

# OUÇA AS ESTRUTURAS.



Monitoramento com fibra ótica.

EDIFICAÇÕES, PONTES, BARRAGENS E ATÉ PLATAFORMAS OFFSHORE JÁ TÊM PEQUENOS SENSORES QUE MONITORAM TODA A ATIVIDADE ESTRUTURAL DIRETAMENTE PARA LAP-TOPS, MONITORANDO-A.

Monitoramento wireless.



## O fio da meada

Infra-estruturas civis são artérias da atividade econômica e social, elemento essencial para a vida humana. Todo o investimento em infra-estruturas civis como edificações, pontes, barragens, reservatórios, túneis, tubulações, aeroportos, estádios etc, representa simplesmente o progresso da civilização e, mais importante, sua qualidade reflete o avanço da engenharia de um povo. Naturalmente, processos de degradação e deterioração são física e quimicamente inevitáveis. Os enormes avanços na tecnologia dos sensores, comunicação wireless e a rápida capacidade de processamento de dados, combinada com as notáveis descobertas na obtenção de algoritmos de localização e identificação torna a MAE, hoje, disciplina high-tech obrigatória para todo engenheiro civil e uma disposição para toda estrutura.

O segredo é que idéias, mensagens, materiais, hábitos, comportamentos se propagam como vírus, por contágio, quando na realidade se acreditava que tudo isso era um processo gradativo, acumulativo. Um jor-

## MONITORAMENTO

Mariana Tati

**D**e que maneira o “capitão Nascimento” se tornou “herói nacional” em “tropa de Elite”, um tema de debates? Em que momento “o caçador de pipas”, um livro sobre a distante realidade do Afeganistão, virou best seller no Brasil? Como funciona a propaganda boca a boca? O que, enfim, faz de uma tendência, moda; de um detalhe, mania; de uma nova tecnologia, epidemia. Aí está a palavra: epidemia.

## GLOSSÁRIO

**Algoritmo** – processo ou operação de cálculo. Série de operações matemáticas que fornecem soluções de problemas.

**Monitoramento da Atividade Estrutural (MAE)** – campo da engenharia especializado em detectar, medir e analisar o comportamento da atividade estrutural e seu ambiente circundante. Parâmetros como vibração, deslocamento, deformações, temperatura, corrosão, e uma série de informações químicas, a nível dinâmico e estático faz parte do acervo da MAE. A informação obtida com a MAE é utilizada para planejar atividades de manutenção, recuperação, segurança, verificação de hipóteses e redução de toda sorte de incertezas. A cultura da atividade da MAE desenvolve-se à passos largos em todo o mundo, pois significa acima de tudo muita economia.

nalista americano (“Ponto de equilíbrio”, de Malcolm Gladwell) mostrou que não é bem assim e que há um momento, um “de repente” que determina o salto, a mudança de paradigma. As coisas vêm vindo aos poucos, devagar e eis que uma fagulha, um instante aparentemente insignificante desencadeiam o incêndio, que se alastra. Ele chama a isso “ponto de desequilíbrio”, ou seja, a interseção em que um pequeno fato, um detalhe desarma uma situação estável e acelera, subitamente, um processo que vinha se desenvolvendo em ritmo constante e regular – como o princípio da gripe. Quero dizer que estamos começando, de enxurrada, uma nova era na engenharia civil. Mudanças radicais na forma de projetar, construir, operar e recuperar estruturas. Até há bem pouco tempo atrás, estruturas eram construídas com o único propósito, por exemplo, de suportar cargas. A natureza, que nos ensina a construir e reparar, cria quase sempre estruturas multifuncionais. Olhe para sua mão! Super competente para se-

#### GLOSSÁRIO

**Sensor** – aparelho que converte energia de uma forma para outra. A energia de entrada no sensor representa o fenômeno físico/químico que se deseja medir.

## Visão do Monitoramento da Atividade Estrutural (MAE)

Considere uma edificação, comercial ou industrial, instrumentada por centenas de pequenos sensores, que fornecem informações necessária para o conhecimento do seu comportamento ou da atividade estrutural da edificação. Caso ocorra qualquer evento, esta rede pode identificar a localização do dano na estrutura, assim como sua severidade, diagnosticando-o logo no seu limiar. O

MAE tem como propósito básico conhecer as condições de estabilidade, segurança e, propriamente, o comportamento das estruturas, tanto na forma estática quanto dinâmica.



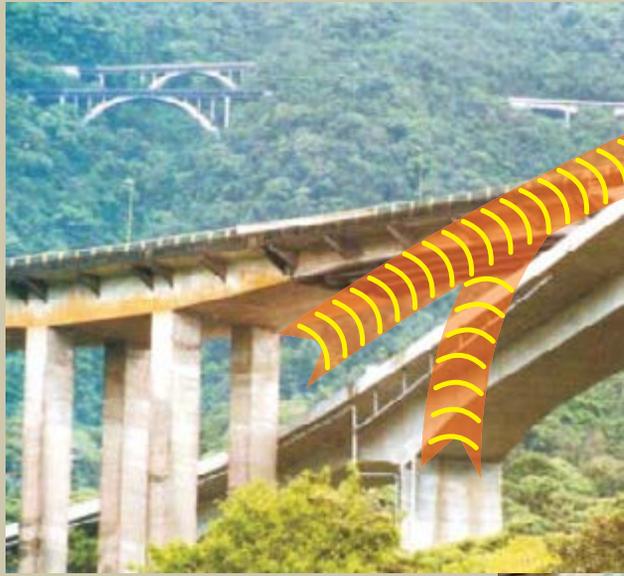
gurar objetos não é? Permite também que você analise detalhes associados como o peso e velocidade com que maneja objetos. Sua mão também é hábil para analisar a pressão do vento e da chuva e checar variações de temperatura. Se sua mão, por outro lado, sofre um pequeno corte, você imediatamente toma conhecimento da localização e da extensão da ferida, sem necessariamente vê-la. Finalmente, seu corpo poderá reparar a tal ferida, sem qualquer intervenção externa, a não ser que seja grave. Isto, sem falar na versatilidade, destreza e na gama de movimentos possíveis que a mão humana é capaz de realizar. Trata-se, portanto, de uma estrutura notável que, acreditamos, continuará a ser por mais algum tempo, até que possamos copiá-la. Não desejamos tamanha perfeição, mas construir estruturas

com base no paradigma biológico, de modo que possamos monitorar sua atividade e, porque não dizer, sua saúde. Soa bem e faz sentido, apesar de algumas dúvidas que possam surgir. Esta epidemia, este incêndio que tomou a engenharia civil de assalto é a tecnologia do monitoramento da atividade estrutural, MAE.

### MAE e os números

Os números. Ah, os números! Foi Galileu Galilei que disse que a natureza fala matemática? Fosse quem fosse, queria dizer que a matemática é a linguagem do universo complexo para a linguagem humana que é só uma ínfima parte dele. Na linguagem dos números não existe retórica, duplo sentido e nem discussão. Monitorar ou conhecer a





resposta estática e dinâmica das estruturas, através dos números, implica em saber de sua saúde, tomar conhecimento da MAE

### Objetivos da MAE

Basicamente, todo tipo de estrutura pode ser monitorada, de acordo com propósitos diversos.

#### Estruturas

Pontes  
Edifícios  
Túneis  
Barragens  
Estádios e  
Outras estruturas

#### Propósito

Estabilidade  
Segurança  
Comportamento  
Projeto  
Qualidade

com a identificação de vibrações e frequências anormais, visualização da distribuição das tensões e deformações de flexão e cisalhamento, nível de corrosão das armaduras e cabos protendidos, contaminação do concreto etc. Estudos e mais estudos feitos em estruturas nos ensinam que mudanças na autofrequência são de extremo

valor para detectar anormalidades ou danos do tipo trincas e fissuras. Por exemplo, já são rotineiramente utilizados sensores de deformação, de corrosão e de deslocamento em vigas caixão de pontes e viadutos para análise do seu comportamento diário, que evitam aquelas inconvenientes, caras

Continua na pág. 09

# GECOR 8

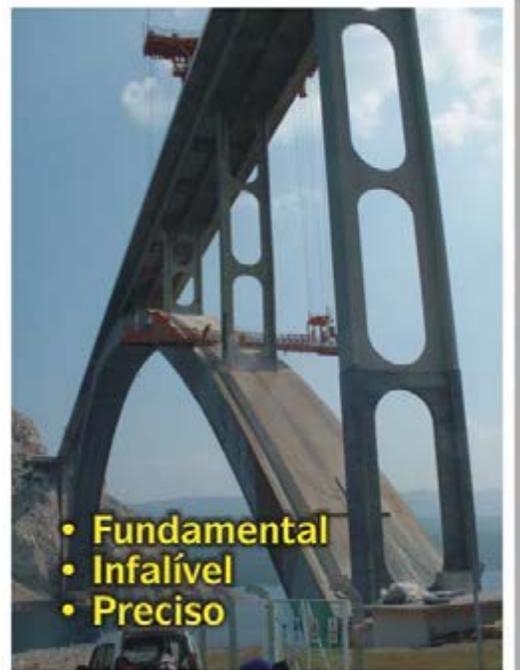


### GRANDES OBRAS EXIGEM O MELHOR EQUIPAMENTO

Medição dos potenciais, resistividade e velocidade da corrosão do concreto armado-protendido.

