



## 16º Congresso Nacional de Iniciação Científica

**TÍTULO:** ACELERAÇÃO DE RECALQUES - USO DE DRENOS VERTICAIS E SOBRECARGA

**CATEGORIA:** CONCLUÍDO

**ÁREA:** ENGENHARIAS E ARQUITETURA

**SUBÁREA:** ENGENHARIAS

**INSTITUIÇÃO:** UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA

**AUTOR(ES):** OSVALDO LUIS MIRANDA FERREIRA JUNIOR

**ORIENTADOR(ES):** PEDRO MANUEL MASCARENHAS MENEZES MARCÃO

Realização:



Apoio:



## 1. RESUMO

Durante toda a história, a engenharia civil sempre buscou compensar a ausência de áreas com boa capacidade de suporte para a construção, tanto nas edificações mais simples quanto nas mais colossais, rodovias, pavimentos e também o compromisso com a minimização de impactos ao meio ambiente. Assim, este trabalho estudou a criação de fundações com a participação de solos moles em uma obra no litoral da Baixada Santista, São Paulo, onde, sobretudo através de tratamento adequado desses solos e a aceleração de seus recalques. Através da pesquisa, notou-se que vários são os termos que levam a designar qual o tipo de fundação mais adequada para solos moles, sejam eles mais econômicos e/ou mais eficazes.

No estudo em causa e a partir do conhecimento do perfil de solo local, pôde-se dividir o loteamento em 5 áreas distintas, sendo diferenciadas pela profundidade de suas camadas de argila mole, tipo de tratamento aplicado ao solo e tempos de recalque.

Dois áreas receberam o tratamento mais convencional de aceleração de recalques pelo emprego de sobrecargas, uma área recebeu tratamento diferenciado, utilizando-se da combinação dos métodos de aceleração de recalque pelo emprego de sobrecargas e drenos fibroquímicos e por fim, duas áreas apresentaram camadas de solos resistentes, não apresentando recalques potenciais.

Focado no estudo comparativo dos métodos, foram obtidos dados reais sobre a utilização das duas técnicas, sendo seu veredito alcançado com êxito ao final do estudo.

O caso foi estudado do início ao fim dos ciclos de recalques, sendo comprovado através de gráficos dos dados coletados *in loco* que a utilização da combinação de sobrecarga e drenos fibroquímicos traz uma redução significativa do tempo estimado de ocorrência dos recalques primários, quando comparado com a utilização apenas das sobrecargas.

**Palavras-chave:** Aterros sobre solos moles; drenos verticais (PVD); geodrenos; sobrecarga.

## 2. INTRODUÇÃO

Atualmente, torna-se de extrema importância para o profissional atuante na área de engenharia civil, falar de aterros sobre solos moles e aceleração de recalques, pois com o crescimento dos centros urbanos e a aceleração na construção civil, tornou-se cada vez mais difícil encontrar solos competentes, ou seja, com uma boa capacidade de suporte.

Entendo que como engenheiro, é nossa responsabilidade buscarmos alternativas capazes de assegurar inovação, cumprimento de metas e prazos, menor impacto ao meio ambiente e sustentabilidade.

A engenharia civil está sempre inovando para atender a carência de áreas nobres para a construção e a necessidade de resguardar o meio ambiente. Isso compromete o aperfeiçoamento das técnicas de tratamento de solos moles, e na procura de novas escolhas para propiciar o uso do solo nos locais onde há presença de solo mole. (MACHADO; OLIVEIRA, 2010, p. 1).

Frequentemente apresentado em construções rodoviárias, o aterro sobre solos moles constitui um dos mais sérios problemas enfrentados pelos engenheiros geotécnicos.

O litoral brasileiro e várzeas dos rios, são abundantes em depósitos de argila mole, impondo severos desafios à engenharia, como ruptura de aterros ou recalques excessivos.

São frequentemente utilizadas técnicas para acelerar processos de adensamento em solos moles e compressíveis, sendo as mais comuns a aplicação de sobrecarga temporária e instalação de drenos verticais.

