



## FUNDAÇÕES SOBRE ATERRO MISTO NÃO COMPACTADO

\* Elias Plácido Vieira Cesar

\*\* Rebecka Ribas Cesar

### RESUMO

Este trabalho descreve o estudo e execução da fundação de uma fábrica, sobre um aterro não compactado, constituído de uma mistura de argila e matacões (pedra bola). O dimensionamento das sapatas foi baseado nos resultados de provas de carga em placas sobre o aterro, além do emprego de um reforço no solo com a substituição parcial da base da sapata por brita bruta.

Os trabalhos contrariaram as recomendações técnicas, porém chegou-se a um resultado satisfatório. A experiência prévia na primeira parte da obra mostrou que, apesar dos riscos, a relação custo/benefício foi vantajosa.

**Unitermos** : Fundações , Recalques, Aterros, Prova de Carga.

**Keywords** : Foundations; Settlement; Embankment; Load Test.

### ABSTRACT :

This article describes the project and construction of a factory foundation, on an embankment not properly compacted, of soft clay and round rocks. The project for the foundation dimensions was based on the results of plate load tests on the embankment. Also, a reinforced soil of crushed stones was used on the basis of the foundation. Even though the work contradicts technical recommendations, satisfactory results were obtained. The prior experience on the first part of construction showed that, despite the risks, the relation between costs and benefits is good.

### INTRODUÇÃO :

O projeto e a execução da fundação de uma fábrica, sobre um aterro não compactado, constituído de uma mistura de argila e matacões (pedra bola) foram baseados nos resultados de provas de carga em placas sobre o aterro, aliados a um reforço no solo com a substituição parcial da base da sapata por brita bruta.

---

\* Engenheiro Civil.

Diretor Técnico da Politécnica S/C Ltda.

Docente (Professor Adjunto) da Universidade Estadual de Londrina.

\*\* Engenheira Civil.

Mestranda pela POLI-EPUSP.

Engenheira da Politécnica S/C Ltda.

Docente do Departamento de Arquitetura e Urbanismo do Centro de Estudos Superiores de Londrina.

## PERFIL DO SOLO

A região do Norte do Paraná é constituída de Solo Residual de Basalto (terra roxa) tendo como principais características:

- Homogeneidade superficial (Argila siltosa porosa vermelha).
- Aumento da porcentagem de silte com a profundidade.
- Camada de alteração de rocha entre as cotas - 5,00/25,00m.
- Rocha Fraturada de basalto e Rocha Sã.

Nos pontos altos do relevo (próximos ao espigão), a camada de argila tem pouca profundidade, variando de 2,00m a 5,00m. Após esta camada, aparece uma mistura de argila e grande quantidade de matacões (Pedra bola como são conhecidas), que vão aumentando com a profundidade até formar "ninhos" impenetráveis, envoltos em rocha bastante alterada, conforme a Figura 1.

SPT	T	NA	COTAS	N	DESCRIÇÃO DO MATERIAL
2	4	NÃO ENCONTRADO	100,00	1	Argila Siltosa Porosa Vermelha Mole a Média
2	4			2	
4	8			3	
15	18		98,00	4	Silte Argiloso Amarelo e Rosa Rijo a Duro
18	22			5	
24	30		95,00	6	Matacões amarelos D = 20cm a 1,6m.
30	32			7	
40	38		92,00	8	Alteração de Rocha Preta e Amarela Dura
45	38			9	

FIGURA 1: PERFIL DE SONDAGEM

## TERRAPLENAGEM

A maior dificuldade de execução de obras próximas aos espigões, não são as fundações, mas a terraplenagem, em decorrências da presença dos matacões. Por esta razão, essas áreas não devem ser escolhidas para obras que exigem grandes terraplenagem. Nas obras de pequenas áreas (edifícios urbanos), resolve-se o problema removendo-se todo material, (bota fora) e se for necessário, importa-se argila de outro local (abundante). Fora da região dos espigões, o problema não existe, pois as camadas de argila são profundas, sendo possível fazer a compensação de cortes e aterros.

O grande problema está nas obras de grande porte (fábricas, escolas, centros de laser), onde os volumes escavados, transportados e recompactados são elevados. Quando se pretende realizar uma obra de grande porte em locais onde aparece grande quantidade de matacões, a terraplenagem deve ser realizada de forma correta e planejada. Para isso é necessária uma avaliação precisa, por meio de sondagens, inclusive com abertura de poços para análise visual. As quantidades de cada tipo de



material, cotas, profundidades possíveis de corte, volumes disponíveis, necessidade de bota fora ou importação de solo compactável devem ser levantados.