#### GECOR 8

Tele-atendimento  
(0XX21) 3154-3250  
fax (0XX21) 3154-3259  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 02



- Fundamental
- Infalível
- Preciso

AS ESTRUTURAS SÃO DINÂMICAS.  
OUÇA-AS.



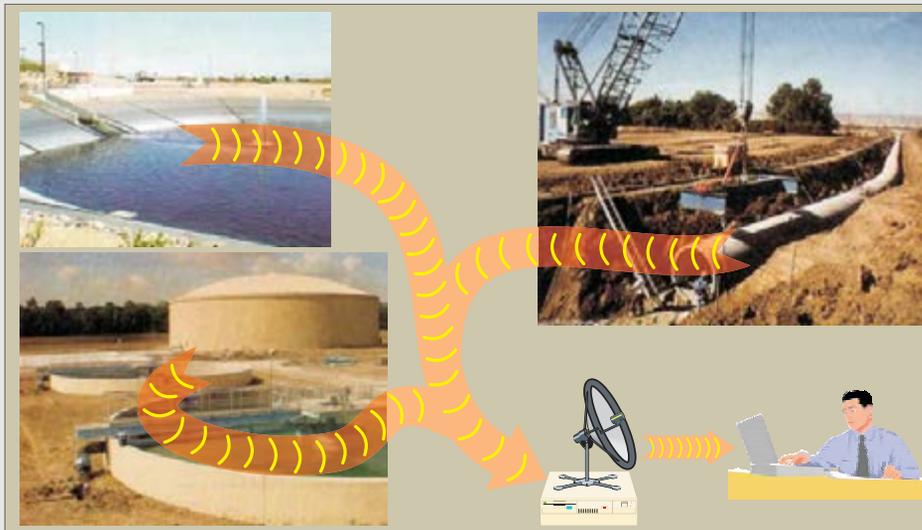
ROGERTEC

SENSOR

Nunca foi tão fácil entendê-las.

Faça hoje mesmo o monitoramento da atividade estrutural.

[www.rogertecensors.com.br/downloads/mae.pdf](http://www.rogertecensors.com.br/downloads/mae.pdf)



Lagoas de efluentes, tanques e tubulações são possíveis de analisar pela MAE.

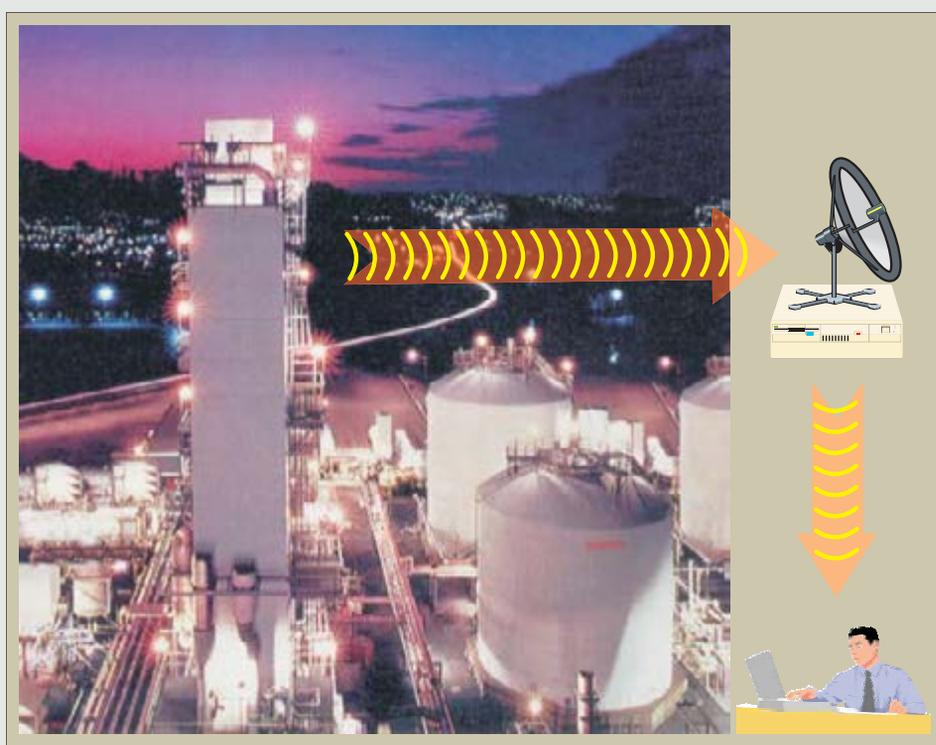
seu sistema comportamental, de modo a modificar a situação da estrutura ou sua resposta a carregamentos imediatos ou futuros. Esta reação pode envolver partes móveis da estrutura e mudar sua rigidez em uma determinada região, de maneira a otimizar seu comportamento. Com a tecnologia dos compósitos de fibra de carbono, que promovem reforços estruturais quase que instantâneos e da proteção catódica, que interrompe processos de corrosão, é possível, a um simples sinal do sistema de monitoramento, não só corrigir o problema de forma imediata

e pouco precisas vistorias técnicas que, na maioria das vezes, só é tradiamente promovida devido ao aparecimento de um ou mais sintomas. Será que a análise visual e a experiência do consultor poderá identificar o que a estrutura tem? Hoje, estruturas são monitoradas com a utilização de programas que identificam eventos críticos ou importantes tais como: alterações ou mudanças na frequência de utilização e seu alcance dinâmico, assim como deformações excessivas, analisando, adicionalmente, dados importantes e deletando os pouco significativos. Tudo isto, traduzido em gráficos facilmente interpretados por técnicos e engenheiros. O reforço de estruturas antigas, sejam elas edificações, pontes etc, com tecnologia da fibra de carbono aumenta seu fator de segurança e, com ou sem surpresa, neutralizam futuros efeitos perniciosos naquelas estruturas sem nenhum histórico de comportamento, como são nossas obras públicas, por exemplo.

### MAE

Hoje já representa para as telecomunicações e conforme publicado nas RECUPERAR Nº 20 e 50, uma nova tecnologia que se adequa como uma luva ao conceito de controle e monitoramento de todo tipo de estruturas civis e industriais, um verdadeiro marco na engenharia civil.

A MAE permite informação atualizada, a cada segundo, 24 horas por dia, transmitida por linhas de telefone, celular, digital ou satélite, para estações de controle em qualquer parte do país. Técnicos e engenheiros podem, através da internet, saber a condição de uma edificação, barragem,



ponte ou túnel, em tempo real, considerando-se o ambiente e as cargas a que estão submetidas, sempre comparando-a a um modelo padrão desejado, presente no mesmo computador que recebe as informações. Novamente, com base no padrão biológico, do tipo nervos ou músculos, idealizou-se um nível equivalente de sofisticação para uma estrutura que chamamos de inteligente, onde se lê em seu sistema de informação estrutural, deformações e tensões de flexionamento e cisalhamento, deslocamento de juntas, vibração, temperatura, umidade, pH, contaminação com cloretos, sulfatos etc, níveis de corrosão, além de outros parâmetros que estão integrados com

como também evitar prejuízos físicos, químicos e financeiros mais adiante.

**fax consulta nº 03**

**RECUPERAR**

Para ter mais informações sobre Monitoramento.

www.recuperar.com.br

**REFERÊNCIAS**

- Mariana Tati é engenheira civil e trabalha no repairbusiness.

# AGORA É LEI.

TANQUES COM PRODUTOS CORROSIVOS TÊM QUE TER PROTEÇÃO SECUNDÁRIA NA FORMA DE BACIAS DE CONTENÇÃO ESTANQUES. CONHEÇA AS NOVAS DIRETRIZES QUE PROTEGEM O NOSSO AMBIENTE DE TODO TIPO DE VAZAMENTOS EM TANQUES INDUSTRIAIS.

PROTEÇÃO SECUNDÁRIA

Patrícia  
Karina Tinoco

Todo tanque industrial deve ter sua própria adequação a chamada proteção secundária. Trata-se de uma bacia totalmente estanque ao produto químico específico.

**T**odo este alarde diário a respeito da contaminação ambiental por chuva ácida, por canais, rios e praias com suas águas recheadas de esgotos e o próprio ar distante de complexos industriais desencadeiam cada vez mais normativos de proibição acompanhados das soluções respectivas, pelo menos no tocante a tanques que estocam produtos químicos corrosivos. Realmente, estocar produtos químicos em tanques de concreto e metálicos, sem que haja qualquer tipo de vazamento, não

chega a ser missão impossível, mas necessita de conhecimento e muita tecnologia. Caso contrário, apenas alguns meses depois, sinais de deterioração tornam-se aparentes. A maioria, se não todas as indústrias estocam produtos químicos corrosivos ou não essenciais à sua operação. Óleos combustíveis e diesel são considerados combustíveis primários. Hidróxido de sódio (soda cáustica), hipoclorito de sódio e ácido sulfúrico são utilizados quase que genericamente por indústrias, particularmen-



te as que processam alumínio, estações de tratamento etc. Hoje, dispomos de tecnologia de proteção, associada a novos polímeros capazes de, uma vez bem dimensionados, protegerem tanques, sejam eles grandes ou pequenos, de concreto ou metálicos. Contudo, acidentes acontecem. Juntas podem apresentar vazamentos, paredes de concreto armado, protendido ou metálicas corroem, além de mudanças na utiliza-