Os recalques finais foram influenciados pela relação de sobreadensamento. A hipótese de argila normalmente adensada leva a superestimativas dos recalques finais. Com os parâmetros dos solos adimensionalizados, é possível estimar recalques primários de aterros com boa precisão. (MASSAD, 2009, p. 228).

Se voltarmos um pouco na história, constataremos que os drenos verticais não são uma invenção recente. Ao final da década de 20, na Califórnia, EUA, sua utilização foi constatada, porém em forma de dreno vertical de areia. Finalmente por volta da década de 70, surgiram os drenos pré-fabricados, nomeados assim de geodrenos. Composto basicamente de um núcleo de PVC com resistência mecânica,

proporcionando excelentes desempenhos durante toda sua operação, minimizando impactos de deformações horizontais e verticais durante sua cravação e mantendo-se assim até o final de projeto.

“A utilização de drenos verticais promove a aceleração dos recalques ao diminuir o caminho de drenagem dentro da massa de solo compressível para cerca da metade da distância horizontal entre drenos” (ALMEIDA; MARQUES, 2010, P. 105).

### **3. OBJETIVOS**

Apresentar as tecnologias existentes para o tratamento de solos moles, considerando o melhoramento de suas propriedades geotécnicas, tornando-se cada vez mais indispensável no mundo globalizado, onde recursos são finitos.

Comprovar por meio de estudos, pesquisas através de bibliografia disponível, interpretação de relatórios e aplicações em campo, a efetiva contribuição dos geodrenos na aceleração dos recalques dos solos moles.

Fundamental na escolha do método, a geometria dos aterros pode ser a mais tradicional com aceleração por sobrecargas ou combinadas com drenos fibroquímicos. Diante de muitas possibilidades, é expressivo que o estudo seja mais aprofundado nas combinações de métodos: sobrecargas e geodrenos.

Neste comparativo, focou-se na aceleração dos recalques por drenos verticais associados às sobrecargas. Este método já vem se mostrando eficaz em obras de pavimentação e, portanto, sendo aplicado em obras de porte residencial.

### **4. METODOLOGIA**

Efetuada trabalho de campo, como estudo de projetos, levantamento de dados, análise de resultados e etc.

A análise se deu pelo método de Terzaghi, possibilitando assim a leitura e interpretação dos gráficos de monitoramento dos recalque ora apresentados. Utilizadas placas metálicas para aferição dos recalques, piezômetros elétricos e estação total para leitura dos recalques ocorridos.

Inicialmente as leituras ocorreram três vezes por semana e, após execução e estabilização dos aterros de sobrecarga diminuiu-se a periodicidade para uma vez semanal, sempre no período matutino. Com base nos resultados, foi elaborado

relatório semanal de acompanhamento da evolução dos recalques, sendo apresentado graficamente a evolução de cada placa recalçada, destacando-se os elementos monitorados por cores e símbolos.

## 5. DESENVOLVIMENTO

Os estudos foram realizados numa cidade localizada na Baixada Santista, São Paulo. Trata-se de um Conjunto Habitacional, que será construído em uma área com cerca de 21 mil m<sup>2</sup>. O empreendimento contabilizará 11 edifícios de 5 (cinco) pavimentos, totalizando 360 unidades habitacionais implantadas.

Para implantação do empreendimento inicialmente tornou-se necessário o estudo do terreno adquirido, realizando visitas técnicas ao local por equipes de geotécnicos especializados, que solicitaram a realização de ensaios específicos para conhecimento do perfil de solo existente.

Totalizando 12 (doze) perfurações para realização do ensaio de *Standard Penetration Test* (SPT), que consiste em detalhar o perfil do solo estudado, dividindo-o em camadas de acordo com sua granulometria, apresentando assim sua resistência e identificando o nível do lençol freático.

Analisando os resultados, o subsolo amostrado em 12 (doze) sondagens executadas à percussão apresenta, de forma geral, as seguintes formações:

- Aterro superficial de materiais variados, não consolidado;
- Aluvião com argila orgânica muito mole e areia fofa e;
- Sedimentos marinhos com camadas de areia fofa a compacta, alternando com camadas de argila marinha mole a média.

“Então, se fabricasse artificialmente uma camada de areia superficial, essa camada poderia transformar um terreno extremamente mole num terreno mais resistente.” (VARGAS, 1978, p. 60).

