

TÉCNICAS DE MELHORAMENTO DE SOLOS - Parte 2

REFORÇO COM MATERIAIS NATURAIS e SUBSTITUIÇÃO DO TERRENO



Nuno Gonçalo Cordeiro
Marques de Almeida

EDIÇÃO:
CONSTRULINK PRESS

Construlink, SA
Tagus Park, - Edifício Eastecnica
2780-920 Porto Salvo, Oeiras

Tel . +351 214 229 970
apoio@construlink.com

A monografia apresentada foi
realizada na cadeira de
Reabilitação de Construções do 12º
Mestrado em Construção

Coordenador: Pedro Vaz Paulo
Editores:

Nuno Chambel
Jorge Sequeira

ÍNDICE

1.	<u>PREÂMBULO</u>	1
2.	<u>SOLUÇÕES PARA MELHORAMENTO DE SOLOS</u>	5
3.	<u>REFORÇO POR INCLUSÃO DE MATERIAIS NATURAIS</u>	7
3.1.	INTRODUÇÃO	7
3.2.	CAMPOS DE APLICAÇÃO	9
3.3.	VANTAGENS, DESVANTAGENS E LIMITAÇÕES	10
3.4.	EQUIPAMENTOS	11
3.5.	PROCESSO DE EXECUÇÃO	11
3.6.	EXEMPLOS	11
4.	<u>SUBSTITUIÇÃO DO TERRENO</u>	13
4.1.	INTRODUÇÃO	13
4.2.	CAMPOS DE APLICAÇÃO	13
4.3.	VANTAGENS, DESVANTAGENS E LIMITAÇÕES	14
4.4.	EQUIPAMENTOS	15
4.5.	PROCESSO DE EXECUÇÃO	15
4.6.	EXEMPLOS	15
5	<u>BIBLIOGRAFIA</u>	17

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - *A primeira epopeia do século XX na luta dos Holandeses contra o mar: a transformação do Zuiderzee em IJsselmeer e emergência da 12ª províncias do Reino*_____ 2

Figura 2 - *Os zigurates são monumentos tipicamente mesopotâmicos, que remontam originalmente a cerca de 3000 anos a.C.*_____9

Figura 3 - *A Grande Muralha da China varia de acordo com a topografia, sendo um simples muro erguido com argila misturada com outros materiais naturais no limiar do deserto*_____8

Figura 4 - *Via Ápia e corte de uma via romana (esquerda) e estradas reais Incas nos Andes (direita)*_____8

Figura 5 - Exemplos de tratamento de solos através da introdução de vegetação em taludes (podendo ser combinada com tecnologias de pregagem e compactação de terreno)_12

Figura 6 - Exemplo de substituição de solos por diversas soluções combinadas para formação de dique e aterro com areia compactada (cima) e sistema variante da técnica de Jet Grouting, que consiste na remoção por sucção da massa de solo existente e substituição da mesma por calda de cimento (baixo)_____16

1. Preâmbulo

Pretende-se com a presente monografia, descrever as diferentes técnicas de melhoria de solos disponíveis e actualmente utilizadas no mercado nacional e internacional.

A elaboração do trabalho apresentado baseia-se em monografias realizadas por alunos da Licenciatura e Mestrado do Instituto Superior Técnico e nas folhas da cadeira de Tecnologia de Contencões e Fundações orientadas pelo Professor Jorge de Brito. Assim, o resultado final consiste na sistematização, adaptação e actualização da informação existente sobre o tema, bem como da compilação da experiência pessoal do autor e do contributo de pessoas ou entidades envolvidas no meio em questão.

Ainda que o tema em apreço se identifique com a tecnologia de fundações, contencões e, acima de tudo, de obras com forte componente geotécnica, a presente monografia enquadra-se no âmbito da disciplina de *Reabilitação de Construções – Estudo de Casos*.