Continua na pág. 16

RECUPERAR • Março / Abril 2008

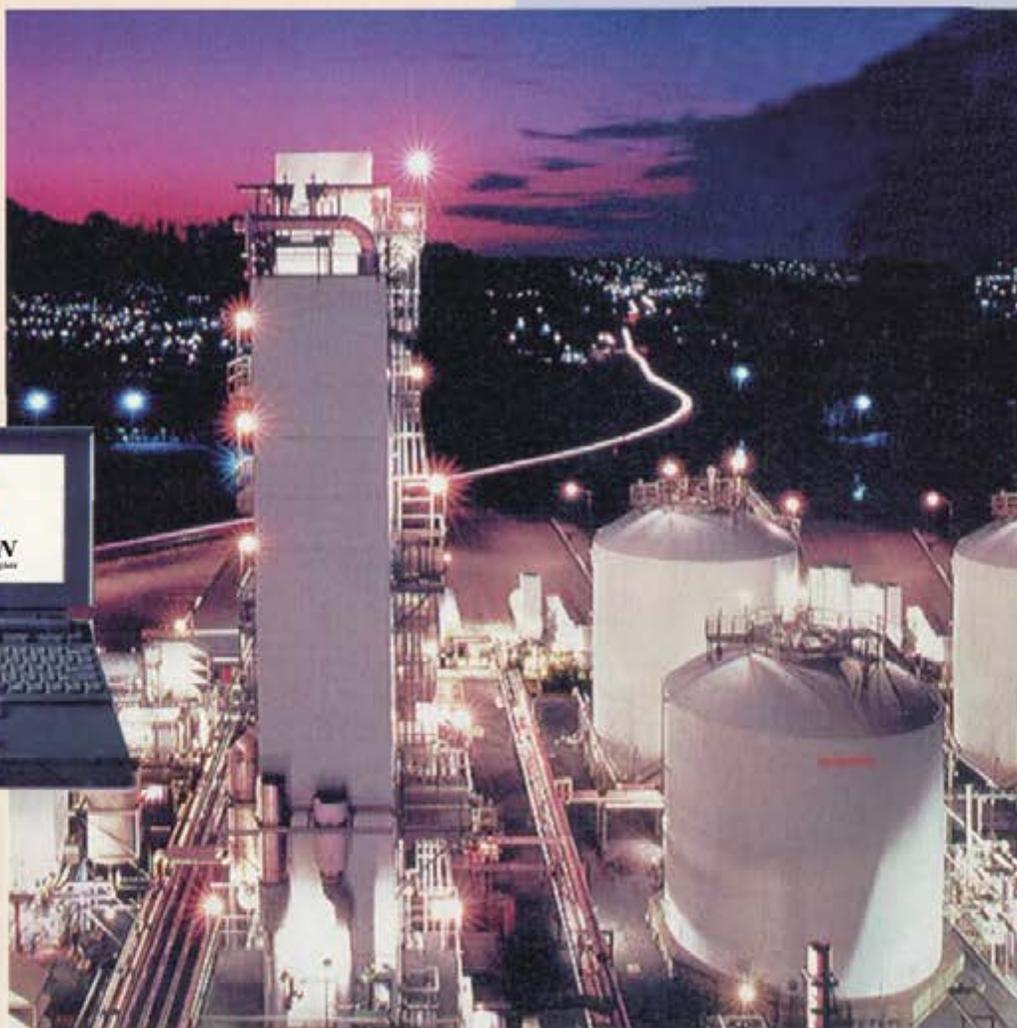
# Proteção secundária de tanques industriais agora é lei. Consulte-nos, temos todas as informações

No mundo inteiro estabelecem-se normas específicas de proteção secundárias para tanques industriais que estocam produtos

corrosivos ou não. Conheça estas diretrizes e mantenha-se em dia com a lei e com o ambiente.



*O IPACON tem à sua disposição o estado da arte e as normas respectivas em matéria de proteção secundária para tanques industriais.*



Tel.: (21) 3154-3250  
Fax: (21) 3154-3259  
[www.ipacon.com.br](http://www.ipacon.com.br)  
[atendimento@ipacon.com.br](mailto:atendimento@ipacon.com.br)

ção destes tanques também são comuns. O resultado são vazamentos de produtos corrosivos para o solo, atingindo o lençol freático que nos abastece. É importante, obrigatório e normativo, hoje, bacias de contenção ou proteção em torno dos tanques, de modo a impedir o ataque à mãe natureza. É a chamada impermeabilização ou contenção secundária, citada pela nova norma ABNT NBR 17505-2 cujo objetivo é conter respingos e vazamentos dos tanques de contenção primários e dos sistemas que transportam os produtos químicos corrosivos. Muitas indústrias, pequenas e grandes, ainda não atinaram para este importante dispositivo e continuam a poluir a sua, a minha, a nossa terra, até que órgãos ambientais de controle vejam e apliquem pesadas multas. Bacias de contenção secundária, como o próprio nome alerta, não necessitam ter a mesma sofisticação protetora aplicada nos tanques primários. Contudo, é necessária tecnologia para protegê-las.

### Diretrizes para proteger bacias de contenção

Para selecionar a tecnologia adequada à proteção das bacias de contenção secundárias, precisamos considerar os seguintes fatores:

- Grau de segurança necessário;
- Poder tóxico ou de periculosidade do vazamento químico;
- Possibilidades de respingos e vazamentos;
- Exposição química e sua concentração;
- Variações de temperatura do ambiente e dos tanques;
- Duração de exposição, da detecção ou conhecimento e os planos de controle e limpeza;
- O tempo de vida (durabilidade) do sistema de proteção;
- Exposição durante a operação.

A primeira consideração a ser analisada refere-se ao perigo e às responsabilidades advindas de respingos ou vazamentos dos tanques primários. Produtos químicos tóxicos ou perigosos exigem altos níveis de segurança, o que significa dizer que a tecnologia empregada na proteção/impermeabilização dos tanques primários deverá ser empregada nas bacias de contenção secundária. Evidentemente, para produtos químicos menos tóxicos, exigir-se-á níveis menores de segurança.



Todas as instalações que contenham tanques deverão ter bacias de contenção específicas para o produto químico estocado. A impermeabilidade química da bacia, ou seja, a proteção secundária, deverá ser feita com produtos cimentícios e/ou poliméricos resistentes, específicos contra o produto estocado no tanque.



### Bacias de proteção em concreto

Contenção secundária, na verdade, inclui vigas de parede dupla, tubulação revestindo outra tubulação, membranas de PVC aderidas, membranas plásticas armadas com fibra e concreto polimérico. Não é preciso ser catadrático para afirmar que o bom e velho concreto é campeão em matéria de contenção secundária por ser barato, resistente (não tanto) e de fácil construção. Bacias, calhas, canaletas e forros são es-

truturas comuns de contenção feitas de concreto, geralmente armado. Esta revista, no entanto, tem apresentado inúmeras matérias em que deixa claro que concreto (armado) sozinho, só tem força física. Sua resistência química é tão nula quanto inócua. O guia técnico AC1515.1R do American Concrete Institute apresenta uma lista (enorme) dos produtos que sensibilizam o concreto, apresentando os respectivos efeitos. Soluções cáusticas, sejam ácidas ou básicas, simplesmente desintegram o con-

**PVC BOND**

A melhor proteção secundária com PVC aderido no Brasil

**PVC BOND**  
 Tele-atendimento  
 (0XX21) 3154-3250  
 fax (0XX21) 3154-3259  
 produtos@recuperar.com.br  
 Fax consulta nº 07



Tanques e produtos altamente corrosivos geralmente deverão ter a proteção secundária na forma de bacias protegidas com revestimentos bem dimensionados para resistir ao ataque químico.

creto. Sua rede de capilares forma uma formidável malha viária, viabilizando o transporte dos contaminantes concreto adentro, com direito a banhar armaduras e cabos de protensão. Isto, sem contar a inerente quantidade de fissuras e trincas, verdadeiras auto-estradas concreto adentro. Assim, evidentemente, torna-se obrigatório revestir o pobre do concreto, seja com PVC aderido específico ou com revestimento epóxico novolac, estruturados ou não, de modo a torná-lo estanque ao ataque químico. Concreto não é um material 100% homogêneo, uniforme e, mais importante, possui algumas características físicas que traduzem sua confiabilidade, ajudando na escolha do revestimento de proteção. A primeira característica sobressai: sua condição superficial, que pode variar muito. Sua composição e o lan-

çamento definem duas outras características importantes para a situação em questão, quer dizer o revestimento que será aplicado sobre ele, faz de sua resistência à tração um aspecto importante. Diversos revestimentos ou produtos de proteção podem exercer tensão de tração em sua superfície superior a do concreto. Todo aquele processo de retração, movimentação térmica, suas juntas de dilatação e controle são fatores que devem ser considerados no design do revestimento protetor. Estruturas antigas apresentam características diferentes das novas. Estas últimas sofrem todo aquele processo que, invariavelmente, produz fissuras e trincas em sua superfície. As antigas não. Por falar em trincas, é preciso saber se são ativas ou inativas. As primeiras deverão ser tratadas provavelmente como junta de dilatação. As ou-

tras podem ser simplesmente preenchidas com uma infinidade de adesivos.

### O revestimento para as bacias de concreto

Falar em revestimento líquido para a proteção da superfície do concreto significa falar em epóxi novolac e epóxi novolac estervinílico que poderão ser aplicados com alguns ingredientes:

- Com tecido próprio, de modo a encorpar uma espécie de armadura à película;
- Com flocos ou fibras, de modo a estruturar a película;
- Puras, formando uma película convencional.