Baseado no perfil apresentado, percebeu-se a real necessidade de aceleração dos recalques dos solos moles, proporcionando assim maior conforto aos usuários e evitando patologias futuras. A partir deste ponto, o terreno então pôde ser dividido em 5 (cinco) áreas distintas (A-1 a A-5), conforme ilustrado na figura 1, retirada do projeto executivo de geotecnia. As subdivisões serviram para análises de ocorrências de recalques potenciais considerando os aterros e cortes previstos nos projetos executivos de Urbanismo e de Terraplenagem, juntamente com as características

geotécnicas apresentadas pelo subsolo, descritas nos perfis das sondagens disponíveis.

As divisões destas áreas diferem por: altura das sobrecargas, emprego de drenos fibroquímicos e tempos de recalques.

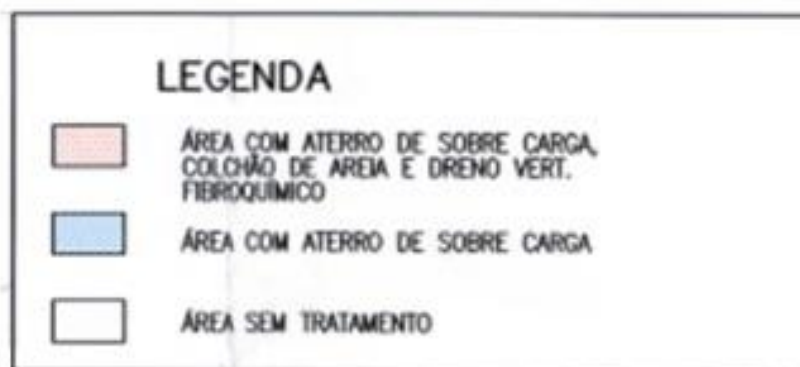
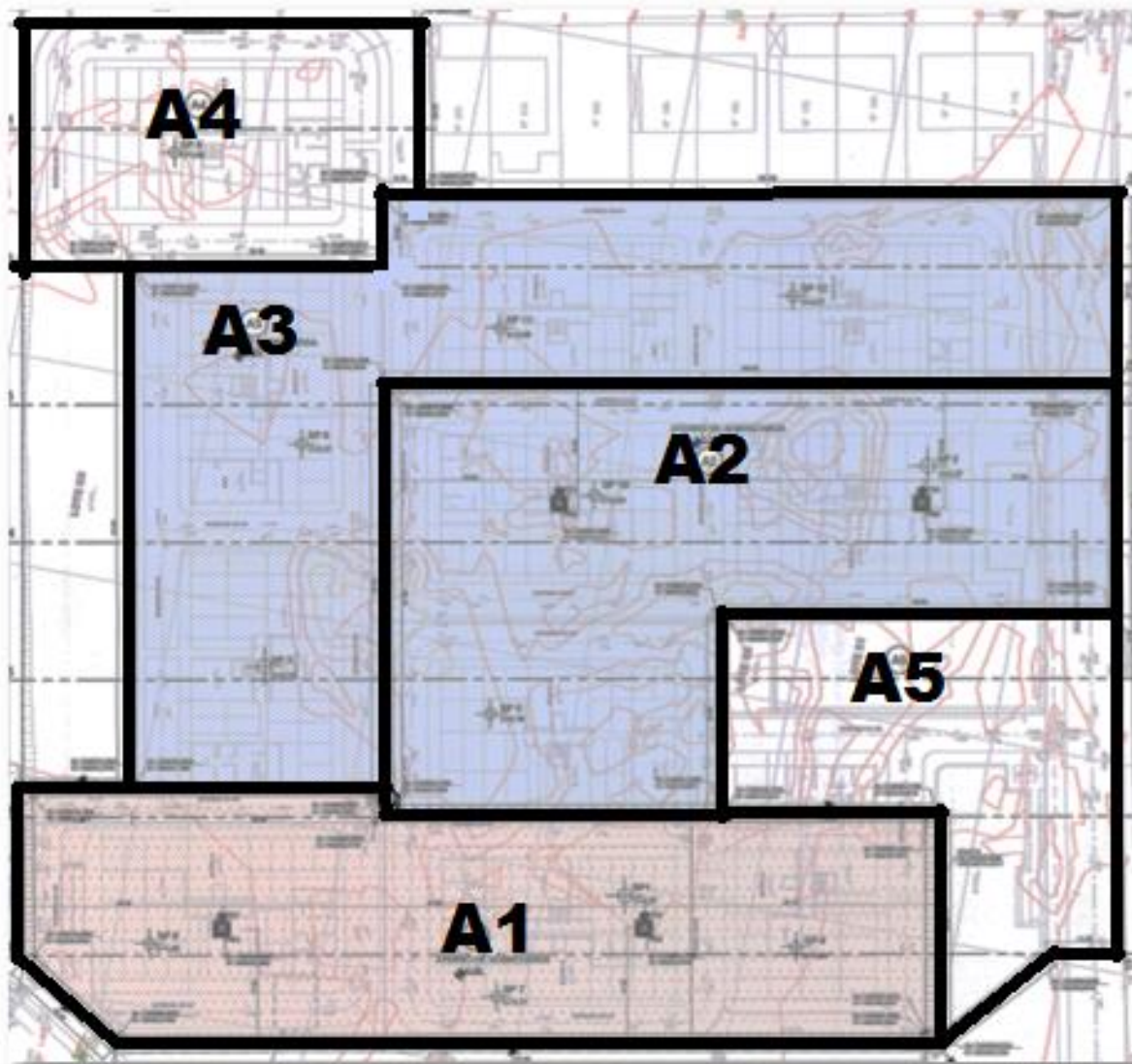