Sendo assim, e embora não seja evidente na maioria das técnicas de melhoria de solos o contributo que podem prestar a uma eventual reabilitação de construção, existem aquelas com um forte potencial para o fazer, como aliás se verificará adiante.

A evolução das necessidades humanas e o elevado nível e multiplicidade de exigências funcionais que se verificam na actualidade são os motores para o surgimento de tecnologias que permitam melhorar o comportamento de solos.

A melhoria dos solos consiste, entre outras, em melhorar as propriedades de deformabilidade, resistência ao corte e permeabilidade do solo. O intuito e/ou necessidade de melhorar as suas características consiste em responder às seguintes situações:

- Viabilizar projectos em meios onde não seria possível satisfazer as exigências técnicas com o solo original não melhorado, dentro de padrões de segurança desejáveis (a resposta a esta necessidade passa por melhorar propriedades de deformabilidade, resistência ao corte e permeabilidade, entre outras)
- Conquista espacial para novas actividades ou necessidades humanas (novas necessidades arquitectónicas e até mesmo espaciais – figura 1)



Figura 1. A primeira epopeia do século XX na luta dos Holandeses contra o mar: a transformação da Zuiderzee em IJsselmeer e emergência das 12^a províncias do Reino [11]

- Necessidades Industriais (obras de engenharia tais como fundações de algumas superestruturas, execuções de túneis, barragens ou pontes que impõe solicitações nos terrenos e produzem alterações na sua distribuição de tensões, os quais devem reagir às solicitações que lhe são impostas dentro de parâmetros aceitáveis, nomeadamente, em termos de deformações ou caso último de rotura). Conter ou reduzir deformações dentro de limites toleráveis (certas

solicitações impostas nos terrenos produzem alterações na distribuição de tensões, devendo o solo reagir às solicitações que lhe são impostas dentro de parâmetros aceitáveis em termos de deformações ou caso último de rotura) Homogeneizar e/ou uniformizar características de leitos de fundação

- Reduzir custos de sistemas de fundação [4]
- Acompanhar as necessidades do evoluir do processo construtivo de uma obra

Dependendo dos objectivos pretendidos e da filosofia de concepção de uma dada obra de Engenharia, e tendo ainda em conta os diferentes estados de tensão a introduzir no terreno, a opção da técnica de melhoria de solos a adoptar poderá variar.

No entanto, a decisão sobre qual a técnica mais adequada a cada situação depende de vários factores, que devem ser analisados em conjunto de molde a ponderar as vantagens e desvantagens inerentes a cada um deles e estimar qual a solução mais adequada às circunstâncias e contexto da realização de Engenharia em apreço. Dos referidos factores, passam-se a enumerar aqueles com contributo elevado no processo de decisão:

- Objectivo e âmbito do tratamento (túnel, talude, fundação, reforço de solo ou fundações, estabilização, estrutura de contenção, escavação, correcção de deformações, etc.)
 - Competitividade económica da solução face aos objectivos a atingir
 - Factores geológicos e hidrogeológicos
 - Características geotécnicas condicionantes
 - Condições locais (existência ou não de edificações ou infra-estruturas próximas, espaço físico disponível, entre outras condicionantes ou interferências passivas de diversa ordem)
 - Quantidade de terreno a tratar (área, profundidade ou volume)
 - Prazo de execução
 - Compatibilização com eventuais actividades a decorrer em simultâneo
 - Enquadramento ambiental e social (erosão, contaminação de água, efeitos em estruturas ou actividades humanas próximas, etc.)
- Expostas as linhas gerais e o contexto das técnicas de melhoria de solos, importa, antes de aprofundar

cada uma delas, referir e sublinhar que a presente monografia resulta de preciosa informação proveniente de monografias e trabalhos de pesquisa e investigação realizados por alunos de Licenciatura e Mestrado do Instituto Superior Técnico, que embora não sejam citados ao longo do texto, desde já se enunciam:

- Ana Isabel Silva, "Processos de Melhoramentos de Solos", Monografia apresentada no Mestrado em Construção, Instituto Superior Técnico, 2001, Lisboa.
- João Mateus, "Tecnologia *Jet Grouting*", Monografia apresentada no Mestrado em Construção, Instituto Superior Técnico, 2001, Lisboa.
- Ana Couto, Miguel Fonseca, Pedro Torgo e Rodrigo Jesus, "Soluções de Entivação / Contenção Provisória", Monografia apresentada na Licenciatura em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, 2000, Lisboa.
- Rui Arco, Sílvia Mendes, Bruno Semedo e Ana Mendonça, "Soluções de Entivação / Contenção Provisória", Monografia apresentada na Licenciatura em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, 2000, Lisboa.
- Francisco Figueiredo, João Alberty, João Catalão e António Cascais, "*Jet Grouting*. Técnica de Tratamento de Solos", Monografia apresentada na Licenciatura em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, 2001, Lisboa.
- Gonçalo Cal, José Gouveia, Naide Comenda e Pedro Hingá, "*Jet Grouting*", Monografia apresentada na Licenciatura em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, 2002, Lisboa

2. Soluções Para Melhoria De Solos

Expostas as questões fundamentais inerentes às necessidades de realizar as técnicas de melhoria em estudo, bem como os factores que influem na sua decisão, e com a consciência de que este tipo de técnicas vem evoluindo em termos de tecnologia utilizada e campos de aplicação, propõe-se, neste fase, enumerar as técnicas existentes que serão descritas e exploradas com maior profundidade nos capítulos seguintes.

Assim, podem-se classificar as técnicas de melhoria de solos nas seguintes categorias:

- Reforço de solos através da inclusão de materiais naturais
- Substituição de terreno por outro volume mais adequado
- Compactação Dinâmica
- Pré-Carga
- Injecções
- Vibrocompactação
- Tratamentos Térmicos
- Jet Grouting

Em termos cronológicos importa ainda referir que o desenvolvimento de técnicas mais antigas e rudimentares tais como o reforço de solos através da inclusão de materiais naturais ou a substituição de terreno por outro volume mais adequado sofreram um desenvolvimento enorme, difusão e aperfeiçoamento dos métodos de execução, motivados pelas necessidades já descritas.

Essa evolução materializou-se em métodos mais precisos, tais como a compactação dinâmica, a pré-carga, as injecções e a vibrocompactação (onde podemos incluir as colunas de brita ou vibrosubstituição e a vibroflutuação), até técnicas realizadas com tecnologia de ponta e com aplicações cada vez mais abrangentes, designadamente os tratamentos térmicos e o *jet grouting*.

Alerta-se para o facto de que algumas das técnicas descritas na classificação acima mencionadas podem e deverem ser combinadas ou complementadas com outras e até mesmo podem ter fins mais nobres do que a mera melhoria geral das propriedades do solo.

Face ao exposto, descrever-se-á com maior pormenor as diferentes técnicas, utilizando para tal a seguinte metodologia geral de análise em cada capítulo:

- ✓ Introdução e exposição geral do método
- ✓ Campo de Aplicação (descrição dos tipos de realizações possíveis, tipos de solos alvo, e resultados esperados decorrentes da aplicação da técnica)
- ✓ Vantagens, Desvantagens e Limitações (inerente à técnica em si e quando confrontada e comparada com possíveis soluções alternativas)
- ✓ Equipamentos (equipamentos e eventualmente materiais ou sistemas necessários para o processo de execução)
- ✓ Processo Construtivo e/ou Técnicas de Execução
- ✓ Ensaio e controlo de qualidade (ensaio, monitorização e controlo de qualidade das actividades do processo construtivo – pré, durante ou pós execução - ou na aferição de parâmetros para dimensionamento, acompanhamento *in situ* e/ou caracterização da situação final)
- ✓ Referência ao dimensionamento e projecto (eventualmente, uma vez que este não é o âmbito da monografia)
- ✓ Exemplos de aplicação