



## Serviço : GEOENRIJECIMENTO

O objetivo está totalmente concentrado no geoenrijecimento de solos argilosos moles, de maneira eficiente e sustentável, bem menos complicada que com fundações profundas ou inclusões rígidas, é a mais moderna técnica de geoenrijecimento de argilas moles, orgânicas e inorgânicas.

### O Problema

A fundação de uma estrutura, seja uma estrada, ferrovia, área portuária ou armazéns logísticos, exige condições geotécnicas de solo estáveis, significando que o investimento estará isento de riscos. Caso inexistam, análises deverão ser feitas por engenheiro geotécnico experimentado, de modo a solucionar possíveis riscos. A presença de solo mole em qualquer terreno, seja a partir da superfície ou em camadas sub-horizontais, incorre, naturalmente, na necessidade de cálculos de estabilidade e recalques, normalmente envolvendo análise computacional.

### A Geotecnia do GEOENRIJECIMENTO

O dimensionamento do geoenrijecimento consiste em entrarmos com parâmetros do solo e do projeto a ser executado com análise numérica específica, desenvolvida por nossa organização. Em contrapartida, o programa oferece todas as diretrizes executivas, tanto de consolidação quanto da rigidez, para cada projeto.

De um modo geral, trata-se da cravação de malha de geodrenos, intercalada com malha de verticais com bulbos de compressão e geoenrijecimento do solo, via expansão de cavidades, de baixo para cima, escalonadamente, a partir do solo resistente, para cada metro de profundidade, especialmente ajustado para o solo mole em questão, através de curva granulométrica formulada pelo programa, com areias, siltes e aglomerantes da própria região, além de aditivos, de modo a promover a consolidação do solo e, ao mesmo tempo, impor níveis de rigidez superiores às exigências de projeto.

A neutralização dos recalques imediato e primário é assegurada com o acompanhamento do máximo excesso da poropressão e sua dissipação. A confirmação do recalque secundário é comprovada através das tensões de fluência na curva pressiométrica de acompanhamento do serviço. Os bulbos de compressão e adensamento, realizados via expansão de cavidades, confirmam a ordem de deformações (recalques) impostas. Uma vez alcançada a resistência necessária, previamente programada, com cada bulbo de compressão, interrompe-se o geoenrijecimento naquela cota, suspendendo-se o tubo de bombeamento e repetindo-se o geoenrijecimento até chegar-se à superfície do solo mole. Toda a mecânica executiva é acompanhada com monitoramento do excesso e dissipação da poropressão causada que, com as curvas pressiométricas pressão-volume, indicam o grau de consolidação e rigidez impostos. O resultado é o aumento substancial da resistência efetiva e da rigidez do solo mole, ao longo de toda a sua profundidade, de maneira proporcional à quantidade de dissipação da poropressão.

Para cada projeto, associa-se uma resistência à compressão, específica para o geogROUT formador dos bulbos de compressão e adensamento do solo. Após o geoenrijecimento, com os parâmetros previamente analisados, como o volume e a pressão de cada bulbo de compressão imposto no solo, obtêm-se os módulos tensão-deformação do solo, agora solo compósito, bem superior ao do solo original e ajustados ao projeto. Um outro dado interessante é que o solo reforçado passa a trabalhar imediatamente como solo compósito rígido. Todas as cargas de projeto, a serem impostas, serão distribuídas sobre a camada de aterro de maneira uniforme, sem os inconvenientes provocados por transferências de carga e efeitos de arqueamento.



## Serviço : GEOENRIJECIMENTO

A partir da programação executiva, obtida com método específico de elementos finitos, o geoenrijecimento poderá ser iniciado com a seguinte metodologia:

- ✓ Campanha de ensaios com pressiômetros e piezômetros.
- ✓ O terreno deverá estar com a terraplanagem feita, de modo a assegurar a trafegabilidade dos equipamentos.
- ✓ Início da cravação dos geodrenos com equipamento de esteiras e lança com altura compatível com a profundidade do geoenrijecimento.
- ✓ Com equipamentos sobre esteiras e lanças, chega-se à cota desejada, iniciando-se a formação das verticais com bulbos de compressão.
- ✓ Nova campanha de ensaios pressiométricos para atestar o melhoramento do solo.

### Solo mole, muito mole ou ultra-mole

Apresenta baixa resistência à penetração, ou seja, com valores de SPT que variam de 0 a 5 golpes, onde a fração argila e o grau de saturação imprimem características de solo coesivo e compressível, incluindo-se as areias fofas. Os depósitos ou ambientes de deposição variam desde o aluvial, nas várzeas dos rios, até o costeiro, passando por mangues, evidenciando a presença de argilas orgânicas e turfas.