Figura 1 – Subdivisões de áreas

Fonte: Adaptado de Núcleo Engenharia Consultiva

**ÁREA A-1:** Constituída por camadas de aterros projetados, aterro efetivo, argila orgânica mole e sedimentos marinhos, a área apresenta uma camada de argila espessa, com menor capacidade de suporte ocorrendo grandes deformações.

Os recalques de adensamento estimados na condição sem aterro de sobrecarga eram de 0,46m. O tempo estimado para a ocorrência de recalque sob a ação do aterro de sobrecarga na Área A-1 será de aproximadamente 200 dias. O tempo estimado para a ocorrência dos recalques na área A-1 sob a ação dos aterros de sobrecarga poderá ser minimizado com o emprego de drenos verticais fibroquímicos (PVD) *Prefabricated Vertical Drains*.

Na estimativa considerou-se o método de Kjellman resultando em 51 dias o prazo estimado para ocorrência dos recalques totais. A redução do tempo de 200 dias para 51 dias foi significativa, recomendando o emprego dos drenos verticais nesta área, juntamente com o aterro de sobrecarga.

A figura 2 mostra a cravação dos geodrenos. Com o emprego de drenos verticais, é possível fazer a expulsão rápida da água contida no solo, promovendo grande diminuição do tempo necessário ao adensamento de terrenos compressíveis. A aplicação dos geodrenos faz com que ocorra um pleno recalque antes da execução da obra, incluindo uma indispensável economia nos custos de conservação.



Fonte: Autoria Própria  
Figura 2 – Cravação dos geodrenos na área A-1

Para que os drenos funcionem da maneira adequada, é necessária a execução de uma camada drenante, também denominada colchão drenante, que permitirá a saída da água oriunda dos processos de adensamento. O processo de fortalecimento começa quando o terreno está sendo comprimido, filtrando toda água existente nos poros do solo reduzindo seu volume. “Nos aterros construídos sobre geodrenos, executa-se inicialmente a camada drenante, que também tem a função de aterro de conquista” [...] (ALMEIDA; MARQUES, 2010, p. 38).

Conforme os primeiros registros de utilização, os drenos verticais eram de areia, sendo posteriormente substituídos por drenos pré-fabricados, também denominados geodrenos e drenos fibroquímicos. Os geodrenos são constituídos de um núcleo plástico com ranhuras em formato de canaletas, envolto por uma camada de manta geotêxtil de baixa gramatura, conforme detalhe da figura 3A.

