEGO NA RODOVIA • FISSURAS NÃO TRATADAS
P3	FISSURAÇÃO COM MOVIMENTAÇÃO (AFUNDAMENTO DE UMA DAS BORDAS (FG 1 E 4)	<ul style="list-style-type: none"> • SOLO MAL COMPACTADO E SENSÍVEL A PRESENÇA D'ÁGUA ADAPTA-SE A CONDIÇÃO DE MOLE • ÁGUA DE MINAÇÃO D'ÁGUA • CICLOS DE RETRAÇÃO/ EXPANSÃO DO MATERIAL • PRESENÇA DE CAMADA DE MATERIAL COM BAIXA CARACTERISTICA MECÂNICA • SOLO SOLICITADO ALEM DA CAPACIDADE SUPORTE • CAUSA DA RUTURA DO ATERRO (VER P1) OU DO TALUDE (VER C1) • MOVIMENTAÇÃO DO TALUDE POR EXPANSÃO/ RETRAÇÃO OU POR FLUÊNCIA. 	<ul style="list-style-type: none"> • CONTINUIDADE, COMPRIMENTO, ABERTURA E PROFUNDIDADE DE FISSURAS • IMPORTANCIA DO REFUGIO • CARACTERISTICA EVOLUTIVA DO FENOMENO • MATERIAL APLICADO EM ESTADO SECO OU EM PERIODO DE ESTIAGEM • SISTEMA DE DRENAGEM COM DEFEITO PERMITE A INFILTRAÇÃO D'ÁGUA NO ATERRO • FISSURAS NÃO TRATADAS
P4	RECALQUES VISÍVEIS LOCALIZADOS OU GENERALIZADOS NA PLATAFORMA (FIG 1)	<ul style="list-style-type: none"> • SOLO SUPORTE COMPRESSIVEL • DEFEITO DE COMPACTAÇÃO • SOLO MAL COMPACTADO E SENSÍVEL À PRESENÇA D'ÁGUA, CHEGA A CONDIÇÃO DE MOLE. • MAL TRATAMENTO EM UMA ZONA DE CORTE-ATERRO. • MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAL FINO POR DEFEITO NA CAPTAÇÃO D'ÁGUA. 	<ul style="list-style-type: none"> • SURGÊNCIA DE FISSURAS EM FORMA DE ARCO • ESTAGNAÇÃO D'ÁGUA • MAL TRATAMENTO EM ZONA DE CORTE-ATERRO

Nº	PROBLEMAS APARENTES	ORIGENS POSSÍVEIS	CRITÉRIOS INFLUENCIADORES
P5	<ul style="list-style-type: none"> • DESLOCAMENTOS LATERAIS 	<ul style="list-style-type: none"> • FLUÊNCIA DO SOLO SUPORTE • PRESENÇA DE CAMADA DE MATERIAL COM BAIXA CARACTERÍSTICA MECÂNICA • SOLO MAL COMPACTADO E SENSÍVEL À PRESENÇA D'ÁGUA, CHEGANDO A CONDIÇÃO DE MOLE. • MOVIMENTAÇÃO DO TALUDE DEVIDO A MOVIMENTOS DE EXPANSÃO/ RETRAÇÃO SUCESSIVOS OU POR FLUÊNCIA. 	<ul style="list-style-type: none"> • CARACTERÍSTICA EVOLUTIVA DO FENÔMENO • DESLIZAMENTO DE GRANDE AMPLITUDE
P6	<ul style="list-style-type: none"> • INCLINAÇÃO DE POSTES OU DE BARREIRAS DE SEGURANÇA (FIGURA 8) 	<ul style="list-style-type: none"> • DESLIZAMENTO DO TALUDE (VER C1) OU GRANDE DESLIZAMENTO NO CORPO DO ATERRO PARA O CASO DE INCLINAÇÃO PARA MONTANTE, RASTEJAMENTO DO TALUDE PARA O CASO DE INCLINAÇÃO PARA JUSANTE 	<ul style="list-style-type: none"> • CARACTERÍSTICA EVOLUTIVA DO FENÔMENO • FENÔMENO AMPLIADO
PROBLEMAS APARENTES AO NÍVEL DO CORPO DO ATERRO (MACIÇO E TALUDE)			
C1	DESLIZAMENTO DO TALUDE (FIGURA 4)	<ul style="list-style-type: none"> • PRESENÇA DE MATERIAL COM BAIXA CARACTERÍSTICA MECÂNICA (ARGILOSO) • INCLINAÇÃO DO TALUDE MAL ADAPTADO AO MATERIAL DO ATERRO. • SATURAÇÃO DO ATERRO RELACIONADO A SURGÊNCIA D'ÁGUA OU MESMO INUNDAÇÃO • OCORRÊNCIA DEVIDO A BOLSÕES D'ÁGUA NO CENTRO DO MACIÇO DO ATERRO 	<ul style="list-style-type: none"> • FENÔMENO AMPLIADO EM UMA EXTENSÃO LINEAR • INFILTRAÇÃO D'ÁGUA E MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAL • PRESENÇA DE SOBRECARGAS À FRENTE • PESQUISAR A REGIÃO À PÉ • INCLINAÇÃO SUPERIOR A 3H/2V • PERÍODO DE PLUVIOMETRIA OU DE INUNDAÇÃO RECENTE • SINAIS DE EVOLUÇÃO REGRESSIVA • PRESENÇA OU DESENVOLVIMENTO DE UM REDE ENTERRADA.

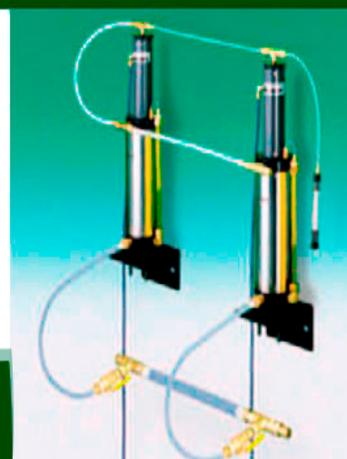
PROBLEMAS APARENTES AO NIVEL DOS SISTEMAS DE DRENAGEM DO ATERRO

PARTE SUPERIOR: PLATAFORMA

D1	<ul style="list-style-type: none"> • ESTAGNAÇÃO D'ÁGUA SOBRE A RODOVIA 	<ul style="list-style-type: none"> • AUSÊNCIA OU PROBLEMAS COM DISPOSITIVOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA (DRENAGEM/ SANEAMENTO) <ul style="list-style-type: none"> • ALTERAÇÃO DE ESCALA • RECALQUE LOCALIZADO NA PLATAFORMA (VER P4) OU PONTO BAIXO SOBRE A RODOVIA 	<ul style="list-style-type: none"> • AUSÊNCIA DE DRENAGEM • PROXIMIDADE DE UM CORTE • IMPORTANCIA DO FENÔMENO
D2	<ul style="list-style-type: none"> • DEGRADAÇÃO OU COLMATAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE COLETA OU EVACUAÇÃO D'ÁGUA 	<ul style="list-style-type: none"> • PROBLEMA DE MANUTENÇÃO • RECALQUES E DEFORMAÇÕES DO ATERRO <ul style="list-style-type: none"> • VEGETAÇÃO INVASIVAS 	<ul style="list-style-type: none"> • INFILTRAÇÕES • ESTAGNAÇÃO D'ÁGUA • TRANSBORDAMENTOS
D3	<ul style="list-style-type: none"> • INFILTRAÇÃO, SURGÊNCIA D'ÁGUA (ATERROS PARTICULARMENTE SOBRE ÁREAS INCLINADAS) 	<ul style="list-style-type: none"> • DEFEITO/ AUSÊNCIA DE DRENAGEM EM PARTICULAR NA INTERFACE DE UM CORTE/ ATERRO 	<ul style="list-style-type: none"> • ESTAGNAÇÃO D'ÁGUA • PROBLEMAS C1, C4, C5, P4, P6

Medidor de Recalques com Alta Sensibilidade

O medidor de recalques com alta sensibilidade consiste em uma série de vasos contendo sensores de nível de fluido interligados por um tubo cheio de líquido. Um vaso de referência é posicionado em um local de referência estável associado a sensores adicionais posicionados em locais diferentes, aproximadamente na mesma elevação. O recalque diferencial, ou levantamento, entre qualquer um dos sensores, resulta na variação de nível do líquido dentro dos tubos. O sistema é particularmente apropriado para situações críticas onde altas resoluções são necessárias. É possível detectar oscilações de elevação de até 0,02mm, aproximadamente.



Para maiores informações, acesse: www.rogertec.com.br ou atendimento@rogertec.com.br

PROBLEMAS APARENTES AO NIVEL DOS SISTEMAS DE DRENAGEM DO ATERRO

PARTE SUPERIOR: PLATAFORMA

D1	<ul style="list-style-type: none"> • ESTAGNAÇÃO D'ÁGUA SOBRE A RODOVIA 	<ul style="list-style-type: none"> • AUSÊNCIA OU PROBLEMAS COM DISPOSITIVOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA (DRENAGEM/ SANEAMENTO) <ul style="list-style-type: none"> • ALTERAÇÃO DE ESCALA • RECALQUE LOCALIZADO NA PLATAFORMA (VER P4) OU PONTO BAIXO SOBRE A RODOVIA 	<ul style="list-style-type: none"> • AUSÊNCIA DE DRENAGEM • PROXIMIDADE DE UM CORTE • IMPORTANCIA DO FENÔMENO
D2	<ul style="list-style-type: none"> • DEGRADAÇÃO OU COLMATAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE COLETA OU EVACUAÇÃO D'ÁGUA 	<ul style="list-style-type: none"> • PROBLEMA DE MANUTENÇÃO • RECALQUES E DEFORMAÇÕES DO ATERRO <ul style="list-style-type: none"> • VEGETAÇÃO INVASIVAS 	<ul style="list-style-type: none"> • INFILTRAÇÕES • ESTAGNAÇÃO D'ÁGUA • TRANSBORDAMENTOS
D3	<ul style="list-style-type: none"> • INFILTRAÇÃO, SURGÊNCIA D'ÁGUA (ATERROS PARTICULARMENTE SOBRE ÁREAS INCLINADAS) 	<ul style="list-style-type: none"> • DEFEITO/ AUSÊNCIA DE DRENAGEM EM PARTICULAR NA INTERFACE DE UM CORTE/ ATERRO 	<ul style="list-style-type: none"> • ESTAGNAÇÃO D'ÁGUA • PROBLEMAS C1, C4, C5, P4, P6