O contato do produto químico corrosivo com a bacia secundária de proteção deverá

**EPÓXI 28 FLEX**

Os epóxios novolacs são famosos por sua resistência química. Mas água mole em pedra dura... O fato é que a película pode se tornar quebradiça e ir perdendo sua adesão. Pesquisa não pára. Agora você tem o EPÓXI 28 flexibilizado, o EPÓXI 28 FLEX, tem tecnologia novolac com polisulfeto. Esta formidável parceria garante, verticalmente, qualquer tranco, com altíssima resistência química e abrasão. Anos-luz à frente dos revestimentos epóxicos tradicionais.

**EPÓXI 28 FLEX**  
Tele-atendimento  
(0XX21) 3154-3250  
fax (0XX21) 3154-3259  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 08

- Tanques de estocagem de processamento químico
- Pátio de manobras
- Tanques de combustível e lastro de navios
- Diques para impermeabilização secundária
- Pisos de áreas de processamento expostos a respingos de químicas corrosivas
- Pisos de porta-aviões sujeitos a decolagem e aterrissagem...



ser evitado ao máximo. Caso ocorra, a turma de manutenção deverá entrar em ação, neutralizando-o logo. Desta forma, a proteção ficará sempre em boas condições. Caso a película de proteção seja atacada, criando um buraco na proteção, dever-se-á repará-la imediatamente. De outra forma, o produto químico entrará concreto adentro, estabelecendo condições extremamente corrosivas em seu interior, a começar pela diferença de pH. É muito mais barato reparar uma película de proteção que o concreto e suas armaduras.

### Revestimentos não estruturados

Na maioria das vezes, o que se aplica para produtos corrosivos são revestimentos à base de novolac com ou sem estervinílicos, na base do rolo, aplicando-se espessuras de, no máximo, 500 micrômetros. Oferecem boa resistência química e são relativamente baratos e fáceis de aplicar. Usualmente, utiliza-se como base argamassas cimentícias poliméricas que também oferecem alguma proteção. O grande problema é que estruturas de tanques e bacias de concreto trabalham, desenvolvendo fissuras e trincas. A película assim aplicada, solidária ao concreto, também fissurará. Desta forma, portanto, tornam-

se necessários reparos na película, o que leva a concluir que revestimentos rígidos, não estruturados, são idealmente aplicados nas bacias de contenção secundária, sujeitos a ataques ocasionais e onde é possível monitorar a película de proteção. Com o advento das formulações de epóxis novolacs semi-rígidos e flexíveis, a película ganha revestimento e impermeabilidade, acomodando-se à movimentação da estrutura, sem sofrer fissuras.

### Estruturando o revestimento

De um modo geral, quando produtos químicos altamente corrosivos são escalados para entrar em campo, quer dizer, fazer contato com o concreto, é preciso investir mais no sistema de proteção. Basicamente, utilizar-se misturas incorporadas, com espessura da ordem de 3mm e formadas com tecidos especialmente desenvolvidos para usinas novolac. Nas situações onde há ácidos minerais concentrados e produtos cáusticos incorporam-se tecidos especiais à base de fibra sintética, na formação de película de proteção. Uma outra versão é a aplicação direta de manta de PVC especialmente aderida às superfícies. A relação de resina basear-se-á na resistência química desejada. Lembremo-nos que não existe revesti-

Governos municipais, estaduais e federais e seus órgãos regulamentadores já dispõem de normas específicas que regulamentam a chamada proteção secundária.

mento 100% impermeável. Assim, quanto mais espesso, mais difícil de ser penetrado.

### Revestimentos com flocos e fibras

Epóxis novolacs ou epóxis novolacs estervinílicos frequentemente são encorpados, em sua composição, com flocos extremamente pequenos e finos ou então com fibras muito pequenas, que garantem uma curta estabilidade à película de proteção. A espessura recomendada é da ordem de 1 a 2 mm. Estes sistemas são indicados para situações onde há produtos químicos corrosivos, com baixa ou média concentração e cujo ataque não seja constante. É preciso entender que flocos e fibras dão estabilidade à película, mas sem aquela continuidade própria dos tecidos estruturantes que, no final das contas, garantem total resistência à propagação de trincas e fissuras. Por falar em estabilidade, os epóxis novolacs, com ou sem estervinílicos, aplicados com desempenadeira de aço (bem tixotrópico) oferecem melhor impermeabilidade à proteção de químicos que os mesmos sistemas aplicados com rolo ou spray. Isto, pelo fato de que a desempenadeira orienta os flocos e fibras numa configuração mais densa e impermeável que os sistemas aplicados com rolos ou spray. Uma outra vantagem é que a desempenadeira força o revestimento de encontro a pequenos furos e cavidades, promovendo uma película mais homogênea e estável.

fax consulta nº 10



**RECUPERAR**

Para ter mais informações sobre Proteção Secundária.

www.recuperar.com.br

### REFERÊNCIAS

- **Patrícia Karina Tinoco** é engenheira civil, especialista em química e física da construção.
- Basic Corrosion. Houston, TX: NACE International.
- Olorunniwo, O.E. and B.I. Imasogie. "Internal Corrosion Monitoring and Control in Sour Gas Systems".
- Peabody, A.W., R. Bianchetti ed. Peabody's Control of Pipeline Corrosion.
- L.M. Tata - Oil and gas corrosion.

# AMBIENTE HOJE É SINAL DE CORROSÃO.

O AR JÁ NÃO É O MESMO DE 10 ANOS ATRÁS. TUDO CORRÓI: ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO-PROTENDIDO, ESTRUTURAS METÁLICAS, COMPÓSITOS RESISTENTES... SAIBA COMO IDENTIFICAR O NÍVEL DE CORROSIVIDADE E PLANEJAR A PROTEÇÃO ADEQUADA.

**N**ão existem dois ambientes igualmente corrosivos e não há como padronizá-los. A dificuldade origina-se a partir da natureza dinâmica das variáveis de cada ambiente e suas complexas interações sinérgicas. Naturalmente, torna-se altamente desejável caracterizar a corrosividade dos nossos ambientes, de modo a eliminar surpresas, pelo menos em relação a obras novas.

## Fatores que afetam a corrosividade

Ambientes atmosféricos são classificados em quatro categorias:

**Marinho** **Industrial** **Urbano** **Rural**

Um ambiente marinho é caracterizado pela proximidade do mar e sua catastrófica atuação junto a praticamente todos os materiais estruturais, aumentando a corrosão galvânica e acelerando a deterioração de películas de proteção. Os terroristas mais conhecidos neste ambiente são os íons cloretos, da facção salina do cloreto de sódio. O ambiente industrial está associado a uma grande diversidade de indústrias, que produzem emissões atmosféricas poluidoras, baseadas na grande família dos óxidos de enxofre ( $SO_x$ ), cuja

Continua na pág. 22



CORROSÃO

Joaquim Rodrigues



# Piso-Dur

## NO CORR



O **Piso-Dur NO CORR** é um revestimento cimentício (cimentos especiais) moderníssimo que atende a norma NBR-17505-2 para proteção secundária em bacias de tanques industriais que estocam óleos orgânicos/inorgânicos ou corrosivos.

**Piso-Dur NO CORR** é auto-nivelante e reveste superfícies desgastadas de concretos, cerâmicas etc.

- Basta adicionar água.
- Aceita pintura epóxica (opcional) 48 horas após.
- Excelente aderência.
- Nas cores cinza e branco.
- Pega inicial 15 minutos – pega final 60 minutos.



**PISO-DUR NO CORR**

Tele-atendimento  
(0XX21) 3154-3250  
fax (0XX21) 3154-3259  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 20



maior ramificação pertence às famílias dos sulfetos ( $\text{SO}_2$ ) e sulfatos ( $\text{SO}_3$ ) que, invariavelmente estão acompanhados de menores quantidades de óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), como o  $\text{NO}_2$ , porções de amônia e seus sais,  $\text{NH}_3$  e  $\text{NH}_4$ , todos sempre acompanhados do indefectível sulfeto de hidrogênio, vulgo ácido sulfídrico,  $\text{H}_2\text{S}$ . No caos urbano, os principais contaminantes são os óxidos de nitrogênio,  $\text{NO}_x$ , proveniente dos automóveis. Logo atrás, aparecem os óxidos de enxofre,  $\text{SO}_2$ , descolados dos veículos pesados. Finalmente, na tranquilidade rural não há muito que falar. Estes valores, monitorados há 20 anos, seguramente, já foram alterados em razão da atuante e moderna tecnologia de controle da poluição, principalmente nas regiões industriais, nestes últimos 10 anos. Referimo-nos, em particular, às emissões dos  $\text{SO}_x$ . Um time de fatores interessantes contribui para a obtenção de surpresas nos valores monitorados. Fatores climáticos cada vez mais intensos, seu pH a velocidade e a direção dos ventos, além, claro, da umidade relativa, influenciam sobremaneira a incidência da radiação solar/ultravioleta, a massa térmica e a temperatura das superfícies que, por sua vez, alteram muito os processos de condensação ou evaporação da umidade absorvida. As maiores surpresas ficam por conta dos corrosivos transportados pelo vento e pela chuva. Todos estes fatores, na prática, não atuam como entidades separadas e sim de forma

O ar atmosférico é o responsável por reações em pinturas de proteção, nas edificações, que acabam por liquidá-las.