O dreno é solidarizado à sapata de cravação que garante seu engaste, conforme figura 3C, após a retirada do mandril o dreno permanece cravado e impedindo a entrada de materiais sólidos dentro de seu núcleo.

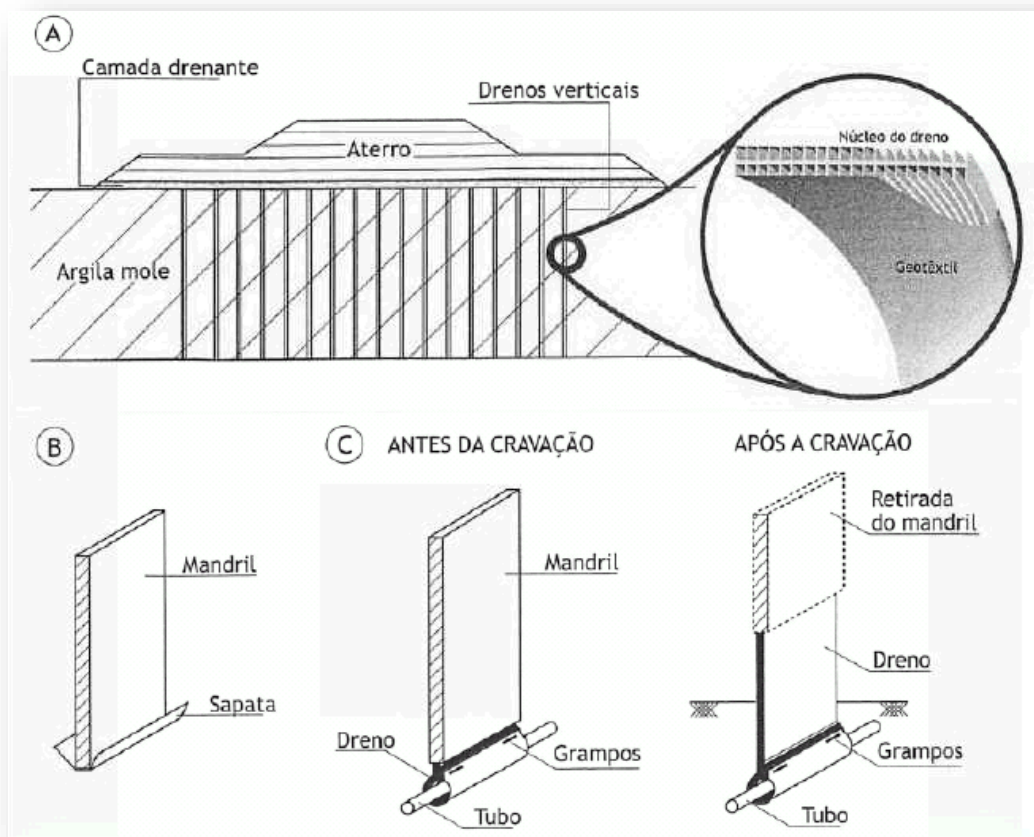


Figura 3 – Seção típica de aterros sobre geodrenos

(A) Seção transversal esquemática com bermas de equilíbrio; (B) Detalhe do mandril e da sapata de ancoragem dos geodrenos; (C) Detalhe do mandril de cravação e do tubo de ancoragem dos geodrenos. Fonte: ALMEIDA; MARQUES, 2010, p. 39

Algumas áreas apresentam perfil geológico com espessas camadas de argila orgânica mole, sendo necessário o emprego de técnicas de aceleração de recalque. Como o método mais usual na engenharia geotécnica, as sobrecargas são eficazes e constituem em um método mais econômico a ser adotado na obra.

**ÁREAS A-2 e A-3:** Constituídas por camadas de aterro projetado, aterro existente, argila orgânica mole e sedimentos marinhos, a área apresenta argila pouco espessa, porém com recalques potenciais.

Sendo totalmente necessário o conhecimento do perfil do terreno ao longo das áreas de tratamento. As sondagens foram realizadas de acordo com a Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 6484:2001, até a profundidade que aponte a camada compressível e o terreno implícito de maior resistência, respeitando os discernimentos da paralisação convencionados na norma.