PARTE INFERIOR: TALUDE E PÉ DO ATERRO

D4	<ul style="list-style-type: none"> • ESTAGNAÇÃO D'ÁGUA NOS DISPOSITIVOS DE COLETA E EVACUAÇÃO D'ÁGUA 	<ul style="list-style-type: none"> • DEFEITO DE MANUTENÇÃO • DIVERSOS MOVIMENTOS DE TERRA 	<ul style="list-style-type: none"> • INFILTRAÇÕES • IMPORTANCIA DO FENÔMENO
D4	<ul style="list-style-type: none"> • ESTAGNAÇÃO D'ÁGUA EM UMA BERMA 	<ul style="list-style-type: none"> • DEFEITO DE MANUTENÇÃO • BERMA COM GEOMETRIA INADEQUADA • DEFEITO NO DISPOSITIVO DE EVACUAÇÃO 	<ul style="list-style-type: none"> • IMPORTANCIA DO FENÔMENO • DEFEITO C1 À C5
D5	<ul style="list-style-type: none"> • RUTURA DAS DESCIDAS D'ÁGUA 	<ul style="list-style-type: none"> • DEFEITO DE CONSERVAÇÃO • MOVIMENTO DE TERRA • CAPTAÇÃO INADEQUADA D'ÁGUA DA RODOVIA 	<ul style="list-style-type: none"> • INFILTRAÇÕES • ESTAGNAÇÃO D'ÁGUA • EROSIÃO DO TALUDE
D6	<ul style="list-style-type: none"> • INFILTRAÇÃO, SURGÊNCIA D'ÁGUA 	<ul style="list-style-type: none"> • DEFEITO/ AUSENCIA DE DRENAGEM, PARTICULARMENTE NA INTERFACE DE ÁREAS COM CORTE/ ATERRO. • MAL FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM SUPERFICIAL. • INFILTRAÇÃO NA PLATAFORMA(PARTICULARMENTE NO ACOSTAMENTO) • AUMENTO DO N.A PELO CORPO DO ATERRO (ATERRO SOBRE ÁREA INCLINADA) • CIRCULAÇÃO D'ÁGUA NÃO CAPTADA (NASCENTES, ANTIGAS DRENAGENS) 	<ul style="list-style-type: none"> • ESTAGNAÇÃO D'ÁGUA • PERMANENCIA DO FENÔMENO

D7	<ul style="list-style-type: none"> • COLMATAÇÃO OU ALTERAÇÃO DE UM DISPOSITIVO DE DRENAGEM (INTERFACE ATERRO/ SOLO SUPORTE EM PARTICULAR) 	<ul style="list-style-type: none"> • AUSÊNCIA DE CONSERVAÇÃO • DEFEITO DE CONSTRUÇÃO OU PÓS CONSTRUÇÃO <ul style="list-style-type: none"> • VEGETAÇÃO INVASIVA • VANDALISMO 	<ul style="list-style-type: none"> • SURGÊNCIAS D'ÁGUA SÃO CRÍTICAS PARA ATERROS.
DEFEITOS OU PROBLEMAS APARENTES AO NÍVEL DE OBRAS QUE INTERAGEM COM O ATERRO			
1	<ul style="list-style-type: none"> • DEFORMAÇÃO E/OU FISSURAÇÃO • DESARRANJO DE ELEMENTOS PREFABRICADOS 	<ul style="list-style-type: none"> • MOVIMENTOS E RECALQUES DIFERENCIAIS NA ESTRUTURA, NO CORPO DO ATERRO OU NO SOLO SUPORTE. • DEFEITO DE CONCEPÇÃO/ CONSTRUÇÃO DA OBRA • SOLICITAÇÕES NÃO PREVISTAS • EROSIÃO NO SOLO SUPORTE OU DESENVOLVIMENTO DE CAVIDADES SOB A OBRA 	<ul style="list-style-type: none"> • EVOLUÇÃO BRUTAL OU FORTE FLUÊNCIA • PRESENÇA DE CAVIDADES SUBTERRÂNEAS
2	<ul style="list-style-type: none"> • RUTURA 	<ul style="list-style-type: none"> • DESLIZAMENTO DO ATERRO OU DO SOLO SUPORTE • DEFEITO DE CONCEPÇÃO OU DE CONSTRUÇÃO DA OBRA OU DA FUNDAÇÃO 	<ul style="list-style-type: none"> • PRESENÇA D'ÁGUA • ORIGEM DA RUTURA • ABERTURA DAS FISSURAS
3	INFILTRAÇÃO, SURGÊNCIA D'ÁGUA	<ul style="list-style-type: none"> • PRESENÇA D'ÁGUA NO ATERRO 	<ul style="list-style-type: none"> • VER D1 A D7

REFERÊNCIAS

- Joaquim Rodrigues é engenheiro civil M.Sc. formado no Rio de Janeiro em 1977, pós-graduado pela COPPE na Universidade Federal do Rio de Janeiro em 1999. Diretor do Soft Soil Group e da Engenraut Geotecnia e Engenharia, associada à ABMS e ao American Society of Civil Engineers desde 1994. Desenvolveu duas técnicas de tratamento de solos moles, sendo motivo de patente o GEOENRIJECIMENTO, utilizada hoje em todo o Brasil.
- Ouvrages de soutènement, Recommendations pour l'inspection détaillée, le suivi et le diagnostic des murs en remblai renforcé par éléments métalliques. Guide technique. Sétra, LCPC, 2003, 107 p.
- Enquête sur la pathologie des remblais construits avec des matériaux sensibles. QUEYROI D. LRPC de Bordeaux, 1992.
- Enquête sur la pathologie des remblais construits en matériaux sensibles, Volume 1 : Synthèse de l'enquête et Volume 2 : Réponses au questionnaire. AURIOL J.-C., MIEUSSENS C. & QUEYROI D., LCPC, 1999.
- CHEN, Q.; ABU-FARSAKH, M. Mitigating the bridge end bump problem: A case study of a new approach slab system with geosynthetic reinforced soil foundation. Geotextiles and Geomembranes. Louisiana. 2016.
- DER-SP. PP-DE-C01/270: Projeto padrão – Laje de aproximação – Tabuleiro de 14,1 m e $\alpha = 0^\circ$ – Formas e armação. DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO (DER-SP). São Paulo. 2005a
- ABMS/ABEF. Fundações: teoria e prática. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MECÂNICA DOS SOLOS (ABMS). São Paulo. 2019.
- BENTLEY SYSTEMS. Plaxis - CONNECT Edition V21.01 - Material Models Manual. Exton: [s.n.], 2021.

Trabalho em recuperação de rodovias e obras de arte. Gostaria de saber mais sobre a interação solo-estrutura junto a encontros de pontes e viadutos, já que é onde se concentra a maioria das patologias em nossas estradas.

Enccontros correspondem aos elementos estruturais que compõem o apoio extremo de pontes, tendo a função de prover suporte à superestrutura, ao mesmo tempo em que auxiliam na contenção do terrapleno dos acessos. Também cumprem alguns requisitos funcionais específicos, mantidos ao longo de toda a vida útil da OAE, garantindo transição eficiente e segura ao tráfego viário, adaptar-se à movimentação térmica dos tabuleiros, sem que isso acarrete riscos à segurança ou problemas de operação e, eventualmente, fornecendo suporte aos aparelhos de apoio, garantindo acesso para sua manutenção. Subentende-se que as peças estruturais dos encontros são constituídas de concreto armado, a menos que se indique material diferente. A fundação pode ser assentada diretamente no solo, quando apresenta boa condição de resistência, ou sobre fundação profunda, com estacas ou tubulões. Aparelhos de apoio e a lajes de aproximação nem sempre são consi-

derados como componentes dos encontros. Dentre as várias alternativas possíveis, a seleção de um tipo mais adequado de encontro deve consultar aspectos econômicos, geotécnicos, hidráulicos, viários, estéticos e orográficos.

Embora sejam muitas as alternativas de concepção, nossas normas e instruções técnicas dizem pouco sobre o sistema de classificação e tipos estruturais disponíveis. A referência mais importante é o “Manual de Projetos de Obras-de-Arte Especiais” do extinto

recentemente introduzidos ao setor da infraestrutura. Encontros integrais, ou monolíticos, assemelham-se geometricamente a alguns dos tipos descritos acima, mas se conectam rigidamente aos tabuleiros, dispensando o uso de aparelhos de apoio. Os encontros semi-integrais, por sua vez, utilizam os aparelhos para ligar a fundação do encontro à sua parte superior, à qual se conecta rigidamente o tabuleiro. Estes encontros são classificados como baixos (até 4,30 metros)



Figura 1 – Ocorrência de trinca vertical ou diagonal devido ao recalque diferencial da fundação: (a) Esquema ilustrativo; (b) Exemplo de trinca devido ao recalque

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER, 1996, p. 54-56)2, que divide as aproximações em três tipos básicos: (1) com extremidades em balanço, que são ligadas diretamente à superestrutura, sendo necessário apenas a construção da laje de transição sobre o aterro; (2) com encontros leves, recomendáveis quando a OAE é projetada até o coroamento de aterros ou cortes estáveis, ou caso se execute os aterros antes da construção da OAE; (3) com encontros de grande porte, estruturas de alto custo unitário que só se justificam em ocasiões especiais. Na bibliografia internacional, obtém-se um material mais farto sobre o assunto, inclusive de sistemas

ou altos (acima de 4,3 metros) (FHWA, 2012, p. 12-4). Usualmente, os encontros baixos se apoiam sobre fundações profundas, em linha única de estacas. Os altos, também denominados encontros de quadro rígido, podem se apoiar diretamente no solo. Soluções construtivas com solo mecanicamente estabilizado (MSE), que incluem a chamada “terra armada”, que ganhou popularidade mais recentemente na construção de encontros, como um método de simples execução, que agrada esteticamente e cumpre os requisitos funcionais. Costumam ser mais baratos do que os encontros altos fechados, cumprindo papéis semelhantes.

Os pontos negativos incluem a dificuldade na manutenção de camadas danificadas de solo reforçado, limitações de uso devido ao terreno e a possível ocorrência de recalques quando a estrutura se apoia diretamente no topo dos aterros. O processo construtivo corresponde basicamente à repetição sequencial das etapas (FHWA, 2012, p. 12.1.9): de assentamento das placas pré-moldadas de concreto, com formato geométrico (e.g. hexagonal) que favorece a constituição de uma parede vertical uniforme; do lançamento e compactação da camada de aterro atrás da parede e da disposição sobre o aterro do reforço horizontal de aço ou polímero (na forma de tiras ou malha), aparafusando-o nas placas de concreto. O reforço do solo é o que garante o desenvolvimento do atrito entre as camadas para resistência ao empuxo e a esforços horizontais derivados da superestrutura. A AASHTO (2002, p. 185-186) fornece recomendações de projeto para os encontros de MSE, incluindo a capacidade de carga para apoio direto e requisitos geométricos. A prática corrente exige a sua associação a um encontro leve de pequena altura. Segundo o FHWA (2012, p. 12.1.9), há duas alternativas geométricas usuais. Na primeira, o muro de MSE suporta uma laje, na qual repousa a estrutura da ponte, e as cargas verticais se transferem diretamente para o aterro. Na segunda, uma viga travessa suporta o tabuleiro e se apoia sobre estacas, que perpassam o aterro e se estendem até o terreno natural. Em ambos os casos, é importante garantir um afastamento da viga travessa a partir do topo do MSE, para reduzir efeitos locais que possam causar deformações na parede. Como se pode observar, o aterro pode ser executado em duas fases, de modo que exista área suficiente

na berma do aterro de 1ª fase para a execução das estacas e concretagem da estrutura superior do encontro. Observa-se também casos em que o aterro de 2ª fase é lançado e compactado após a execução da superestrutura, o que constitui uma sequência adequada, desde que se considere no dimensionamento dos aparelhos de apoio as deflexões e rotações permanentes pela ação do empuxo de solo, já que eles deverão oferecer um travamento parcial ao movimento do encontro.