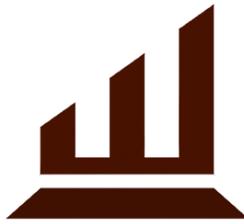
### Métodos tradicionais de tratamento de solos moles

A presença de solo mole inibe, naturalmente, projetos com fundações diretas. A opção por fundação profunda, utilizando-se estacas, exige substratos resistentes, geralmente distantes da superfície. A presença de camadas de solo mole, invariavelmente acompanhadas da execução de aterros, submete as estacas ao perigoso fenômeno do atrito negativo e a deslocamentos laterais, estabelecendo-se recalques diferenciais perigosos. O emprego da técnica de aterros de sobrecarga é cara, demorada e não elimina os recalques. Estacas de material granular e troca de solo são caras, produzem bota fora, e não eliminam recalques. Estas técnicas, cada vez mais, tornam-se proibidas por leis ambientais.

### • Célula Triaxial do Geoenrijecimento

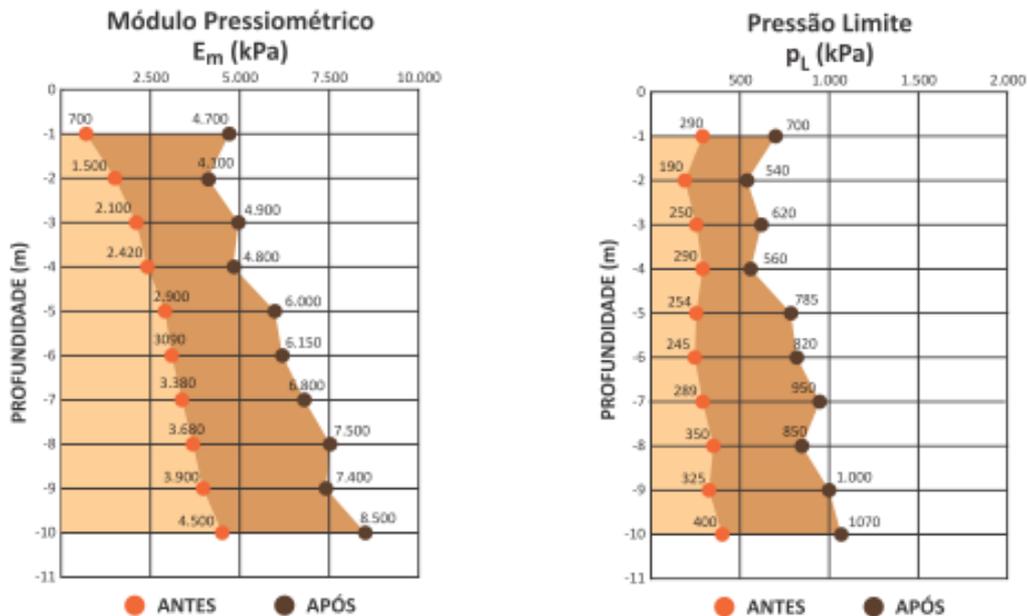
Em nosso laboratório geotécnico, dispomos de célula triaxial modificada, específica para o CPR, além da estrutura de carregamento que determina o coeficiente de pressão lateral.



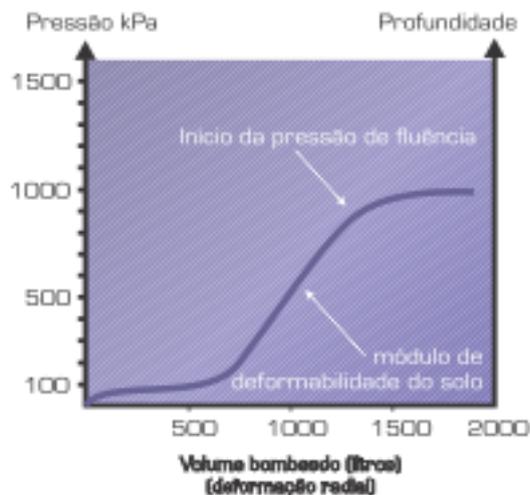


## Serviço : GEOENRIJECIMENTO

- Sondagem Pressiométrica Típica de Checagem do Reforço do Solo



- Curva Pressiométrica Típica, Volume Bombeado x Pressão Desenvolvida para cada Bulbo de Compressão