A construção de aterros sobre solos moles, demanda do engenheiro muitos conhecimentos técnicos para alcançar desde as fases de verificações dos terrenos e da composição de um projeto geotécnico até a execução da obra.

Para o estudo das sobrecargas, e garantia de um material arenoso permanente nas áreas de tratamento de solo, foram realizados ensaios de Caracterização dos Solos (Análise Granulométrica de acordo com a NBR 7181:1988), Limite de Liquidez (de acordo com a NBR 6459:2016), Limite de Plasticidade (de acordo com a NBR 7180:2016), Índice de Suporte Califórnia (de acordo com a NBR 9895:1987).

Após ensaios, constatou-se a qualidade do material desejado em projeto, sendo o mesmo utilizado como sobrecarga, sendo a remoção da parte não recalcada utilizada na troca de solo das áreas A-4 e A-5 e sobrecarga das demais área, diminuindo o impacto ambiental ao promover seu reaproveitamento. Verificou-se que o uso de sobrecarga temporária acarreta um aumento da amplitude dos recalques totais. Com isso, o recalque total previsto para a carga original de projeto é atingido em um intervalo de tempo menor.

**Áreas A-4 e A-5:** Nestas áreas havia aterros arenosos compactados e argila rija, as duas representam solo mais resistente com boa capacidade de suporte e menos sensível a ocorrer deformações no solo.

Com base na interpretação dos relatórios obtidos através do ensaio de SPT, concluiu-se que essas áreas não necessitam de tratamento de solo de fundação por apresentarem solos mais resistentes, ou áreas de corte, ou ainda devido à cota do terreno próxima aos aterros projetados.

## 6. RESULTADOS

Observou-se a evolução dos recalques ora apresentado, constatando a eficiência do método utilizado.

Após a instalação dos drenos verticais, no final do mês de fevereiro de 2016, observa-se na figura 4 a aceleração da curva de recalques das placas PR-1 e PR-2 provocado pela combinação dos métodos de sobrecarga e drenos verticais, caracterizando a efetividade do processo. Em contrapartida na mesma figura, nota-se um processo moroso das curvas de recalques das placas PR-3 e PR-4, utilizando-se apenas da aceleração por sobrecarga.