Aterro compactado

O uso da laje de aproximação traz diversos benefícios ao desempenho funcional do encontro, mas é importante também prever uma boa especificação ao aterro que dá suporte, minimizando seus recalques. Isso se obtém a partir de uma seleção adequada de materiais e um controle rigoroso da execução do aterro, que deve ser bem com-

pactado e executado em camadas horizontais uniformes em torno de toda a estrutura. Na prática norte-americana, recomenda-se que o aterro seja constituído de material granular, preferencialmente areia



Figura 2 – Exemplos de encontros de solo mecanicamente estabilizado (MSE): (a) Encontro com painéis pré-moldados; (b) Muro de MSE sob construção

e cascalho bem graduados, não sendo recomendado o uso de materiais plásticos (AASHTO, 2002, p. 129). A maioria dos estados especificam os aterros em camadas de 0,20 m de material granular solto, compactado a 95% de valor no ensaio do Proctor Normal, sendo que alguns ainda exigem 100%. Sobre a seleção dos materiais, o requisito básico é a limitação de finos no solo de aterro, para reduzir sua plasticidade e melhorar a drenagem. Órgãos estaduais limitam de 4% até 20% o material fino passante na peneira de N° 200. A AASHTO (2016, p. 7.3-7.4), por sua vez, recomenda 100% de grãos inferiores a 75 mm, com a seguin-

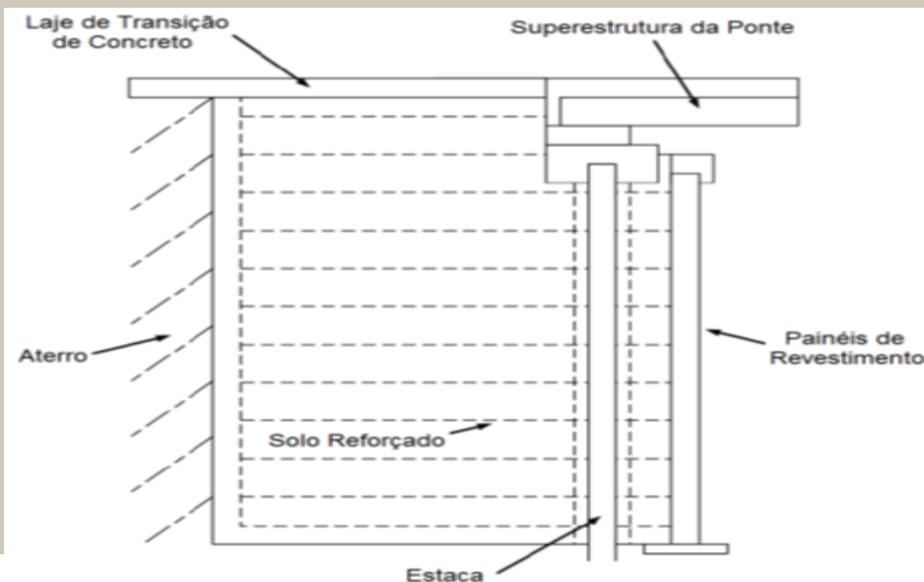


Figura 3 – Esquema ilustrativo de encontro de solo mecanicamente estabilizado (MSE)

te graduação de material passante nas peneiras: 35-100% na de N^o 4; 20-100% na de N^o 30; e 0-15% na de N^o 200. Nossa prática difere um pouco desta outra, pelas características do solo disponível no território nacional. O emprego do solo-cimento objetiva melhorar o controle da umidade e a perda de material nessa região, além de facilitar a obtenção de parâmetros de compactação mais altos. O DNER (1996, p. 62) também admite o uso de solo-cimento como material base, indicando um teor de cimento entre 5% e 13%, variável conforme o tipo de solo – segundo a classificação da AASHTO M 145-91 (1991) –, como apresentado na Tabela acima.

Sistema de drenagem

Em estruturas que funcionam como arrimo do terrapleno de acesso, como são os encontros, deve-se prever a drenagem interna do aterro confinado, com

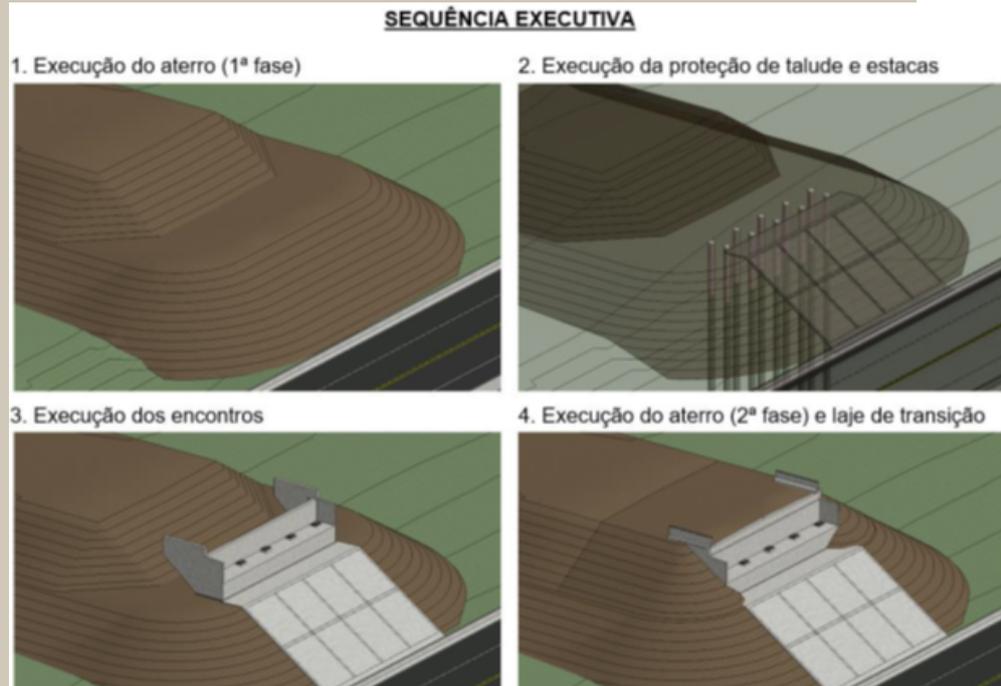


Figura 4 – Sequência parcial de execução de ponte de vigas pré-moldadas sobre encontro leve com fundação profunda, sobre aterro estabilizado

filtrante contínua em toda a altura dos elementos, na face vertical em contato com o solo contido, associado a tubos de drenagem, de modo a evitar situações de pressões hidrostáticas. Tal

camada pode ser constituída por geotêxteis ou por um filtro de material granular graduado (AASHTO, 2002, p. 126).. Os drenos devem ser dispostos com espaçamentos adequados

mais profundo. Além disso, quando a drenagem da ponte é realizada com buzinetes, a captação sobre as regiões dos aterros deve ser lançada fora dos limites da OAE, evitando-se provocar erosão nos taludes (DNER, 1996, p. 76) e, para encontros não integrais, deve-se garantir que as juntas de dilatação promovam a impermeabilização adequada da interface entre superestrutura e encontro, por meio de uma instalação correta e constante manutenção.

Proteção do talude

Conforme o DNER (DNER, 1996, p. 62), o “projeto deverá prever, sempre, a proteção dos taludes nos trechos da rodovia adjacentes às obras-de-arte especiais; Os comprimentos desses trechos não deverão ser infe-

– sendo que nos muros com contrafortes deve-se colocar pelo menos um dreno por intervalo entre contrafortes (AASHTO, 2002, p. 179) – e até a elevação mais baixa na qual se permita a coleta de água por gravidade. Elementos estruturais posicionados abaixo deste nível devem ser projetados considerando atuação da pressão hidrostática, a menos que se utilize um sistema de drenagem especial

uso de material granular filtrante e como arrimo do terrapleno de acesso, como são os encontros. Deve-se prever a drenagem interna do aterro confinado, com uso de material granular filtrante e um sistema de coleta, para evitar o carreamento de partículas e problemas associados à erosão. Segundo a ABNT (2021, p. 7), deve ser adicionada uma camada

Classificação de solos segundo a AASHTO	Teor de cimento em peso (%)
A-1-a	5
A-1-b	6
A-2	7
A-3	9
A-4	10
A-5	10
A-6	12
A-7	13

riores a três vezes as alturas dos aterros de acesso”. Nos trechos debaixo da OAE, onde a vegetação não floresce por insuficiência de luz solar, admite-se a utilização de placas pré-moldadas de concreto, rejuntadas, ou alvenaria argamassada. Em trechos laterais essa proteção pode ser feita com vegetação. O projeto padrão do DER-SP (2007a); (2007b) fornece dois exemplos de proteção de taludes sob obra de arte especial com placas pré-moldadas de concreto: (1) placas trapezoidais intercaladas; (2) peças retangulares pequenas intertravadas. Os enrocamentos, ou sistemas equivalentes, devem ser aplicados quando as pontas dos aterros ficam submersas nos períodos de enchente máximas – ou em zonas de represamento de água –, prevendo-se proteção necessária de, no mínimo, 0,50 m acima do nível de enchente máxima (DER-SP, 2005b).

Melhoramento do solo

O DER-SP (2006, p. 18) classifica como solo mole, ou compressível, aquele “com baixa capacidade de suporte e alta compressibilidade” que se enquadra em uma das seguintes condições: (1) argilas de consistência muito mole ou mole (com valor de SPT inferior a 2 golpes); (2) turfás; (3) siltes argilosos fofos e saturados; (4) argilas porosas e areias porosas não saturadas colapsíveis. Quando os encontros se situam em áreas com solo mole – situação indesejável, que deve ser

evitada quando da elaboração do traçado viário –, devem ser estudadas em detalhe as propriedades do solo e as alternativas de substituição ou melhoria de solo a se aplicar. Caso a troca não seja possível, por razões técnicas, ambientais, econômicas e/ou logísticas, sugere-se a execução de melhoramento do solo, com geoenrijecimento. Há alternativas pouco eficientes como a execução de bermas de equilíbrio, aceleração de recalques com uso de drenos fibro-químicos ou estacas de material drenante (areia ou brita); aplicação de pré-carga ou sobrecarga temporária;

Inspeção, conservação e manutenção

Os problemas nas OAEs são diagnosticados a partir de inspeções periódicas, cuja frequência é definida na NBR 9452:2019 (ABNT, 2019, p. 4-6):

- 1) Inspeção cadastral, imediatamente após a conclusão da obra;
- 2) Inspeção rotineira, com frequência não superior a um ano;
- 3) Inspeção especial, com frequência de cinco a oito anos;
- 4) Inspeção extraordinária, somente devido a eventos específicos, como a necessidade de se avaliar com mais detalhe um problema identificado em inspeção anterior, a ocorrência de impacto de veículo ou a ocorrência de eventos da natureza (... inundação). As inspeções são visuais, fotográficas e documentais, incluindo ou não o uso de equipamentos. Para estruturas submersas, deve-se efetuar inspeção

subaquática e, em casos especiais, empregam-se técnicas avançadas como a pacometria, a ultrassonografia ou métodos eletromagnéticos. Na avaliação dos encontros, o inspetor da OAE deve atentar aos seguintes quesitos: tipo estrutural e materiais; geometria; condição atual (prumo, alinhamento, fissuras, umidade etc.); sistema de drenagem; contenção de terras; condição das peças; estabilidade geral da estrutura; e condições e características dos aparelhos de apoio. Adicionalmente, sugere-se a verificação da ocorrência de desníveis entre a ponte e o aterro, abatimentos e trincas no pavimento; situação dos taludes (erosão, tipo de proteção, drenagem etc.), existência ou não de acostamento, existência ou não de sinalização, e condições do sistema de sinalização do acesso.