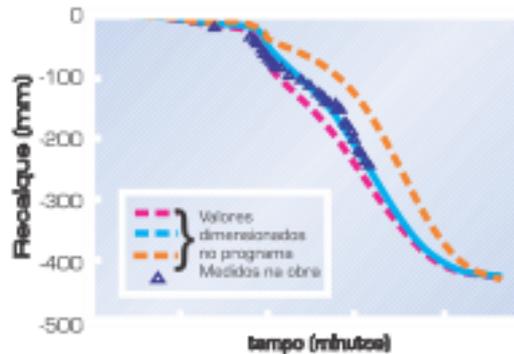


- Pressão de cada bulbo: 1.000kPa (10kg/cm<sup>2</sup>)
- Volume de cada bulbo: 1.000l (1,0m<sup>3</sup>)
- Esfera teórica formada Ø 0,90m
- Força Radial aplicada 400ton
- $U_{\text{máximo}}$  70kPa (junto ao bulbo)

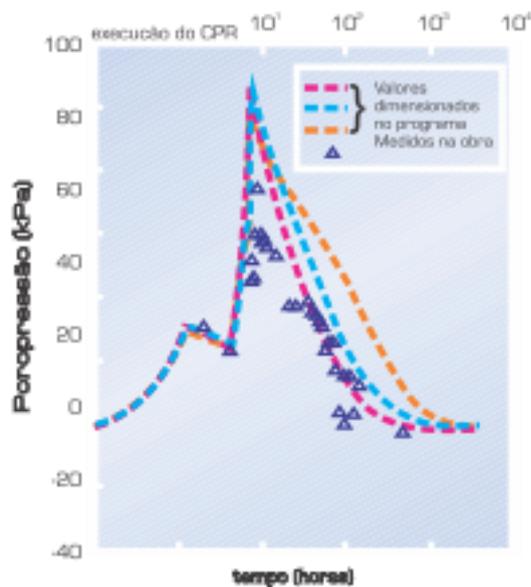


## Serviço : GEOENRIJECIMENTO

- Recalque induzido durante a formação de cada bulbo de compressão, via expansão de cavidades



- Medição da consolidação do solo através do controle do excesso e dissipação da poropressão



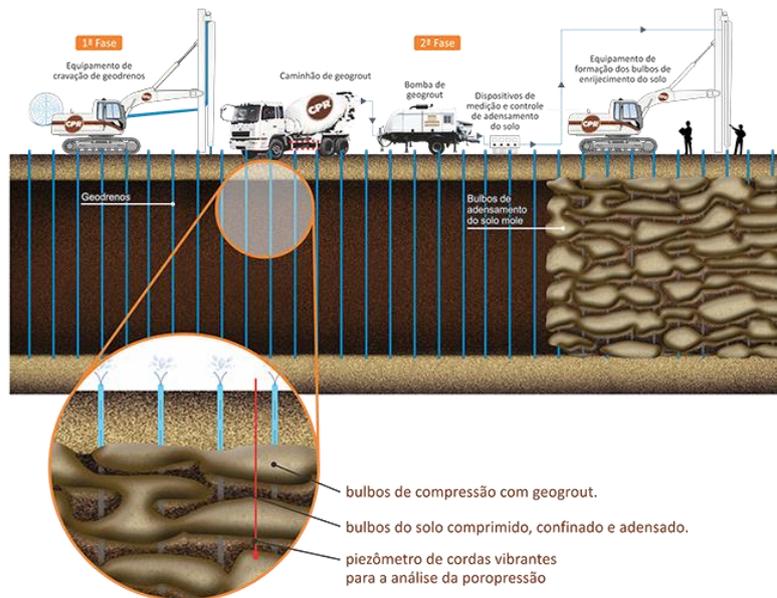
### Vantagens do Geoenrijecimento

- ✓ 100% específico para solos moles;
- ✓ Mobilização rápida;
- ✓ Ausência de transtornos à obra;
- ✓ Ampla gama de aplicações;
- ✓ Ausência de aterros, refugos e lama;
- ✓ Chuvas não interrompem o serviço;
- ✓ Alcança profundidades de tratamento onde técnicas clássicas são limitadas;
- ✓ Alternativa supereconômica, além de prazos extremamente curtos em relação à substituição de solos, aterros temporários, colunas granulares e estaqueamentos;
- ✓ Acesso a locais restritos, limitados e difíceis, sem interferência com a rotina do cliente;
- ✓ Melhor custo-benefício;
- ✓ Perfeito para reforço de fundação.



## Serviço : GEOENRIJECIMENTO

O CPR Grouting consiste das fases de cravação dos geodrenos e da formação de verticais com bulbos de compressão que adensam e aumentam a resistência do solo, ao mesmo tempo em que promovem a rigidez do solo.



Geoenrijecimento - Infográfico