Este monitor da corrosão atmosférica é um instrumento eletrônico que produz leituras em tempo real do nível de reatividade corrosiva do ambiente, da umidade relativa e da temperatura. Estes dois últimos fatores interferem diretamente na velocidade da corrosão. O uso contínuo deste equipamento permite ação preventiva, antes que a corrosão promova serviços de tratamento custosos.

interagida e significativa. Com toda esta salada de variáveis, costuma-se, de forma pragmática, ignorar determinados aspectos climáticos particulares, observan-

do apenas a necessidade do meio ambiente considerado como um todo. Qualquer processo de corrosão, basicamente, é visto como uma diferença entre, pelo menos, duas medidas efetuadas em um intervalo de tempo. A medição da corrosão é feita reconhecendo-se mudanças tanto na espessura do aço, através de equipamento ultrassônico ou de resistência elétrica, como pela perda de peso.

### A corrosividade pelo método da perda de peso (PP)

Para caracterizar a corrosividade de um micro ambiente, é de praxe expor amostras de materiais, na forma de cupons, geralmente de aço carbono, que corroem de maneira padronizada no local, quantificando-se os danos ou a perda de sua massa, produzidas pela corrosão. Estes cupons, geralmente com tamanho de 10 cm x 15 cm são medidos, de forma contínua, determinando-se a perda de massa, o que nos dá a velocidade da corrosão. Ou seja, remove os produtos da corrosão pesando-se, a seguir, os cupons. Efeitos sazonais costumam incidir de forma pesada no monitoramento dos cupons, razão pela qual se costuma exigir de um a dois anos de monitoramento para caracterizar a corrosividade de um micro ambiente. Um outro aspecto que não costuma

**TECNOLOGIA?**

*Para medir os potenciais de corrosão no concreto armado já está disponível o novo conjunto semi-pilha CPV-4 com voltímetro digital. A semi-pilha CPV-4 é um revolucionário instrumento que mede os potenciais de corrosão em superfícies de concreto armado e protendido. Com este equipamento poder-se-á levantar ou monitorar, de tempos em tempos, possíveis estados de corrosão e a sua velocidade, antes que a estrutura apresente sinais de ruína por sintomas de corrosão (desplacamentos).*

**Evite isto!**

**Só com semi-pilha CPV-4**

Tele-atendimento (0XX21) 3154-3250  
fax (0XX21) 3154-3259  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 21

**O assassino da Reatividade Alkali-Agregado (RAA)**

**RENEW**  
TRATAMENTO DA REATIVIDADE ALKALI-SILICA

**RENEW**  
Tele-atendimento (0XX21) 3154-3250  
fax (0XX21) 3154-3259  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 22

### Velocidade da corrosão do aço carbono de acordo com vários ambientes com base no método da perda de peso (cupons)

Localização	Tipo de Ambiente	Velocidade da Corrosão
		Micrômetro/Ano
Presidente Prudente (SP)	Rural	5,8
Santos (SP)	Marinho	1210
São Paulo (Capital)	Urbano	128
São Bernardo (SP)	Industrial	410

res já apresentados, como a temperatura da superfície, direção do vento, chuvas e produtos da corrosão atuantes nas superfícies. O monitoramento da corrosividade de um microambiente pelo método dos cupons é normatizado pela ASTM G-92, “Prática para caracterização de testes atmosféricos em micro ambientes”.

### A corrosividade pelo método da resistência elétrica (RE)

De um modo geral, o método da perda de peso é bom, mas tem uma grande desvantagem: a velocidade da corrosão é estabelecida com base em uma média de tempo de monitoramento. Ou seja, não fornece indicação da velocidade da corrosão em tempo real ou de forma freqüente. Assim, se formos considerar um período curto de monitoramento, o resultado pode não ser indicativo da velocidade. A resistência elétrica de um fio de aço é função de sua geometria, de sua resistividade específica e é diretamente proporcional ao seu comprimento, inversamente proporcional à sua seção reta e diretamente proporcional à resistividade do

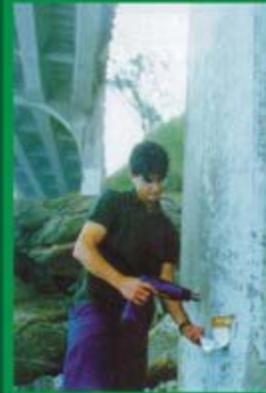


Este monitor da condição ambiental é ideal para micro-ambientes industriais. Fornece a velocidade da corrosão, a umidade relativa, temperatura e a pressão diferencial. Possui um analisador de dados opcional. Permite a pesquisa constante de micro ambientes e uma rápida detecção de qualquer deterioração que possa resultar em danos nos equipamentos caros e sofisticados. A rápida detecção das condições de umidade, temperatura e corrosividade ambiente permite ações corretivas, antes que ocorram danos em instalações, computadores etc. A velocidade da corrosão é evidenciada por luzes padronizadas pela classificação ISA ambiental.

dar bons resultados é a tentativa de correlacionar a concentração do corroente

com a perda de peso, quer dizer, com a corrosão, em razão de interação de fato-

## Detector de contaminação por sais cloretos em peças metálicas e de concreto




*Clor-test foi desenvolvido para analisar a contaminação em qualquer tipo de superfície. Seus componentes são pré-medidos, de modo a assegurar resultados precisos, em partes por milhão (ppm) e microgramas por centímetro quadrado (mgr/cm<sup>2</sup>), sem necessidade de qualquer correção em relação à temperatura ambiente. Em outras palavras, Clor-test é a precisão do laboratório na obra.*

### CLOR-TEST

Tele-atendimento  
(0XX21) 3154-3250  
fax (0XX21) 3154-3259  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta n° 23

## Lápis medidor de PH para Superfícies de Concreto

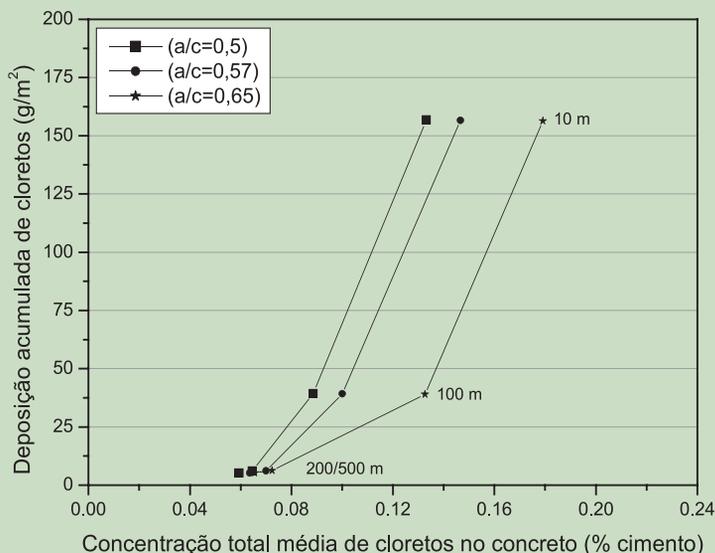


**LÁPIS MEDIDOR DE PH**  
Tele-atendimento  
(0XX21) 3154-3250  
fax (0XX21) 3154-3259  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta n° 24

## A concentração de cloretos no concreto

No estudo apresentado por Carmem Andrade e outros, no ENTAC 2006, foram obtidos perfis de cloretos para distintas distâncias em relação ao mar e períodos

de exposição, ocorrendo a clássica tendência de crescimento das concentrações com o aumento da relação água/cimento e com o tempo.



Relação entre deposição acumulada de cloretos e concentração total média no concreto.

ção. Assim, se um “sensor” elétrico, de geometria conhecida, é exposto a um micro-ambiente, poder-se-á acompanhar as mudanças que o mesmo sofrerá em sua geometria e, portanto, em sua resistência elétrica, devido ao processo de corrosão que atuará sobre o mesmo. Para otimizarmos a leitura encapsula-se, no corpo do sensor, um outro metal que servirá como referência, com a mesma geometria, mas que não esteja diretamente exposto ao ambiente para a compensação da temperatura.

### Monitorando os contaminantes do local

O monitoramento de fatores climáticos e de ambientes, por si só, não nos dá um prognóstico da corrosividade de um único ambiente. Entretanto, este monitoramento é útil para identificar as espécies (e naturalmente suas concentrações) que têm culpa na cartório, em relação ao processo de corrosão atuante. Entre os principais

contaminantes, fáceis de monitorar, estão os cloretos, o dióxido de enxofre e o dióxido de nitrogênio. Íons cloretos, presentes no ar marinho, podem ser capturados com o dispositivo “vela úmida” para análise subsequente. No interessante trabalho apresentado recentemente pelos pesquisadores Gilson Roche, Carmem de Andrade, Ivo Padaratz e José Carlos Borba, no XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, em Florianópolis, SC, intitulado “Deposição de cloretos em zona de atmosfera marinha: comportamento sazonal e sua relação com estruturas de concreto”, comprovou-se que a deposição de cloretos sofre forte influência do vento com períodos claros de maior presença deste sal quando os ventos são mais intensos. A relação entre a deposição de cloretos e sua acumulação nas estruturas de concreto segue uma função da raiz quadrada da deposição acumulada. Afastando-se do mar, determina-se uma redução acentuada na oferta de cloretos para pe-

netração no concreto, mas que ocorre de forma lenta, indicando que a relação entre a deposição e os cloretos que penetram nas estruturas de concreto armado-protenido não é linear.