Defeitos ou anomalias típicas

Os defeitos ou anomalias que acometem os encontros e terra-pletos de acesso são classificados, usualmente, como funcionais ou estruturais. O DER-SP (2012, p. 103-105) classifica como defeitos funcionais os que “impedem a obra de atender adequadamente suas finalidades previstas, seja em relação à seção de vazão, seja em relação à segurança ou conforto dos usuários” e que “devem ser reparados por meio de atividades rotineira de conservação”. Os defeitos estruturais, nem sempre perceptíveis com facilidade, são os “que implicam em problemas que afetam os elementos da estrutura da obra”, de forma que,

“se não detectados e atendidos em tempo hábil, podem levar à ruína da obra. Por essa razão é necessário prover uma conservação preventiva e realizar inspeções periódicas, para possibilitar reparações necessárias já na fase inicial dos problemas”. Algumas referências também identificam os defeitos por parâmetros de durabilidade, já que têm capacidade de comprometer a durabilidade da OAE e reduzir sua vida útil. A seguir, relacionam-se alguns dos principais defeitos observados nas aproximações de pontes, com exemplos gráficos de casos mais relevantes:

- Recalque vertical excessivo ou recalque diferencial;
- Movimentação lateral do encontro por deslizamento;
- Rotação do encontro por tombamento ou recalque diferencial;
- Trinca vertical ou diagonal, por recalque diferencial (Figura 5 e 6);
- Deslocamento e/ou rotação do encontro por movimento lateral de camada compressível no solo de fundação, ou Efeito Tschebotarioff;
- Perda de solo na base devido à erosão fluvial (ver Figura 7-a);
- Erosão do talude causada por declividade inadequada, percolação de água, ausência de proteção ou outros fatores (ver Figura 7-b);
- Pressões excessivas e liquefação do solo
- Avarias típicas do concreto armado (FHWA, 2012, p. 12.1.23-12.1.30): trincas ou fissuras; contaminação por cloreto; desagregação; delaminação; eflorescência; desgaste; dano por colisão ou sobrecarga excessiva; abrasão; corrosão de

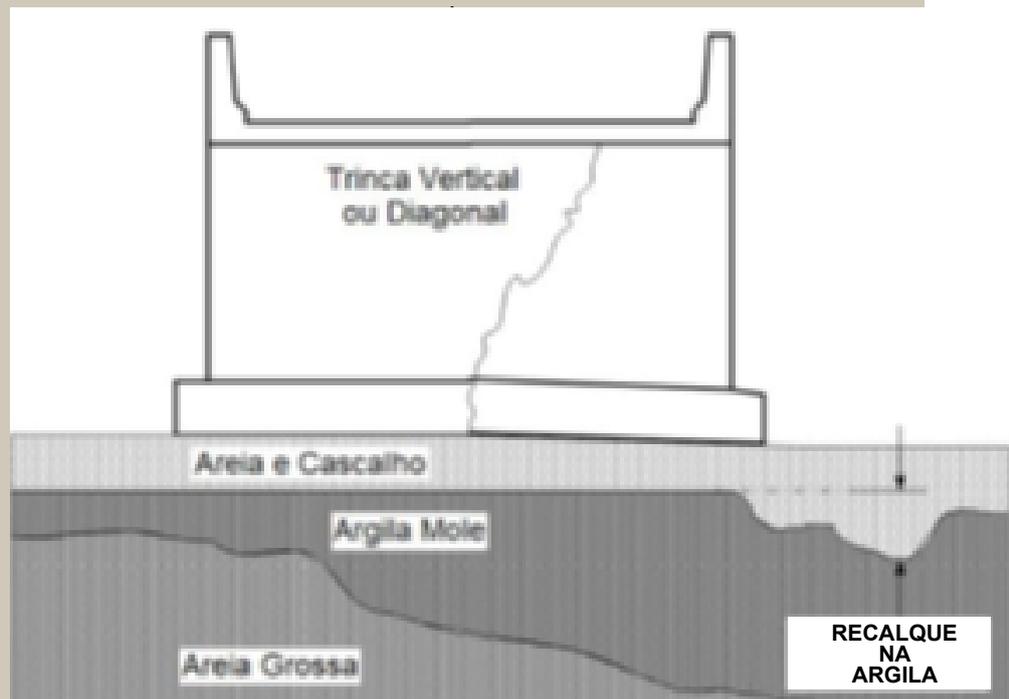


Figura 5 – Trincas verticais e/ou diagonais na aproximação de ponte.

armadura; perda de protensão; e carbonatação.

- Aparelhos de apoio danificados, por excesso de carga vertical (esmagamento), distorção ou rotação excessiva, deformação lenta (fluência), uso de materiais inadequados, falta de manutenção, entre outros;
- Juntas de dilatação deterioradas com fendas ou aberturas, devido a falhas de projeto, execução ou falta de manutenção, possibilitando a infiltração de água para a parte interna do encontro; Figura 8D.

Formação de desnível na aproximação da ponte, decorrente do afundamento do aterro sob a laje de aproximação, cujas causas principais são: ocorrência de um vazio sob a laje por erosão de solo, carreamento de partículas e/ou compactação tardia do aterro; no caso das pontes integrais, a movimentação horizontal cíclica do encontro contra o maciço de solo, devido às variações térmicas no tabuleiro; Figuras 8 e 9.

Soluções de prevenção ou estabilização

A adoção de soluções construtivas, associadas a um projeto estrutural e geotécnico adequado e manutenções periódicas dos encontros, ajuda a prevenir grande parte dos problemas. Apesar disso, estes defeitos ainda ocorrem com frequência, gerando prejuízos à sociedade como um todo e, particularmente, às instituições responsáveis por prover manutenção às OAEs. O problema mais frequentemente relatado é a formação de um desnível na aproximação das pontes, capaz de gerar um grau elevado de desconforto de tráfego ao usuário. Ressalta-se que o uso da laje de aproximação não objetiva impedir o recalque mas, sim, distribuí-lo ao longo de seu comprimento, proporcionando uma transição mais suave entre o terrapleno e a estrutura. Em nossas revistas há bastante informação a respeito destes assuntos.



Figura 6 - Fraturamento devido a recalque



Figura 7 A) Erosão fluvial na base do encontro, com exposição das estacas. B) Erosão acentuada do talude, com proteção emergencial com solo-cimento ensacado

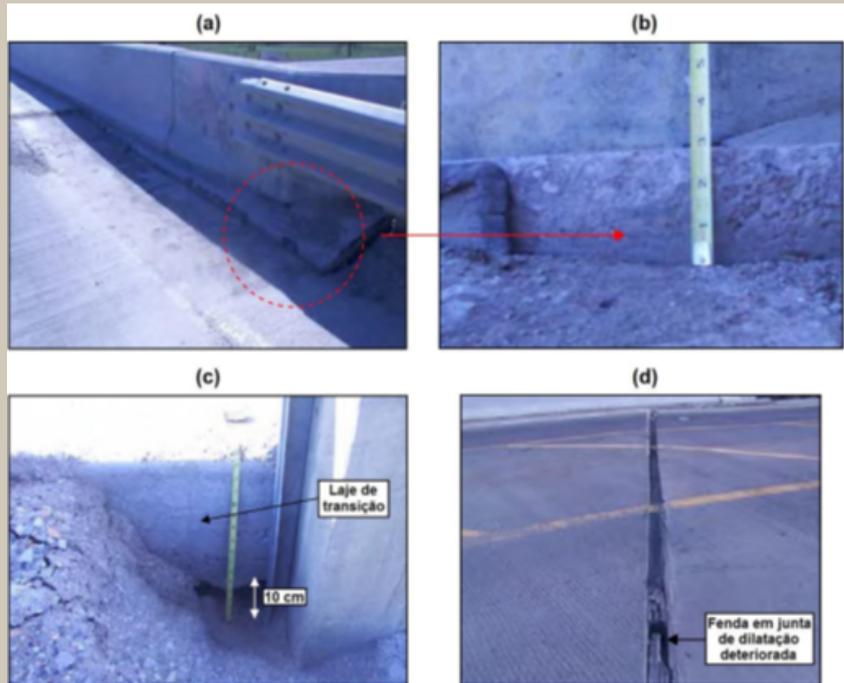


Figura 8 - Afundamento da laje de aproximação. B) Detalhe do desnível entre a laje de aproximação e o muro ala. C) Formação de vazio de 10cm sob a laje de aproximação. D) Desentimidade na junta de dilatação devido a deterioração.



Figura 9 - Formação de desnível no pavimento sobre devido ao recalque no solo de fundação.

REFERÊNCIAS

- CHEN, W.-F.; DUAN, L. Bridge Engineering Handbook- 2nd Edition: substructure design. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group, 2014.
- DAS, B. M.; SIVAKUGAN, N. Principles of Foundation Engineering - Ninth Edition, SI Edition. Boston, MA : Cengage Learning, Inc., 2019.
- DAVIS, R. O.; SELVADURAI, A. P. S. Elasticity and Geomechanics. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
- DER-SP. PP-DE-C01/270: Projeto padrão - Laje de aproximação - Tabuleiro de 14,1 m e $\alpha = 0^\circ$ - Formas e armação. DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO (DER-SP). São Paulo. 2005a.
- Vinicius Spricigo - Contribuições ao estudo da interação solo-estrutura em encontros de pontes.

FIQUE POR DENTRO DE TODAS AS NOVIDADES DO MEIO GEOTÉCNICO SOLICITANDO SEU WEBNAR

Conhecimento

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

Comodidade

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

Feedback

Tire todas as dúvidas com profissionais do mercado, **gratuitamente.**



Solicite seu webinar através do número: (21) 99359-9105

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



EVOLUÇÃO DE PATOLOGIAS EM ATERROS ESTRADAIS.

A SENSIBILIDADE DO ATERRO E O PRÉ-DIAGNÓSTICO.

Figura 1 - Neste aterro de encontro de ponte, ocorreu recalque crescente, o que gerou grande ressalto no pavimento. Houve necessidade de melhoramento do solo para interromper o recalque.



Patrícia Karina Tinoco

O diagnóstico de uma obra de terra, consiste em elencar todo os problemas visíveis ou não, avaliar as causas prováveis, sua velocidade de evolução, estimando os riscos pertinentes e a estabilidade da rodovia. O resultado de uma primeira visita, em um aterro rodoviário com problemas, geralmente não é suficiente para estabelecer um diagnóstico completo. Após a constatação de um comportamen-

to patológico ou a identificação de um risco significativo, a inspeção deverá ser complementada com reconhecimento adicional e alguma instrumentação. Posteriormente, devido à baixa cinética

da maioria dos problemas, poder-se-á finalizar o diagnóstico (depois alterar se necessário), com base na continuidade da instrumentação do aterro. A abordagem que permitirá, a



Figura 2 - Início da rutura em um aterro estradal com fissuramento em arco.

partir das observações iniciais no campo, obter um diagnóstico, é apresentado no fluxograma ao lado, baseado na experiência do autor em obras de recuperação de aterros estradais em todo o Brasil. Uma vez estabelecido o diagnóstico, poder-se-á implementar medidas de segurança, recuperação e, se necessário um monitoramento (instrumentação) periódico. O resultado do monitoramento e da investigação realizadas permitirá, então, propor a natureza/ frequência das próximas ações de inspeção do aterro.

A evolução do problema.