A mistura de argila e pedra não é recomendada para execução de aterros. O ideal é que esta mistura seja colocada em bota fora; porém, isto exige a importação de solo de outro aterro. Uma outra opção é fazer o projeto de tal forma que não haja aterro, ou seja, só corte. A hipótese de separar as pedras da argila é muito difícil, e não será possível a compensação do aterro. Todas estas soluções são de custo elevado, fazendo com que se adote a opção de realizar a terraplenagem, compensando-se os volumes, sem compactar o aterro. Embora esta solução seja contrária a todas as normas recomendadas na execução de aterros, em razão o aparecimento de inúmeros problemas futuros, ela foi adotada nesta obra.

## EXECUÇÃO DA TERRAPLENAGEM

A proprietária da obra escolheu a localização do terreno (doado pela Prefeitura), levando em consideração os interesses comerciais da indústria. A doação do terreno incluía a execução da terraplenagem, por parte do órgão público. Não houve uma especificação prévia de como deveria ser executado o aterro.

Iniciados os trabalhos, ocorreu o aparecimento de grande quantidade de matacões e verificou-se a impossibilidade de compactar o aterro, já que as pedras estavam envoltas na argila. Não existiu a possibilidade de executar qualquer controle tecnológico de compactação, mesmo porque as camadas tinham aproximadamente 1,00m a 1,50m de espessura.

Ao final dos trabalhos, o aterro estava constituído de uma mistura fofa de argila e matacões, com profundidades de até 12 metros. A única compactação que ocorreu foi a passagem de veículos pesados e um pouco de hidro-adensamento provocado pelas chuvas abundantes durante a execução da obra. As áreas de corte atingiram as camadas de ninhos de matacões, de difícil escavação, mas que apresentavam grande capacidade de carga.

## CARACTERÍSTICAS DA OBRA

A obra executada foi um edifício destinado à instalação de uma fábrica de embalagens, com pé direito de 12,00m, estrutura de concreto pré-moldada e fechamento em blocos de alvenaria.

As cargas verticais dos pilares eram razoavelmente pequenas, porém os momentos devidos aos ventos eram elevados.

## TIPOS DE FUNDAÇÕES

Nas áreas de corte foram adotadas sapatas alongadas que pudessem suportar os momentos dos pilares. Não havia possibilidade de se executarem tubulões ou estacas. Embora o solo apresentasse "taxas" elevadas, as cargas verticais eram baixas e as sapatas acabaram tendo dimensões elevadas, devido aos momentos.

O grande problema da obra foi nas áreas de aterro. Não havia possibilidade de execução de tubulões, pois o solo não apresentava estabilidade para escavação. Mesmo que se pensasse em revestimento, a grande quantidade de matacões, inclusive de grandes dimensões, não permitiria a escavação manual ou mecânica. A solução por estacas só seria possível com a utilização de estaca raiz.

Um estudo prévio indicou um custo muito elevado. Além disso, havia a impossibilidade de alteração de cronograma. A hipótese de se fazerem as sapatas em aterro sem compactação, foi a alternativa que passou a ser estudada.

## ESTUDO DE SAPATAS

Ao adotar-se a hipótese de utilizarem-se sapatas, passou-se a avaliar também o risco de problemas de recalques localizados. Uma das soluções seria fazer estudos (provas de carga em placas) que permitissem avaliar qual o grau de risco que a obra estava correndo, e quais as prováveis conseqüências. No final, com a participação do proprietário da obra, concluiu-se que os problemas que surgissem teriam um custo de reparo muito inferior ao que custaria a adoção de uma outra solução para as fundações e o cumprimento do cronograma.

Tendo em vista que não há possibilidade de determinar-se uma taxa do solo por avaliação de SPT ou penetrômetro, pois o solo é muito heterogêneo (misturado), optou-se por realizar algumas provas de carga em placas, em diversos pontos do aterro, nas prováveis cotas de apoio das sapatas. Com os resultados das Provas de Carga, seria "escolhida" uma taxa do solo em função de um recalque aceitável.