fax consulta nº 25



**RECUPERAR**

Para ter mais informações sobre Análise.

www.recuperar.com.br

### REFERÊNCIAS

- Joaquim Rodrigues é engenheiro civil, mestre em corrosão, membro de diversos institutos nos EUA, em assuntos de patologias da construção, É editor e diretor da RECUPERAR, além de consultor de diversas empresas.
- Metals Handbook (9th Edition), Volume 13: Corrosion, ASM International, Materials Park, OH, 1987, p. 204.
- S.K. Coburn et al, “Corrosiveness of Various Test Sites as Measured by Specimens of Steel and Iron,” ASTM STP 435: Metal Corrosion in the Atmosphere, ASTM, Philadelphia, PA, 1968, p. 360.
- E.A. Baker and T.S. Lee, “Calibration of Atmospheric Corrosion Test Sites,” ASTM STP 767: Atmospheric Corrosion of Metals, ASTM, Philadelphia, PA, 1982, p. 256.
- Baker and Lee (reference 3), p. 265.
- F.L. LaQuee, Marine Corrosion, J. Wiley & Sons, New York, NY, 1975, p. 88.
- D.P. Doyle and T.E. Wright, “Rapid Methods for Determining Atmospheric Corrosivity and Corrosion Resistance,” Atmospheric Coatings, ed. W.H. Ailor, J. Wiley & Sons, New York, NY, 1982, p. 227.
- A. Wachter and R.S. Treseder, “Chemical Engineering Progress,” CEPRA, Vol. 43, June 1947, p. 315.
- V. Kucera and E. Mattson, “Electrochemical Techniques for Determination of the Instantaneous Rate of Atmospheric Corrosion,” ASTM STP 558: Corrosion in Natural Environments, ASTM, Philadelphia, PA, 1974, p. 239.
- “Development and Evaluation of an Instantaneous Atmospheric Corrosion Rate Monitor,” EPA/600/3-85/048. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, June 1985.
- G.L. Cooper, “Sensing Probes and Instrumentation for Electrochemical and Electrical Resistance Corrosion Monitoring,” ASTM STP 908: Corrosion Monitoring in Industrial Plants, ASTM, Philadelphia, PA, 1986, p. 237.
- M.I. Manning et al, British Patent Nos. 8607492 (March 1986) and 8214400 (June 1986).
- Instrument Society of America Standard ISA-S71.04-1985: Environmental Conditions for Process Measurement and Control Systems-Air-borne Contaminants, Research Triangle Park, NC, 1985.

Não perca!  
**Promoção imperdível.**

**R\$ 530,00**

Todos os números\*  
da **RECUPERAR** em DVD



Fone: (21) 3154-3255  
atendimento@recuperar.com.br

# ANÁLISE NUMÉRICA COMPROVA CONSOLIDAÇÃO DE SOLO MOLE



A EFICIÊNCIA DO CPR NA CONSOLIDAÇÃO DE SOLO MOLE FOI AFERIDA COM ANÁLISE NUMÉRICA. CONHEÇA OS RESULTADOS.

## SOLOS



Jorge Luiz  
F. Almeida

**M**aravilhas tecnológicas e engenharia sempre andaram de mãos dadas, a saltitar. Dos “efeitos especiais” que deslumbravam egípcios e romanos aos detalhes inventados pelos engenheiros daquela época para seus projetos, diante de imperadores e faraós boquiabertos, passando pela utilização de ensaios de penetração e análises numéricas, tudo conduz à verdade: a arte é uma característica inerente à engenharia.

De forma inquestionável, Compactação Profunda Radial ou CPR está se tornando o

método mais popular de melhoria de solos moles em todo o Brasil. Seu grande segredo reside no fato de combater, de forma eficiente, o enorme excesso de poropressão, produzido em sua execução. Nesta matéria, descreve-se uma das maneiras triviais de cálculo do CPR, com a análise de elementos finitos, de modo a se conhecer melhor seu comportamento.

Indiscutivelmente, confirma-se a superioridade do CPR em relação às demais técnicas de consolidação de solos moles, como por exemplo, o aterro temporário, devido prin-

cipalmente aos fatores prazo, preço e eficiência da consolidação para grandes profundidades.

### Com o pé na lama

Solo mole é um dos principais problemas dentro da engenharia civil. À medida que se aumenta o domínio das cidades, quase que rotineiramente, depara-se com áreas de solos moles que, até bem pouco tempo atrás, era inviável qualquer idéia de construção, particularmente de casas populares.

Continua na pág. 28

RECUPERAR • Março / Abril 2008

# SUBSTITUINDO SOLO?



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

## COMPACTAÇÃO PROFUNDA RADIAL (CPR)

Peça hoje mesmo informações.

**CPR**  
Tele-atendimento  
(0XX21) 2493-6740  
fax (0XX21) 2493-5553  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 26



A introdução de tubulação para o bombeamento da CPR.

A técnica de consolidação CPR tem como característica o bombeamento, a alta pressão, de um grout específico, de maneira a não fraturar o solo, permitindo sua compactação e o aumento da densidade do solo

mole, circundado por geodrenos especiais previamente instalados, aumentando-se sua capacidade de carga. A estratégia no posicionamento dos geodrenos é de fundamental importância, pois acelera a dissi-

pação do excesso de poropressão, encurtando significativamente o tempo de consolidação do solo mole em toda a sua profundidade.

Para a análise teórica do CPR, através de elementos finitos, escolhemos uma região na cidade de Recife, terra de solos moles e onde se desenvolve corriqueiramente este tipo de trabalho. Apresentamos, a seguir, o desenvolvimento do modelo analisado, caracterizado por fileiras de furos onde foram instalados previamente geodrenos especiais entremeados por furos subsequentes onde foram executadas as “colunas” do grout.

### O modelo executado

Estudos de modelos de consolidação de solos moles com formação de bulbos de grout são conhecidos e perfeitamente aceitos como grandes esferas executadas de baixo para cima e que se expandem dentro da massa de solo, gerando um complexo sistema de tensões tangencial e radial ao longo de toda a profundidade do solo em questão. Evidentemente, estas tensões promovem grande quantidade de deformações cisalhantes, associadas a regiões de ruptura plástica em

# A MELHOR PENETRAÇÃO



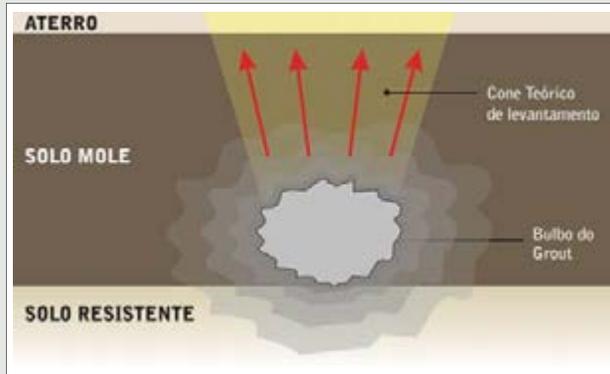

Com viscosidade igual a da água, o **METACRILATO** preenche e monolitiza qualquer trinca ou fissura existente em pisos e pavimentos com até 0,05mm de abertura. Basta verter o produto. O **METACRILATO** também monolitiza trincas e fissuras em vigas e pilares, de maneira fácil e rápida. É só fazer um pequeno furo na parte superior da peça e verter o produto com a ajuda de um pequeno funil. Não fique perdido no tempo das injeções.

**GEOR 8**  
 Tele-atendimento  
 (0XX21) 3154-3250  
 fax (0XX21) 3154-3259  
 produtos@recuperar.com.br  
 Fax consulta nº 27

**Parâmetros do solo utilizados no modelo**

Parâmetro	Aterro	Areia	Argila	Geodreno
Densidade seca, $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	16,2	16,7	14	
Densidade saturada, $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	20	20	19	
Módulo de Young, E (kPa)	18.000	30.000	15.000	
Relação de Poisson, $\nu$	0,3	0,2	0,5	
Ângulo de resistência cisalhante, $\phi$ (°)	32	35	0	
Dilatância, $\psi$ (°)	2	5	0	
Coesão não drenada, $C_u$ (kPa)	0	0	25	
Permeabilidade horizontal, $k_h$ (m/s)	$2,9 \times 10^{-6}$	$2,9 \times 10^{-6}$	$8,64 \times 10^{-2}$	$8,64 \times 10^{-2}$
Permeabilidade vertical, $k_v$ (m/s)	$2,9 \times 10^{-6}$	$2,9 \times 10^{-6}$	$8,64 \times 10^{-8}$	$1,62 \times 10^{-2}$

torno dos bulbos esféricos formados. À medida que se aumenta o afastamento da interface grout/solo, as deformações tornam-se elásticas. Como o comportamento de todo solo é inerentemente dependente de sua densidade, torna-se necessário estabelecer um modelo elasto-plástico para o solo que represente o efeito da densidade. O modelo adotado foi o de uma esfera, que assume um movimento expansivo e que, conseqüentemente, causa uma ruptura por cisalhamento cônico acima do bulbo esférico.



Ruptura por cisalhamento cônico acima do bulbo esférico.



**SAIA DOS VERNIZES QUE NADA PROTEGEM.**

Vernizes promovem uma máscara meramente estética no concreto aparente. Não deixam o concreto respirar e envelhecem, deixando restos de película. SILANO-CORR é penetrante e não forma película. É concreto armado e protendido com repelência à água e com agente secreto protetor da corrosão. Não aparecem, mas estão lá dentro, garantindo impermeabilidade natural e proteção para as armaduras e cabos de protensão.