Os fatores que geram uma evolução desfavorável, no comportamento de um aterro, ou seja, que permitem analisar sua sensibilidade diante de um quadro de anormalidades, são os seguintes:

A geometria do aterro

- Ampliação de estradas (edições de nossa revista 31, 12, 7, 9)
- A plataforma do aterro é composta por regiões de corte e o aterro.
- Inclinação do talude inadequada aos materiais utilizados

O material do aterro

- Solos sensíveis a água. Suas características mecânicas sofreram degradação evolutiva.
- Material do aterro apresenta contraste de permeabilidade de/ ou de características mecânicas, ou seja, com camadas de solos

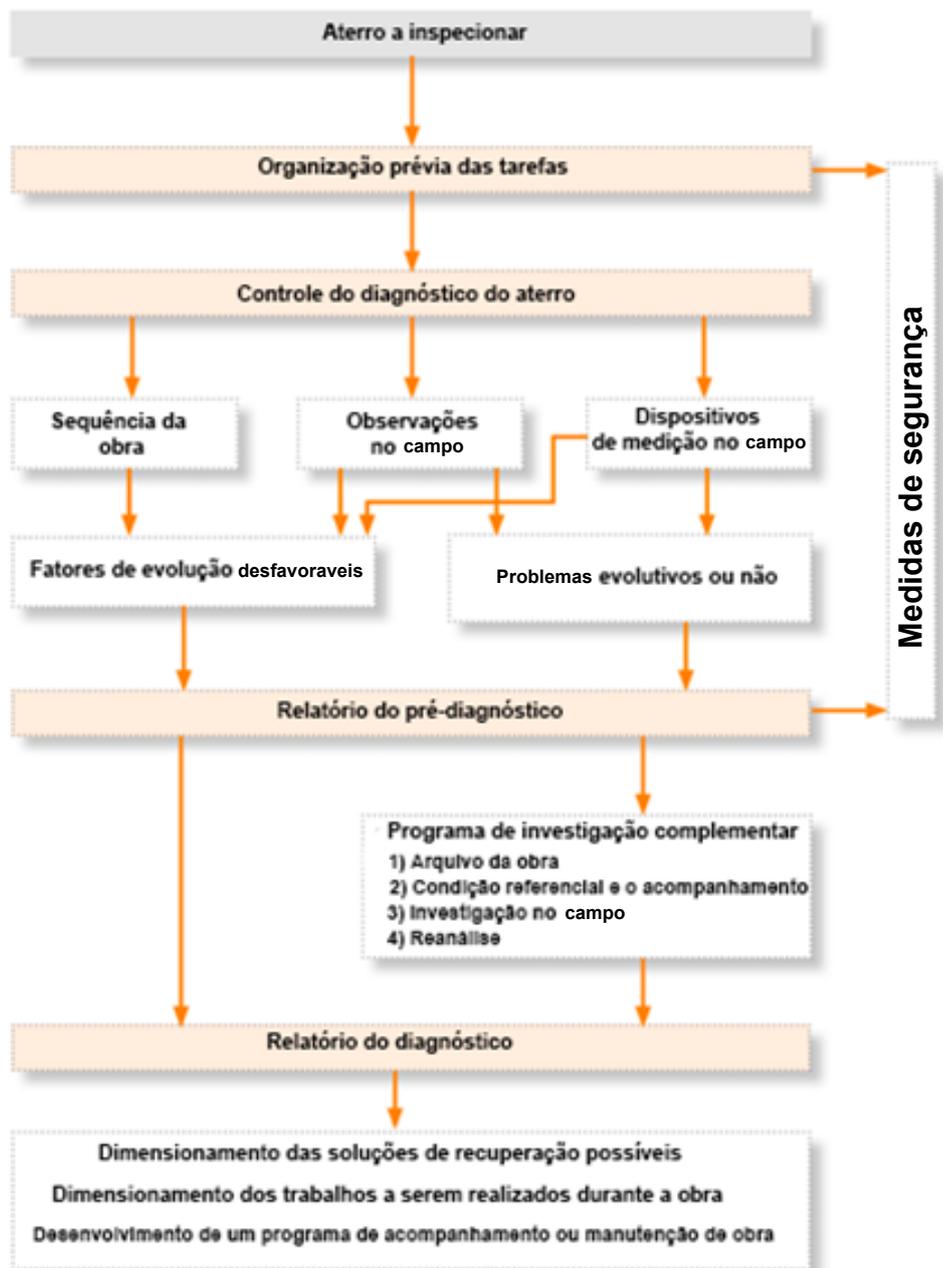


Figura 3 - Fluxograma para diagnóstico de um aterro estradal.



Figura 4 - Colápsio de um aterro estradal, na sequência de um processo erosivo, anexo a uma rede hidráulica após chuva intensa.

conflitantes.

- Solos sensíveis à erosão interna em caso de percolação d'água ou de gradientes hidráulicos.
- Condições difíceis de construção

(clima desfavorável, áreas restritas, etc...)

- Materiais de aterro difíceis de trabalhar (materiais secos ou de rochas muito alteradas, forte energia de compactação, etc...)

O solo de fundação

- O solo suporte apresenta inclinação importante, com instabilidade (deslizamentos antigos e recentes);
- Aterros construídos sobre solo compressível (recalque diferencial, fluência de longo prazo, etc) presença de antigos aterros;
- Aterro com pouca altura, construído sobre solo expansivo.

Água, drenagem e saneamento

- Presença de um curso d'água no pé do aterro e/ou projeto inadequado de condução das águas coletadas na superfície;
- Ação do lençol freático que atua no corpo do aterro (particularmente em região de corte/ aterro, ou com inclinação);
- Má gestão da circulação d'água no solo de fundação;
- Controle inadequado da sistema de drenagem e saneamento da via;
- Presença de redes enterradas que provocam a circulação parasitária d'água;

O ar, o local, o ambiente e a condição de operação da via.

- Vegetação inadequada e invasiva;
- Condições climáticas excepcionais (estiagem, tempestades, etc);



Figura 5 - Início de rutura em trecho estradal, com desenvolvimento de fissuramento em arco.

- Obra em zona inundada;
- Cargas não previstas;
- Presença de elementos estranhos no maciço (tubos e canalizações).

A condição pré diagnóstico

Para a elaboração de um pré-diagnóstico ou até mesmo o diagnóstico final deve-se, minimamente, realizar os seguintes serviços:

- Uma visita previa ao local, antes de tudo, pensando sempre na segurança. Dever-se-á utili-

zar ferramentas como o google Earth, o street view, o Isimage, além de outras também interessantes, que oferecem visualização rápida da região da rodovia em questão, mas que, de forma alguma, substituem a visita ao local.

- Evidentemente, algum órgão ou projetista deverá fornecer antecipadamente informações, sondagens e documentos pertinentes ao local em questão.

(G5 e G2), ou utilizar a interessante norma Francesa, NFP94-500, que especifica a função de

Medidor Portátil do Perfil de Recalques

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

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



Para maiores informações, acesse: www.regertec.com.br
ou atendimento@regertec.com.br

Soft Soil
GROUP

cada uma das partes, que compõe a missão do diagnóstico do trecho da rodovia, além de toda a documentação que deverá ser disponibilizada e apresentada. O profissional, que estará a frente desta missão, deverá consultar um geotécnico especializado em melhoramento efetivo de solos (e não apenas especializado em execução de elementos colunares, considerados como meios alternativos ou paliativos, com elevado grau de perigo, ao serem utilizados em recuperação de rodovias e encontros de obras de arte). Caso contrário, ter-se-á risco elevado comparando-se metodologias de trabalho completamente distintas e que não servem para comparar preços. Considerando-se a dificuldade

na elaboração de um pré-estudo e, posteriormente, o diagnóstico, é interessante observar que, no caso de emergências, o responsável

direto pelo estudo poderá se solicitado a realizar “soluções temporárias” de modo a garantir a segurança dos usuários, sem esperar o diagnóstico.

O pré-diagnóstico

Diante de um aterro estradal, com comportamento patológico, é tentador imaginar, muito rapidamente, os mecanismos atuantes e desenvolver estratégias de recuperação, com base em um exame rápido. Mesmo por que, haverá pressões exigindo a reparação e também a questão da segurança. A experiência, contudo, nos mostra que os elementos disponí-

veis, apenas com as informações preliminares, são extremamente reduzidos e inconclusivos, principalmente pelo fato de que pode haver múltiplas causas possíveis. De acordo com as informações apresentadas, torna-se interessante buscar um pré-diagnóstico e, depois, o diagnóstico, com uma abordagem bem estruturada sobre o comportamento do aterro estradal. Os elementos, assim observados são, então, vinculados a outros dados disponíveis para estabelecermos o pré-diagnóstico. Por outro lado, poder-se-á levantar os antecedentes do trecho sintomático o que, também fornecerá informações valiosas, passíveis de esclarecer os fatores de evolução dos problemas existentes no aterro

co, com levantamento dos defeitos/ problemas existentes, preferencialmente antes da análise “in loco” marcada.

- Levantar a acessibilidade das diferentes partes do aterro, particularmente taludes, bermas, acompanhado dos problemas existentes, como trincas, vegetação, erosão, mecanismos de evolução, zona de influência, etc

- Levantar todas as redes enterradas, no trecho em questão, relacionadas ao aterro estradal sintomático, em ambos os lados.

- Levantar a importância do trecho estradal, com a região em questão, de modo a qualificar sua relevância.

Na visita ao trecho sintomático, levantaremos todos os detalhes pertinentes, sempre com fotos:

- O ambiente do aterro, seu contexto geológico e



Figura 6 - Nesta rodovia, na Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, houve necessidade de ampliar o aterro, devido a problemas de fissuração longitudinal, devido a presença de solo mole. Para tanto, foi feito melhoramento do solo com geoenrijecimento.

estradal. Alguns são:

- O Histórico da construção, com a construtora e os dados técnicos existentes.

- Os engenheiros ou mesmo os técnicos, que participaram da obra, em todos os estágios, seja da construção, seja de recuperações anteriores ao problema.

- A vizinhança e todos as informações que poderão ser obtidas: A análise “in loco”, do trecho estradal, foi agendada, com pessoal qualificado, onde dever-se-á levantar as seguintes questões:

- Um levantamento topográfico

hidrogeológico local

- A geometria do aterro e seu ambiente, como edificações ou obras existentes ou recentes.

- Seu sistema de drenagem e saneamento, quando visíveis, assim como redes de energia, gás, telefone, etc...

- A condição de estrada e suas particularidades, inclusive se há ou houve instrumentação anterior.

- Informações sobre a vegetação do aterro/ taludes

- A condição do asfalto/ pavimento e seus sintomas

- Constatações da condição do aterro sintomático, os defeitos aparentes (seu histórico se possível) relacionados as patologias e vestígios pertinentes, preferencialmente seguindo a seguinte estruturação:

1. Aterro;

2. Ambiente natural e zona de influência;

3. Camadas e equipamentos do pavimento;

4. Sistema de drenagem;

5. Estruturas adjacentes ao aterro, de forma a limitar as possibilidades de relacionamento;

6. Se certas áreas não puderem ser vistoriadas, programar visita subsequente.

Para se ter uma ideia concreta dos sintomas comuns observados em patologias de aterros estradais, apresentamos alguns abaixo:

- Fissuras longitudinais ou circulares sobre a plataforma. Ver os itens P1 e P2.

- Fissuras ou trincas abertas com surgência de material (Ver P3);

- Presença de equipamentos de sinalização (Ver P6 e C4);

- Recalques localizados (ou uniforme). Ver P4;

- Rutura localizada do talude (Ver C2 e C3).

Certos sintomas não são visíveis no local, como por exemplo compactação deficiente, tratamentos impostos ao solo de fundação, circulação d'água localizada no interior do maciço do aterro, a disposição e

natureza de suas camadas, etc...

No geral, quando o pré diagnostico conduzir a possibilidade de risco eminente, para a segurança dos usuários e terceiros, e a durabilidade da obra, medidas de segurança deverão ser tomadas, sem esperar que o processo para o diagnóstico seja concluído. O melhoramento do solo, com geoenrijecimento costuma ser a única opção para readequar o processo patológico. A planilha e o fluxograma apresentados a seguir, resumem as principais decisões a serem tomadas com base no pré-diagnóstico.