## PROVAS DE CARGA

Foram realizadas duas provas de carga na cota -2,20m, em pontos diferentes do aterro, cujo resumo dos resultados estão nas Figuras 2 e 3. Aproveitando o equipamento foi realizada também uma prova de carga na superfície, para estudo do dimensionamento do piso (Figura 4 - foto da PC).

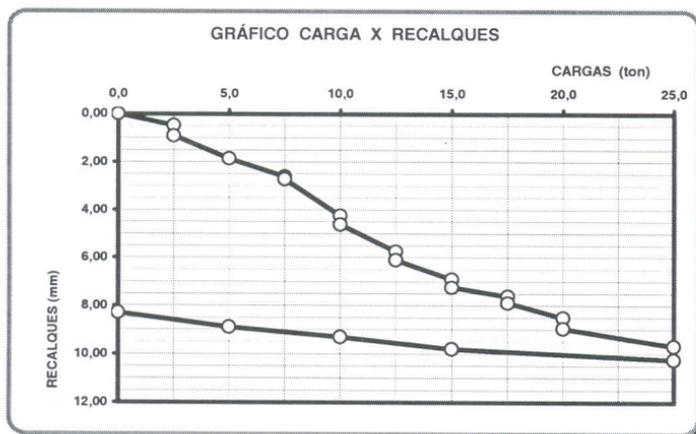


FIGURA 2 - PROVA DE CARGA 1 EM PLACA - D= 80cm, COTA = -2,20m

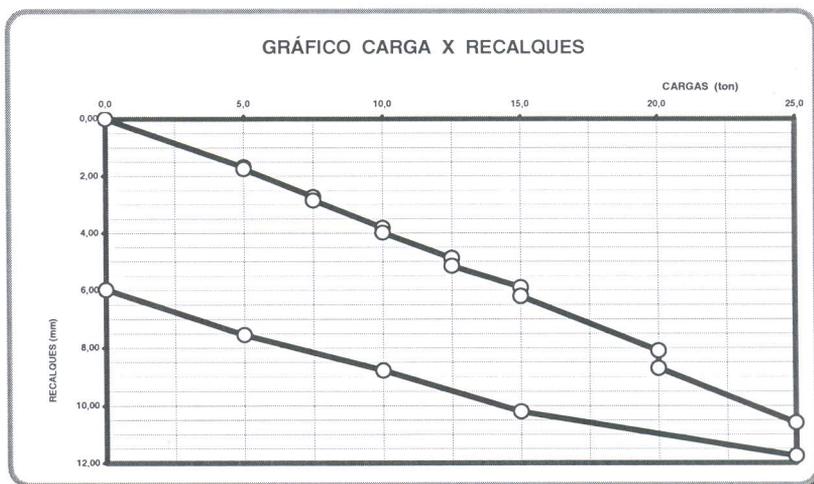


FIGURA 3: PROVA DE CARGA 2 EM PLACA D = 80cm, COTA -2,20m.

## ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS PROVAS DE CARGAS

Com base nos resultados obtidos, foram feitas as seguintes considerações:

- O solo apresenta grandes deformações (12mm) para taxas elevadas (50 t/m<sup>2</sup>);
- Para pequenos recalques as taxas devem ser muito baixas;
- Com base no gráfico "carga x recalque", verifica-se que para uma taxa de solo de 15t/m<sup>2</sup>, os recalques são em torno de 2,8mm a 3,0mm

Outro fator levado em consideração foi o fato das provas de as carga darem resultados semelhantes em diferentes pontos de ensaio. Pelo resultado da prova de carga, a ruptura só ocorrerá com grandes cargas. Estes elementos permitiram avaliar qualitativamente o grau e risco da obra, e prever que os recalques diferenciais seriam muito pequenos.

## PROJETO DAS SAPATAS

Com base nos valores obtidos acima foi elaborado o projeto definitivo da sapatas, com taxa de 15t/m<sup>2</sup>. Resultaram sapatas alongadas com dimensões variando entre 2,20m e 2,60m de largura, e comprimentos variados ( $\pm$  3,5m).