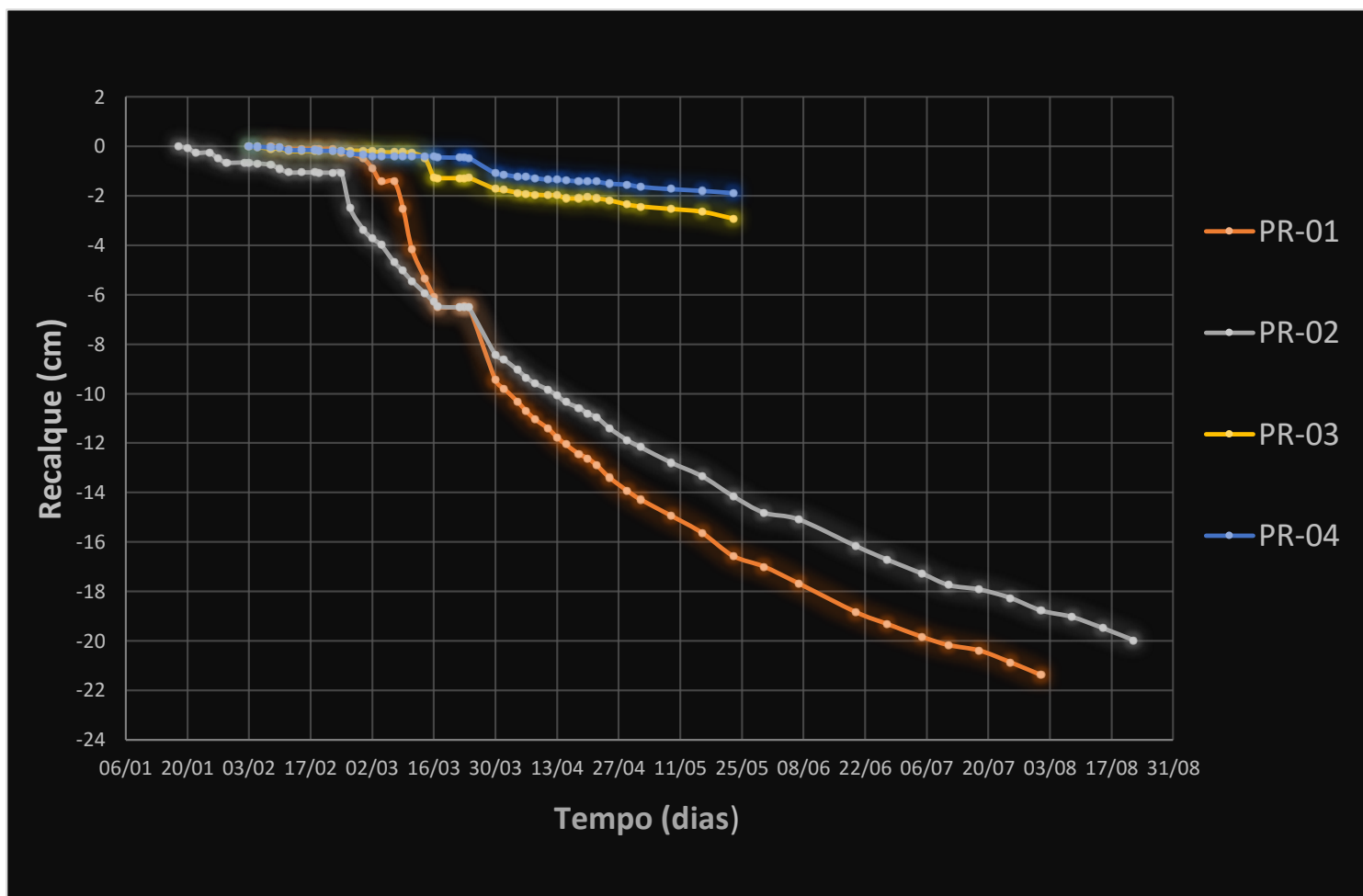


Figura 4 – Gráfico de recalques  
Fonte: CONCREMAT – Inspeções e Laboratórios

Mesmo ainda sendo um método oneroso, é muito eficaz e as vezes pode até ser igualado com outros custos, devido ao ganho de tempo na execução do empreendimento.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A engenharia de solos está se desenvolvendo cada vez mais de maneira a propiciar qualidade e custos inferiores para os projetos de aterros em solos moles, mesmo que ainda encareça o investimento.

O estudo mais aprofundado dos métodos existentes propicia novas tecnologias, redução de custos e preservação ambiental.

Estes métodos utilizados hoje em dia, se mostram mais eficazes para o proposto, porém ainda com custos elevados. Geralmente utilizados em obras de grande porte, como rodovias, pontes e recentemente em habitações de interesse social, sua difusão perpetua entre os envolvidos no assunto.

Existem outros métodos de aceleração de recalques, mas o adotado em questão tornou-se totalmente eficaz, comprovando na prática o assunto abordado por grandes mestres da área da engenharia geotécnica.

## 8. FONTES CONSULTADAS

**ABNT, NBR. 6459-Determinação do Limite de Liquidez.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984.

**ABNT, NBR. 7180, Solo-Determinação do limite de plasticidade.** São Paulo, 1984.

**ABNT, NBR. 9895-Índice de Suporte Califórnia. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984.**

**ALMEIDA, Marcio de Souza S.; MARQUES, Maria Esther Soares.** Aterros sobre solos moles: projeto e desempenho. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

**GRANULOMÉTRICA, Solo-Análise. NBR 7181.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984.

**MACHADO, LVS E. OLIVEIRA JTR; OLIVEIRA, J. T. R.** Análise de Desempenho do Aterro sobre Solo Mole Executado na Obra de Duplicação da BR-101/PE. COBRAMSEG, Gramado, RS, 2010.

**MASSAD, Faíçal.** Solos Marinheiros da Baixada Santista: características e propriedades geotécnicas. Oficina de Textos, 2009.

**VARGAS, Milton.** Introdução à mecânica dos solos. Mcgraw-Hill, Editora da Universidade de São Paulo, 1978.