A	<p>A inspeção do aterro, não apresenta nenhuma patologia relevante. Dependendo dos problemas e fatores de desenvolvimento desfavoráveis, poder-se-á:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Agendar nova visita técnica em prazo mais ou menos longo; • Reforçar a vigilância visual; • Se a instrumentação mínima especificada não for essencial, dever-se-á justificar.
B	<p>Se o levantamento não permitir estabelecer um diagnóstico, dever-se-á instalar instrumentos. Em caso contrário, considerando ainda algum risco, poder-se-á:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reforçar a vigilância visível; • Instrumentar e monitorar o local; • Instrumentar e estudar uma solução de melhoramento do solo. <p>Se houver risco significativo, medidas de segurança deverão ser tomadas.</p>
C	<p>Nenhuma modificação no monitoramento do aterro. Examine os fatores de evolução desfavoráveis para identificar se são susceptíveis de intervenção. Poder-se-á eventualmente, reduzir o programa de monitoramento, caso sejam realizados serviços de melhoramento do solo e/ ou a condição do aterro evoluir do tipo D para o C.</p>
D	<p>Não há problemas aparentes, mas a instrumentação apresenta movimentos. Dever-se-á executar um estudo mais detalhado, para análise do fenômeno gerador, estimando-se os riscos envolvidos. Convém examinar a possibilidade de problemas ocultos e a confiabilidade da instrumentação. Os fatores de evolução desfavoráveis podem orientar os estudos.</p>
E	<p>A inspeção visual e a instrumentação deixam evidentes movimentos existentes. Em função dos riscos, poder-se-á decidir:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Continuar a vigilância ou reforçá-la • Reforçar a vigilância e estudar solução de melhoramento do solo • Tomar imediatamente medidas de segurança e estudar solução de melhoramento do solo.
F	<p>A inspeção visual indica comportamento anormal do aterro, mas a instrumentação não indica qualquer movimento. Convém verificar a confiabilidade dos aparelhos instalados, pertinentes a área em questão. Desta forma, em função dos riscos, poder-se-á decidir:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Complementar a instrumentação • Complementar a investigação, com vistorias adicionais, de modo a determinar, melhor, a origem dos problemas. • Continuar ou intensificar a vigilância

Figura 7 - Planilha e fluxograma com recomendações de acompanhamento após o pré-diagnóstico.

Perfilômetro de Recalques

O Perfilômetro de Recalques permite medir recalque e estabelecer um perfil contínuo ao longo de um tubo instalado horizontalmente. Para tanto é instalado um tubo PEAD (Polietileno de Alta Densidade) no aterro por meio de escavação rasa no sentido transversal.

O princípio de funcionamento do sensor baseia-se na pressão de um líquido contido num reservatório sobre uma membrana, a qual está solidária a um fio de aço tensionado. A variação da tensão no fio é proporcional à variação da frequência de vibração do fio. A calibração efetuada em laboratório fornece a relação entre a altura de coluna d'água e a frequência de vibração. As leituras estão isentas de variações barométricas, uma vez que o sensor é ventilado.

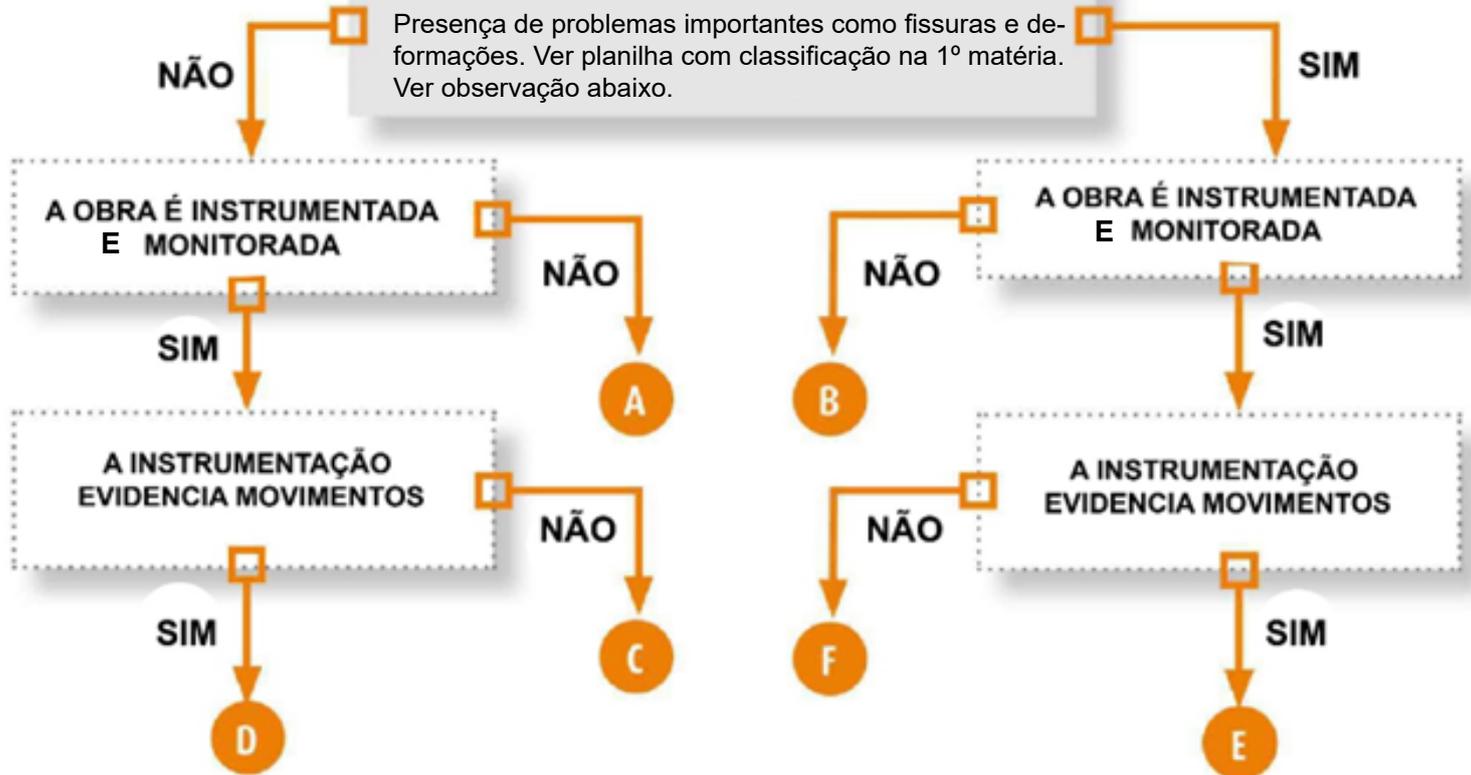


Para maiores informações, acesse: www.rogertec.com.br
ou atendimento@rogertec.com.br



PRÉ DIAGNÓSTICO

Presença de problemas importantes como fissuras e deformações. Ver planilha com classificação na 1ª matéria. Ver observação abaixo.

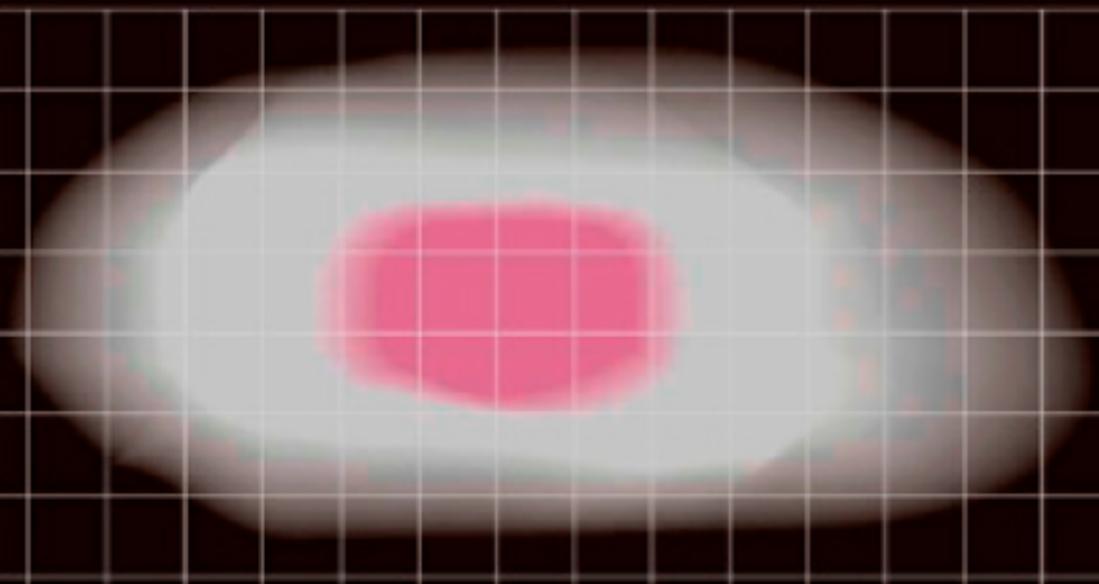


Obs: Os problemas são considerados significativos e comprometem a durabilidade da obra e a segurança do usuário.

REFERÊNCIAS

- Patricia Karina Tinoco é engenheira geotécnica. Trabalha com melhoramento de solos moles.
- Ouvrages de soutènement, Recommandations pour l'inspection détaillée, le suivi et le diagnostic des murs en remblai renforcé par éléments métalliques. Guide technique. Sétra, LCPC, 2003, 107 p.
- Enquête sur la pathologie des remblais construits avec des matériaux sensibles. QUEYROU D. LRPC de Bordeaux, 1992.
- Enquête sur la pathologie des remblais construits en matériaux sensibles, Volume 1 : Synthèse de l'enquête et Volume 2 : Réponses au questionnaire. AURIOL J.-C., MIEUSSENS C. & QUEYROU D., LCPC, 1999.
- DER-SP. IP-DE-C00/001: Instrução de projeto: projeto de estrutura de obra de arte especial. DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO (DER-SP). São Paulo. 2005b.
- FERREIRA, P. F. D. S. Estacas de seção circular semienterradas submetidas a cargas laterais. Universidade Federal de Pernambuco - CTG. Recife. 2017.
- HOPPE, E. J. Guidelines for the use, design and construction of bridge approach slabs. Virginia Transportation Research Council. Charlottesville, VA. 1999.
- LONG, J. H. Differential Movement at Embankment. Chicago: S. M. Stark, 1998.

contaminação de solo?