Considerando-se que estas sapatas estão sujeitas principalmente a cargas de momento, e portanto, carregadas só numa extremidade, admitiu-se a hipótese de que a dimensão máxima da sapata, para aplicação do "coeficiente de dimensões", é a sua largura (valor médio = 2,40 m). Com este valor, o recalque da sapata considerado razoável seria de 5mm. Verificou-se, entretanto, que as dimensões das sapatas ainda estavam muito grandes, para as cargas e dimensões da obra. Como as tensões na sapata eram muito baixas, optou-se por substituir uma parte inferior da sapata de concreto por

uma sapata de brita bruta. Desta forma a sapata de concreto ficou com dimensões reduzidas (até 60%) e apoiadas sobre a camada de brita (sapata) com uma taxa de apoio de  $30t/m^2$ .

As tensões aplicadas pelas sapatas de concreto sobre a camada de brita dissiparam-se até atingirem o solo com taxa de  $15t/m^2$ . Para isso foi necessário que a camada de brita tivesse dimensões superiores às da sapatas de concreto, supondo-se que a dissipação ocorreria num ângulo de 45 graus, como mostra a Figura 4. A camada de brita foi colocada dentro da escavação, confinada pelas paredes laterais e compactada contra as mesmas para dificultar ainda mais a ruptura.

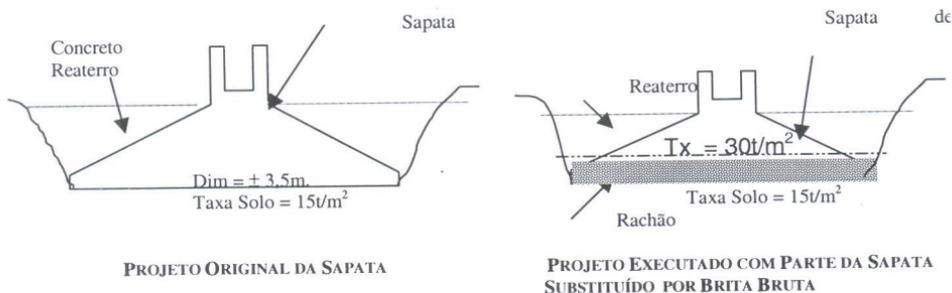


FIGURA 4: PROJETO DA SAPATA DE CONCRETO E RACHÃO

## ACIDENTE NA OBRA

Todo o projeto foi baseado na possibilidade de ocorrer um acidente. Durante a fase de montagem dos pré moldados e execução da alvenaria de vedação, ocorreu um período de intensas chuvas, com grandes alagamentos. Devido a falta de pisos e pavimentação, ocorreu uma infiltração elevada e apareceram recalques da ordem de 5 a 8cm, em 4 pilares.

Apesar dos resultados das provas de carga acusarem um comportamento relativamente homogêneo do solo, descobriu-se posteriormente que era uma pequena região do aterro que tinha qualidade inferior ao restante por acumular grande quantidade de lixo. Como garantia de que os pilares já tivessem sofrido toda deformação possível, foi feito um pré carregamento até 1,5 X a carga final, tendo ocorrido um recalque inferior a 1mm.

Foi necessária a execução de reparos na alvenaria e re-locação de algumas vigas. Tendo em vista que o adensamento deste aterro ocorre principalmente por saturação do solo, e considerando que toda a área construída, inclusive externa (pavimentos), impede que ocorram novas infiltrações, a possibilidade de novos acidentes é muito baixa. A obra está concluída há dois anos e não apresentou mais problemas de fissuras ou recalques.



## CONCLUSÕES

É possível executar obras com elevado grau de risco desde que se tenham parâmetros (por exemplo: provas de carga) que permitam avaliar as conseqüências que poderão ocorrer. A elaboração do projeto deve ser posterior a execução da provas de carga. A prática mostrou que entre executar a obra com uma técnica recomendada, mas de alto custo e cronograma prolongado, e executá-la com um certo grau de risco, desde que não seja de ruína total, é uma opção viável.

O fato de ter ocorrido o acidente só veio colaborar com a idéia de que às vezes é mais viável consertar do que utilizar uma técnica mais bem recomendada. Os resultados desta obra fizeram com que a proprietária iniciasse uma outra obra no mesmo local, adotando a mesma solução.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Prova de carga sobre terreno de fundação**. NBR 6489, Rio de Janeiro, dez./1984.

TERZAGHI, K; PECK, R. B. **Soil mechanics in engineering practice**. New York: John Wiley, 1948.

VARGAS, M. Relações da prova de carga e placa e dimensões das sapatas. **Solos e Rochas**, ABMS, São Paulo, 1970.