SILANO-CORR é a proteção natural do concreto aparente.

**GECOR 8**

Tele-atendimento  
(0XX21) 3154-3250  
fax (0XX21) 3154-3259  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 28



A consolidação do solo em andamento com o bombeamento do CPR neste terreno onde há uma capa de aterro com 0,80cm e 8m de solo mole abaixo.

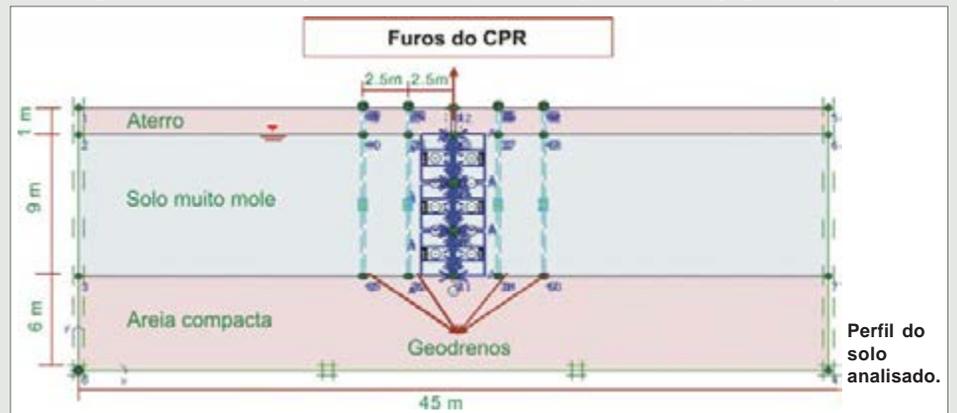
uma rede teórica que evidencia os efeitos de consolidação e das deformações durante o processo de bombeamento do grout, ou seja, durante o aumento dos bulbos esféricos. No programa PLAXIS é possível também especificar o comportamento não drenado na análise das tensões efetivas.

### O comportamento do modelo adotado

O perfil do solo analisado, com 16 metros no total, tem 1 metro de aterro, 9 metros de solo argiloso mole e, finalmente, um solo arenoso resistente com 6 metros de espes-

sura, seguido de mais areia grossa. A questão, simples e direta, é a seguinte: estacas

ou consolidação do solo para viabilizar a construção de casas populares geminadas



CPT estático no mar.

**CPT**  
 Tele-atendimento  
 (0XX21) 3154-3250  
 fax (0XX21) 3154-3259  
 produtos@recuperar.com.br  
 Fax consulta nº 29

# CONÉ é CONÓSCO

Os ensaios de cone, CPT estático ou dinâmico, são, hoje, as mais importantes ferramentas de prospecção geotécnica. Dispomos de equipes e equipamentos cone-penetrométricos adequados à sua obra, principalmente as com solo mole. Permitem o registro contínuo da resistência à penetração e sua estratigrafia, essenciais à composição de custos de projetos de fundações, possibilitando estimativas realistas das propriedades do solo, justamente em condições nas quais outras técnicas de sondagem mostram-se inadequadas.

**CONES ESTÁTICOS e DINÂMICOS**  
 Consulte-nos hoje mesmo.



CPT dinâmico (DPL).

**IPACON**  
 Instituto de  
 Patologias da  
 Construção



Geodreno purgando durante o CPR.

com dois andares? Em uma pequena análise, excluiu-se a solução por estacas, devido a mais que certa visita do sinistro efeito

do atrito negativo nas estacas por causa da camada de solo mole. Das técnicas de consolidação resultantes analisadas,

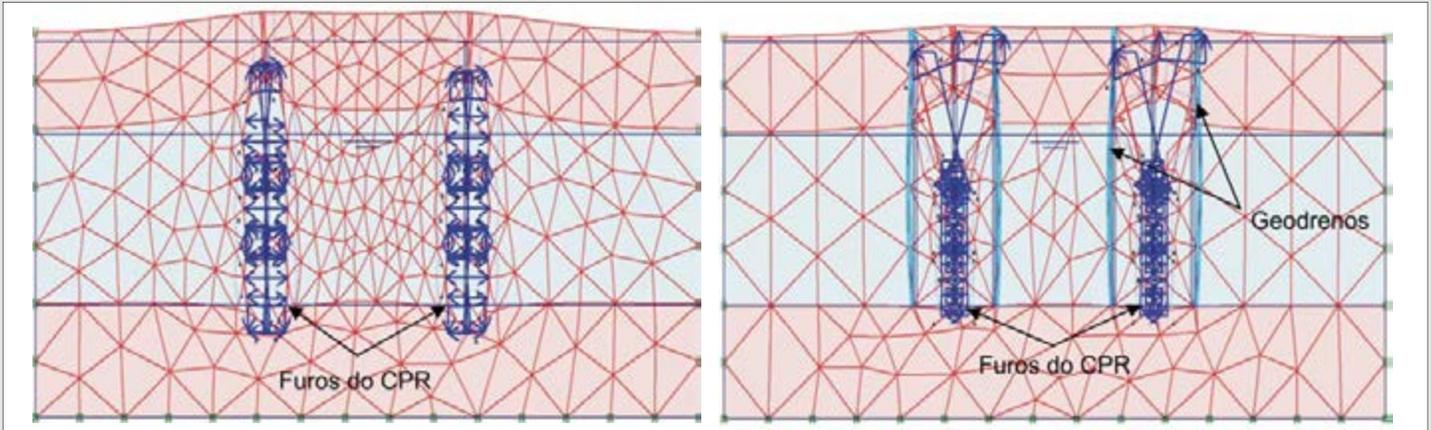
CPR e aterro temporário, escolheu-se a primeira devido aos inerentes benefícios de prazo, preço e capacidade de tratamento de toda a capa mole. Para o estudo, procederam-se simulações do modelo, de modo a avaliar-se o melhor procedimento executivo. O critério estabelecido foi o seguinte:

1. Execução de bulbos até encontrar-se no manômetro 25 kg/cm<sup>2</sup> ou,
2. 140 litros de grout para cada 30cm de bombeio ou,
3. 13mm de levantamento do greide considerado.
4. Caso haja excessivo consumo de grout, sem que apareça qualquer aumento na pressão do manômetro, far-se-á novas linhas de furos (tanto para geodrenos como para grouteamento).

As figuras abaixo, apresentam um corte no solo em tratamento, onde há presença e ausência de geodrenos, após a formação de bulbos com uma pressão máxima de

GLOSSÁRIO

- 1kg/cm<sup>2</sup> – 100kPa
- 1kN/m<sup>2</sup> – 1kPa
- 1ton – 10kN



As “colunas” do grout com e sem geodrenos e o efeito de levantamento do greide.

## Refundação - Consolidação sem Complicação

- Compaction Grouting
- CPR
- Permeation Grouting
- Jet-Grouting
- Estacas injetadas

**ENEGRAUT**

G E O T E C N I A  
Tecnologia com Grouting.

tel.: (21) 3154-3253

engegraut@engegraut.com.br  
www.engegraut.com.br



Consolidação em áreas aterradas.

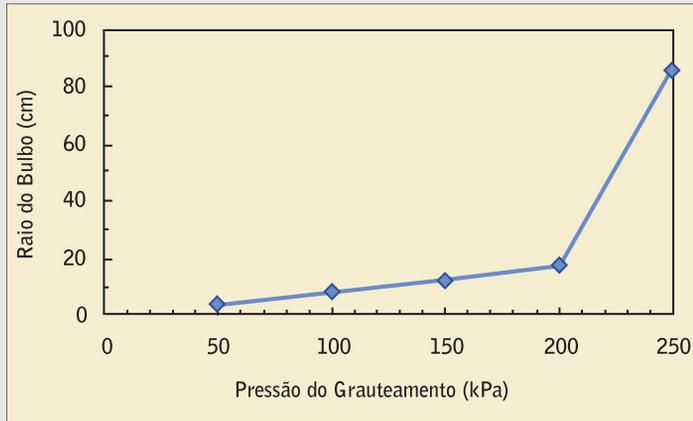


Correção de pavimentos.