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

Confie em quem tem experiência.



www.engegraut.com.br

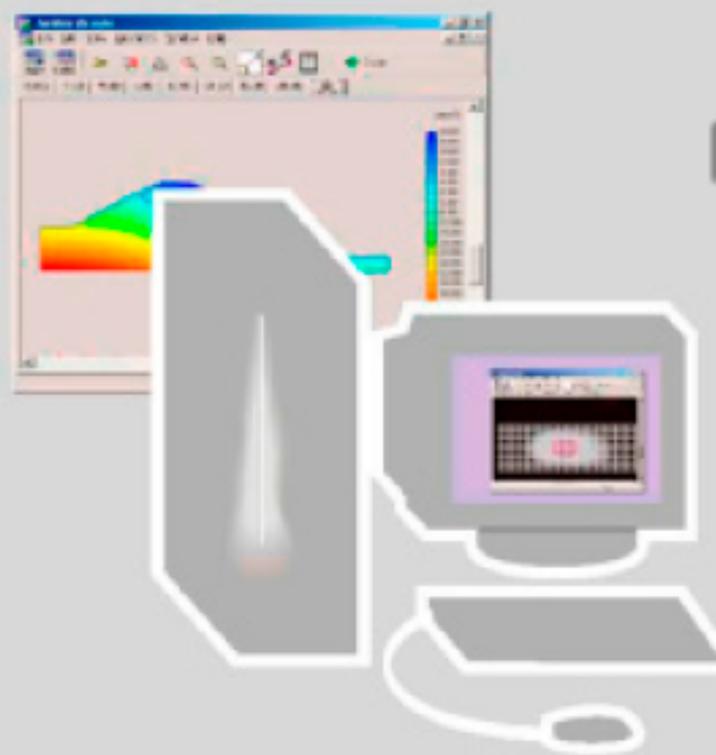




Figura 1 - Rutura de aterro estradal, motivado por ausência de análise do solo de fundação

A TÉCNICA DE INVESTIGAÇÃO E MONITORAMENTO EM ATERROS ESTRADAIS COM PROBLEMAS



Thomas Kim

No pré-diagnóstico as informações acerca da condição do aterro são muito limitadas, tornando-se necessário realizar investigação adicional com ou sem retirada de amostras de solo, utilizando-se trado, analisando-se toda a altura do aterro, de modo a caracterizar propriedades físicas e mecânicas do corpo do aterro ou do solo de fundação, com-

plementando-se com sondagens pressiométricas e tomográficas com imagem. Evidentemente, exige-se que o geotécnico envolvido tenha bastante experiência em melhoramento de solos, dependendo das patologias observadas e dos mecanismos considerados no pré-diagnóstico. Dependendo do objetivo almejado, poder-se-á executar diversos exames laboratoriais, além da própria análise visual:

- Identificando o solo do aterro
- Granulometria
- Sedimentometria

- Teor de umidade com a profundidade
- Índice de plasticidade
- Limite de contração
- Densidade



Figura 2 - "Janela" aberta no pavimento. A fissura coincide com a transição entre solo compactado e o erodido

Are you looking for a soil improvement in portuguese?

BEST SELLER

MELHORAMENTO DO SOLO MOLE E O GEOENRIJECIMENTO



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

- Propriedades mecânicas
- Ensaio triaxial
- Ensaio edométrico
- Ensaio de fluência
- Ensaio de expansão

Os ensaios de laboratório, tem como objetivo caracterizar o estado ou o comportamento do solo, oferecendo mais precisão sobre a origem da patologia. Evidentemente, ensaios mecânicos também são essenciais para o dimensionamento de seu melhoramento. Quase que rotineiramente, faz-se ensaios penetrométricos SPT para caracterizar o solo, ou mesmo CPTu, obtendo-se um perfil contínuo do solo. Mas, indiscutivelmente, ensaios piezométricos (ASTM D4719 ou ISO-22476-4), combinado com ensaios tomográficos MASW com imagem, fornecem informações de resistência e rigidez precisas, que podem ser utilizadas no projeto de dimensionamento do melhoramento do solo, além das próprias correlações existentes, que nos permitem estimar as características do solo como um todo. O uso de imagem tomográfica GPR permite, também para o caso de solos não argilosos, localizar anomalias que possam assemelhar-se à cavidades, tubos, blocos ou mesmo a presença de solo, que absorve o sinal do radar (argila), identificando-a, além da determinação das diferentes espessuras que compõe o sub-leito e o pavimento. Sua profundidade de investigação é considerada baixa ou média (3 a 5m em geral, dependendo da antena escolhida)

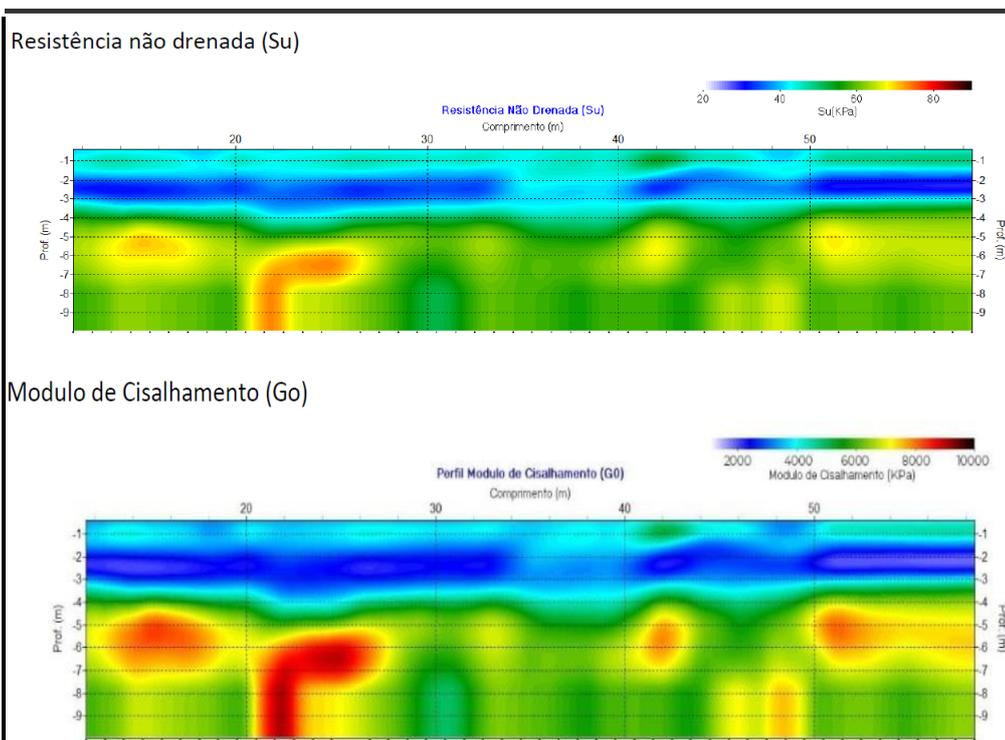


Figura 3 - Análise do solo, com tomografia de ondas, analisando-se a resistência e sua rigidez.

Dependendo dos fenômenos suspeitos, dever-se-á estipular um tempo mínimo de alguns dias ou meses; para evitar erros de julgamento. Por exemplo, um monitoramento piezométrico, iniciado em um período de muita estiagem pode, inicialmente, não tornar evidente qualquer anomalia, enquanto que com a presença de chuvas, ter-se-á aumentos significativos do NA e suas consequências. De qualquer maneira, a presença de piezômetros é super importante, de modo a quantificar a dissipação das poropressões e verificar a não anulação das tensões efetivas (risco de instabilidade). A piezometria pode ser particularmente interessante para verificar as hipóteses de estabilidade geral e, minimamente, para garantir a eficácia do sistema de drenagem. Em termos de equipamentos, distinguem-se tubos piezométricos abertos, adequados para medição da flutuação do lençol freático, em meios relativamente permeáveis ($k > 10^{-5}$ m/s) e sondas de poropressões, adequadas em todas as outras situações.

A utilização de inclinômetros, pode ser necessário, dependendo do tipo de movimento que o trecho estradal apresenta. A medição inclinométrica registra variações da inclinação do aterro, e sua evolução (podendo detectar o início ou propensão a um deslizamento) em relação a posição inicial, através de um tubo guia por onde desce o instrumento. Todo e qualquer aterro é objeto de levantamento topográfico, que serve como ponto zero ou de referência no momento do diagnóstico além, claro, da determinação da geometria precisa da obra. A mediação pode ser realizada em altitude simples (que permite localizar recalques) ou em X, Y, Z, permitindo obter visão tridimensional do movimento do aterro. Poderá ser necessário, para se chegar ao diagnóstico, recalcular o aterro, ou seja, verificar-se sua estabilidade e/ ou sua condição de recalque previstos inicialmente. Havendo a presença

de solos moles, este estudo deverá ser feito por um especialista em melhoramento de solos moles. O objetivo do dimensionamento, é limitar a evolução para casos que não sejam críticos (estabilidade). Uma lista dos principais estados limites, a serem considerados, poderá ser encontrado no Eurocode 7 (NF EN 1997-1) seção 12. Este recalculo só será significativo, se os diferentes parâmetros envolvidos forem justificados. De uma maneira geral, torna-se importante adotar um ponto de vista crítico, em relação aos parâmetros geotécnicos e sua variabilidade pertinente ao aterro em questão, e ao solo de fundação. E, por fim, chegando-se a modelização do comportamento interno do aterro, complexo devido ao estado não saturado do material constitutivo, suas leis de comportamento clássicas, da mecânica dos solos saturados, não se aplicam diretamente ou apenas de modo padrão. Sua utilização, em aterros estradais, ainda é objeto de pesquisas. Para a montagem do diagnóstico, torna-se útil identificar estes comportamentos, examinando como o aterro poderá ser estudado. Na prática, para estudos de estabilidade, o solo do aterro é considerado saturado (o que é uma hipótese secundária) sendo recalculado utilizando-se um método de equilíbrio limite (Fellenius, Bishop, perturbações, etc) para curto e/ou longos prazos.

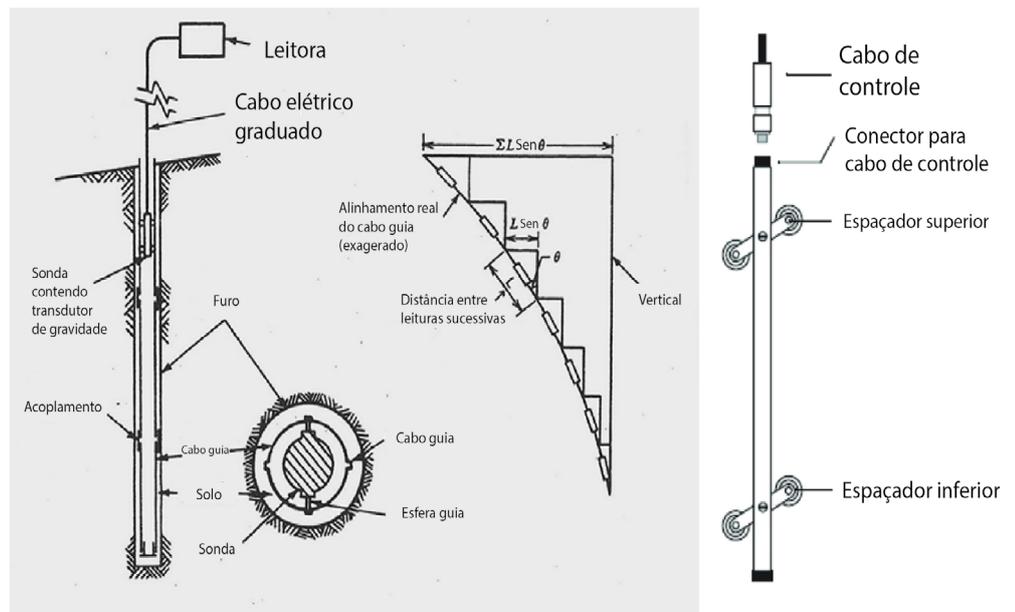


Figura 4 - O inclinômetro como instrumento necessário para análise de aterros sintomáticos.