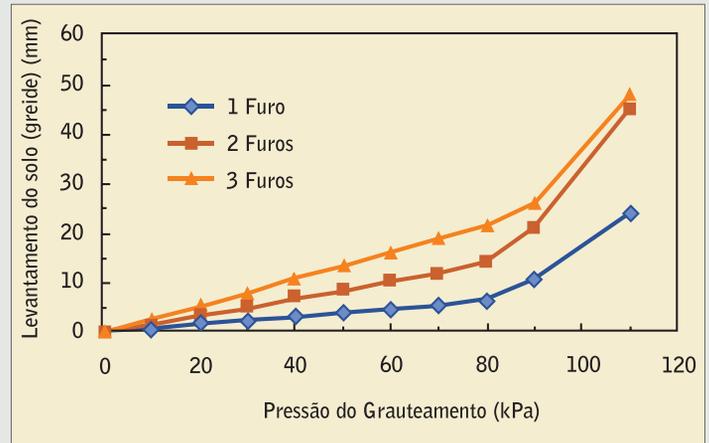
0,8kg/cm<sup>2</sup>. Observou-se, como era esperado, que a presença de geodrenos reduziu significativamente o levantamento do greide. Com base na análise do modelo, observaram-se relações do aumento da pressão de bombeio com o diâmetro dos bulbos executados, considerando-se a capa de aterro com 1m existente. Observou-se também que durante a formação de cada bulbo, há a seguinte relação: para cada 2kg/cm<sup>2</sup> de pressão no manômetro, o raio aumenta em 20cm, o que equivale a quan-

o bulbo faz para cima iguala-se ao peso de um cone de solo, acima do bulbo, mais a própria resistência que este cone faz para baixo. Como a resistência não drenada do solo mole é relativamente pequena, a resistência que realmente importa, quando ocorre o levantamento do solo, deve-se exclusivamente à capa de aterro. A figura também nos mostra que a intensidade do levantamento é proporcional à quantidade de furos do CPR. Para este estudo, dimensionou-se uma malha de furos espa-

trapassar 100kPa, de modo a atender o critério levantamento. Conseqüentemente, quanto maior a malha de furos do CPR, menor a pressão de trabalho. O efeito dos geodrenos, na consolidação do solo, com o CPR é apresentado na figura inferior. Observe que o efeito do levantamento do solo com geodrenos instalados é semelhante à condição sem geodrenos para tensões de trabalho de 80kPa. É interessante observar que a execução do CPR com tensões de trabalho inferiores a 100kPa significa

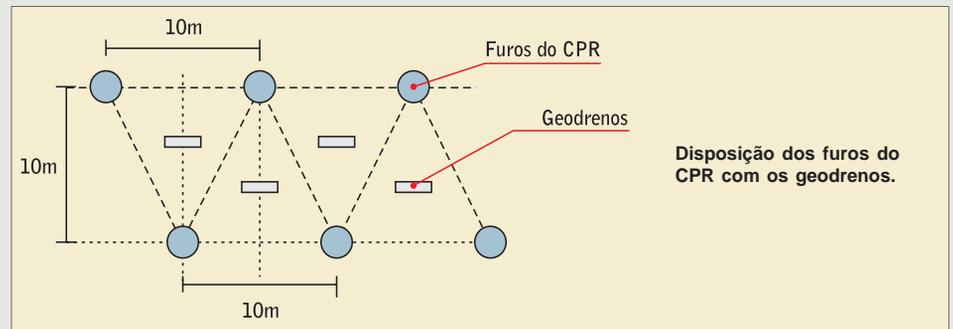


Relação entre a pressão do bombeio com o diâmetro do bulbo formado na profundidade de 5m.



Variações entre o levantamento do solo e a pressão do bombeamento.

tidade de 150 litros de grout bombeado. Desta forma, atende-se ao critério previamente estabelecido. Na figura acima, à direita, verifica-se o levantamento do solo à medida que se aumenta a pressão no bombeamento do grout. Observa-se um rápido aumento no greide do solo quando a pressão no manômetro ultrapassa 80kPa, o que significa que o solo está submetido a um comportamento plástico ou, em números, equivale a, aproximadamente, o peso da camada de aterro. Com base na teoria da ruptura cônica do solo, estabelecida por El-Kelesh, comprova-se que quando se inicia o levantamento do solo, a tensão que



çadas de 10m no formato triangular com um geodreno no meio. Com base na análise numérica, a pressão de trabalho no manômetro não poderá ul-

uma redução de cerca de 50% no efeito do levantamento do solo, se compararmos a situação sem geodrenos. Desta forma, segundo a figura, poder-se-á com a utiliza-

Continua na pág. 34



## CENTRAL DE ARGAMASSA VENDE-SE

Central de argamassa nova para 15m<sup>3</sup>, com 2 cubas em aço especial com transportador mecânico de correia de 65cm, comprimento de 16m, altura de 3m, sistema pneumático de abertura de gavetas dos silos e gabinete de comando dos equipamentos.

Tratar com Cleide  
(21) 3154-3250  
cleide@recuperar.com.br



# SAÚDE INTERNA DE TUBULAÇÕES DE EFLUENTES?



## Liberte-se dos problemas da corrosão.

Se você não tem nenhum sistema interno protetor em suas tubulações metálicas de efluentes, com certeza terá problemas a curto e médio prazos. Paralisações em sistemas de coleta e transferência de efluentes e despejos é prejuízo na certa. Nosso sistema de proteção catódica para tubulações metálicas **PCT-RG** é simples e fácil de instalar. Mesmo em tubulações antigas. Basta furar, abrir

**Basta furar a tubulação a cada 4m, abrir rosca e instalar os anodos PCT-RG**

a rosca e instalar o **PCT-RG**. Nossos anodos são dimensionados para todos os tipos de efluentes e adequados a tubulações de qualquer diâmetro. Você só tem que trocá-los uma vez por ano. Suas tubulações estarão protegidas ano após ano.



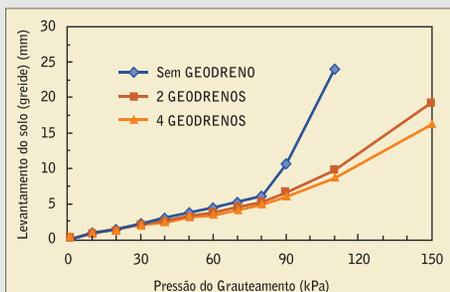
**PCT-RG**  
Tele-atendimento  
(0XX21) 3154-3250  
Fax consulta nº 30



Vista panorâmica do local de execução do CPR, em Recife, PE. As fotos menores mostram os serviços de construção de casas populares após a consolidação do solo.



ção de geodrenos e, de acordo com o critério estabelecido de levantamento do solo, utilizam-se tensões de trabalho de até 130kPa. Observou-se também que, aumentando-se a quantidade de geodrenos na malha do CPR, diminui o efeito do levantamento do solo. Notou-se que o excesso da poropressão, gerado pela formação dos bulbos e os conseqüentes recalques associados é totalmente dissipado em prazos curtíssimos, de no máximo 30 dias, se considerarmos a mecânica executiva da técnica. A intensidade do levantamento do solo apresentado é, na verdade, um somatório de movimentos decorrentes de deformação do solo, tanto para baixo quanto para cima (e para os lados) que, no frígido dos ovos, significa a ultra benéfica ocorrência antecipada dos recalques futuros. Portanto, a asserção de que a consolidação é efetuada com base no levanta-



O efeito do geodreno no levantamento do solo.

tamento do solo, naturalmente considerando um determinado volume de grout bombeado é inteiramente verídica. Mas ainda, uma redução no levantamento do solo significa mais eficiência na consolidação. Já que falamos em eficiência, o modelo com elementos finitos utilizado, o PLAXIS, caiu como uma luva para a verificação dos critérios de projeto e de execução do CPR, na redução do excesso da poropressão e, como conseqüência, na consolidação de solos moles. Outras conclusões, também importantes informam que o volume do bulbo aumenta à medida que aumenta a pressão no manômetro. Uma pressão limite de 200kPa, corresponde a um estágio onde o volume de grout mandado é de 150litros.

fax consulta nº 31



**RECUPERAR**

Para ter mais informações sobre Solos.

www.recuperar.com.br

#### REFERÊNCIAS

- Jorge L. F. de Almeida é professor e engenheiro de fundações.

- Au, S. K. A., Soga, K., Jafari, M. R., Bolton, M. D., and Komiya, K. (2003). "Factors affecting long-term efficiency compensation grouting in clays." J. Geotechnical and Geoenvironmental Eng., ASCE, 129(3), 254-262.
- Chai, J. C. And Miura, N. (1999). "Investigation of factors affecting vertical drain Behavior." J. Geotechnical and Geoenvironmental Eng., ASCE, 125(3), 216-226.
- Chai, J. C., Shen, S. L., Miura, N., and Bergado, D. T. (2001). "Simple method of Modeling PVD-improved subsoil." J. Geotechnical and Geoenvironmental Eng., ASCE, 127(11), 965-972.
- El-Kelesh, A., Mossaad, M. E., and Basha, I. M. (2001). "model of compaction Grouting." J. Geotechnical and Geoenvironmental Eng., ASCE, 127(11), 955-964.
- Essler, R. D., Drooff, E. R., and Falk, E. (2000). "Compaction grouting, concept, Theory and practice." Proc., Advances in Grouting and Ground Modification, ASCE, 1-15.
- Fox, P. J., Nicola, M. D., and Quigley, D. W. (2003). "Piecewise-linear model for large Strain radical consolidation." J. Geotechnical and Geoenvironmental Eng., ASCE, 129(10), 940-950.
- Komiaua, K., Soga, K., Akagi, H., Jafari, M. R., and Bolton, M. D. (2001). "Soil consolidation Associated with grouting during shield tunneling in soft clayey ground" Geotechnique, 51(10), 835-847.
- Lin, D. G. Kim, H. K., and Balasubramaniam, A. S. (2000). "Numerical modeling of prefabricated vertical drain." J. Geotechnical Eng., Southeast Asian Geotechnical Society, 31(2), 109-125.
- Nichols, S. C. And Goodings, D. J. (2000). "Physical model testing of compaction grouting in cohesionless soil." J. Geoenvironmental Eng., ASCE, 126(9), 848-852.
- Nicholson, D. P., Gammage, C., and Chapman, T. (1992). "The use of finite element methods to model compaction grouting." Proc., Grouting in The Grout, Institution of Civil Engineer, Thomas Telford, London, 297-312.
- Shutle, D. And Jefferies, M. (2000). "Prediction and validation of compaction graout effectiveness." Proc., Advances in Grouting and Ground Modification, ASCE, 48-64.