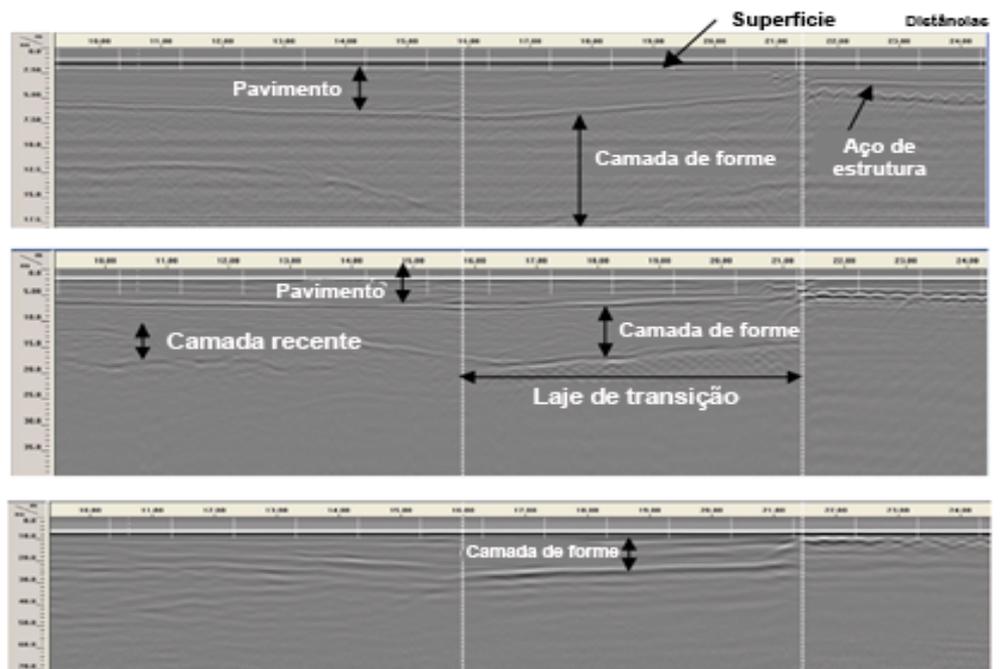


Figura 5 - Perfil do radar em um aterro de encontro com antenas de diferentes frequências.

Diretrizes para manutenção e recuperação de trechos de aterros estradais.

Chegamos, finalmente aos meios ou as formas de manutenção ou de recuperação (melhoramento do solo) dos aterros estradais com patologias. Os gestores da rodovia em questão, não devem abster-se, caso seja constatado qualquer problema em um trecho estradal, de consultar um especialista geotécnico em melhoramento de

solos moles, de modo a propor a metodologia de recuperação ou, simplesmente, analisar a que foi escolhida. A notória falta de manutenção em nossas estradas, na maioria das vezes, conduz a surgência ou ao agravamento dos problemas. De modo a se evitar esta evolução, torna-se necessário proceder a manutenção das estradas e dos seus dispositivos associados. Usualmente, dividimos a manutenção dos aterros estradais em duas categorias:

1º Manutenção de rotina, com intervenções regulares, ao longo de um ano. Geralmente, é realizado pela divisão de serviços da operadora.

2º Manutenção especializada, logicamente bem mais cara, por que exige serviços bem mais qualificados, somente realizados por empresas habilitadas.

Só para esclarecer, a manutenção de rotina refere-se aos trabalhos relacionados à inerente vegetação associada aos aterros, a gestão da água e aos aspectos da superfície da rodovia (buracos, fissuras, recapamento, drenagem, etc). É estrategicamente interessante, aproveitar a manutenção de rotina, para executar a visita técnica de monitoramento, já que são áreas sensíveis e que revelam diversas anomalias. Por exemplo, dispositivos de coleta e descarga de águas pluviais, devem ser motivo de manutenção/ monitoramento constante, considerando-se que qualquer falha nestes sistemas, degrada rapidamente o corpo do aterro. Águas no pé do aterro, corriqueiramente, são provenientes do escoamento superficial do trecho estradal e, geralmente, são evacuadas por valas em formato trapezoidal. Especial atenção deve ser dada a surgência de fissuras na pista de rolamento e ao longo do acostamento, além de deslocamentos entre a rodovia e peças rígidas (concreto), pois são responsáveis por grande penetração d'água, o que acaba por comprometer o conjunto do aterro estradal. A dimensão da recuperação do talude comprometido, deverá ser avaliada com estudo de estabilidade, de modo a checar outras áreas não sintomáticas. Na prática, esta recuperação



Figura 6 - Defeito de estanqueidade entre a borda do concreto e a camada do pavimento, o que gera inevitáveis problemas



Figura 7 - Fissuras típicas de início de deslizamento: O preenchimento das fissuras reduz o agravamento do fenômeno

• Por sua própria resistência ao cisalhamento, ou seja, o ângulo de atrito do material a ser utilizado geralmente elevado, permite a mobilização de resistência adicional ao longo das superfícies de rutura, que interceptam a recuperação.

O melhoramento prévio do solo, com geoenrijecimento, garantirá toda a estabilidade necessária.

• Pelo seu efeito de peso, aumentando os momentos resistentes, em detrimento dos momentos de impulsão, pertinentes ao terreno em movimento. A técnica de recuperação, de um talude sintomático ou mesmo rompido, é relativamente fácil de ser realizada, desde que o acesso ao pé do aterro seja possível. Para o caso de ruturas de talude, com parede vertical, junto a estrada existente, impedindo a realização de degraus, pode ser realizada desta maneira, pois não há como paralisar a estrada, principalmente quando for uma BR. A estabilidade do trabalho realizado, para este caso, estará garantida. No entanto, é normal que certos movimentos continuem após a recuperação do talude, com a formação de fissuras longitudinais ao longo da emenda, devido a incompatibilidade e permeabilidade dos materiais aplicados e os existentes. Neste caso, sugere-se a injeção de



Figura 8 - Aterros em áreas portuárias fluviais. A presença de trincas, próximo as bordas dos aterros, exige serviço de melhoramento imediato, considerando que o esvaziamento dos rios provoca consequentes deslizamentos

material flexível ao longo da “junta” formada, de modo a impedir a penetração de água. O preenchimento da junta, feito com calda de cimento, não costuma dar efeito, já que a movimentação natural diferenciada dos dois blocos, irá cisalhar o material rígido, expondo novamente a “junta”. De qualquer maneira a “junta”, sem qualquer tratamento, poderá se manter muitos meses.

O melhoramento do solo

O melhoramento efetivo do solo do aterro (incrementando-se as resistências compressivas, cisalhantes e de tração) é feito com o método do geoenrijecimento, utilizando a técnica do Compaction Grouting, ou do CPR Grouting, que consiste na furação de verticais regularmente espaçadas, bombeando-se bulbos de argamassa seca, mediante equipamento especial, expandindo-se cavidades, o que faz comprimir o solo, ao mesmo tempo que estrutura-o (resistência interativa solo-bulbos). Este serviço é realizado de forma cuidadosa, monitorando-se a pressão e o volume bombeado. Dependendo da patologia encontrada no aterro, particularmente em sua borda, poder-se-á instalar barras metálicas verticais, conjuntamente com a formação dos bulbos (resistência à tração adicional). Adicionalmente, poder-se-á projetar um revestimento,



Figura 9 - Ampliação estradal na rodovia Anhanguera (SP-330), com criação de uma via marginal. Houve necessidade de melhoramento do solo devido a presença de solo mole e a altura do aterro com 12m. A particularidade importante foi a tubução de gás da Congás, com 800mm que ficou anexo ao aterro. Observar a nova galeria para o riacho existente.

como concreto projetado por exemplo, com malha metálica fixada as barras metálicas. A vantagem desta metodologia, é que ocupa pouco espaço para ser realizada, mantendo-se a geometria inicial do aterro. Por outro lado, adapta-se a todo tipo de aterro, seja arenoso ou argiloso. Em termos de funcionalidade, a resistência do material, adicionado ao aterro, é solicitada progressivamente pela movimentação do aterro, até sua total estabilização ou descontinuidade deformativa. Portanto, de acordo com



Figura 10 - Início de rutura com fissuração em arco.



Figura 11 - Início de rutura com fissuração em arco.



Figura 12 - Início de rutura com fissuração em arco.

serviços realizados, é normal que algum movimento ainda ocorra, após o

O reforço para contenção de aterros

Trata-se da adição de estrutura de contenção ao aterro, com objetivo de sustentar o desnivelamento no terreno. Esta estrutura fica,

portanto, submetida a forças provenientes do aterro à montante (empuxo de terra) e, eventualmente, à água. Seu modo de funcionamento é definido em função do seu comportamento em relação a estes esforços e, mais precisamente, pela maneira como irá solicitar a resistência do

solo de fundação, bem como dos elementos estruturais que formam a estrutura. Há diversas formas de contenção de aterros. Na Amazonia por exemplo, a única maneira de dar estabilidade aos aterros estradais ou protuários, a beira de seus rios, é com melhoramento de solos, já que estruturas de contenção a base de colunas ou estacas, não suportam os enormes empuxos de terras, dos excessos de poropressão provocados de jusante, devido à rapidez com que seus rios vazam. O famoso fenômeno das terras caídas é consequência deste espantoso fato.

REFERÊNCIAS

- Thomas Kim é engenheiro geotécnico especializado em melhoramento de solos moles.
- Ouvrages de soutènement, Recommandations pour l'inspection détaillée, le suivi et le diagnostic des murs en remblai renforcé par éléments métalliques. Guide technique. Sétra, LCPC, 2003, 107 p.
- Enquêtesurlapathologie desremblais construitsavec desmatériauxsensibles. QUEYROID. LRPC de Bordeaux, 1992.
- Enquête sur la pathologie des remblais construits en matériaux sensibles, Volume 1 : Synthèse de l'enquête et Volume 2 : Réponses au questionnaire. AURIOL J.-C., MIEUSSENS C. & QUEYROI D., LCPC, 1999.
- REESE, L. C.; VAN IMPE, W. F. Single Piles and Pile Groups Under Lateral Loading. 2nd. ed. London: CRC Press, 2011.
- TERZAGHI, K. Principles of Soil Mechanics: I—Phenomena of Cohesion of Clays. Engineering News-Record. Vol. 95, No. 19. 1955.
- TIMOSHENKO, S. P. History of strength of materials: With a brief account of the history of theory of elasticity and theory of structures. McGraw Hill. New York. 1953.
- TONIAS, D.; ZHAO, J. Bridge Engineering: sign, Rehabilitation and Maintenance of Modern Highway Bridges, 2nd ed. McGraw-Hill. New York, NY. 2007.



SSBi SOFT SOIL BRAZILIAN INSTITUTE

O SOFT SOIL BRAZILIAN INSTITUTE ajuda você a entender solos moles

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

softsoilbrazilianinstitute.com.br



SOFT SOIL BRAZILIAN INSTITUTE
Rua Correia de Araújo, 12- Barra da Tijuca
Rio de Janeiro/ RJ- Brasil- CEP 22611-070

Tel: (21) 3851-6218

EDIÇÃO

DIRETOR EDITORIAL
M.Sc. Joaquim Rodrigues

DIRETORES ADJUNTOS
Eng° Thomas Rodrigues
Eng° Roger Kim
Engª Patricia Tinoco

PUBLICIDADE, ASSINATURA
Cleide Ferreira

EDITOR DE ARTE
Victor Peres

REPRINTS EDITORIAIS
Mariana Tati

FALE CONOSCO
softsoilgroup.com.br

 @engegraut

 (21) 3154-3250

atendimento@softsoilbrazilianinstitute.com.br

PARCEIROS



"Soft soil Brazilian Review" é uma revista digital com publicação bimestral. Receba notificação de nossa revista. Inscreva-se em:
atendimento@softsoilbrazilianinstitute.com.br