

SINGEO '90



Simpósio sobre Instrumentação Geotécnica de Campo

Rio de Janeiro, RJ

18-20 abril de 1990

Promoção:

SYSNO	809892
PROD	001680
ACERVO EBSC	

Apoio:



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA
DE MECÂNICA DOS SOLOS
Núcleo Regional do
Rio de Janeiro



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE
GEOLOGIA DE ENGENHARIA
Núcleo Regional do
Rio de Janeiro



COMITÉ BRASILEIRO
DE MECÂNICA
DAS ROCHAS



CLUBE DE ENGENHARIA
Diretoria Técnica
Div. Téc. de Geotécnica

st. 8098921

UTILIZAÇÃO DE DADOS DE INSTRUMENTAÇÃO NO PROJETO DE TÚNEIS URBANOS

Tarcísio B. Celestino, Themag, EESC-USP, São Paulo
Sebastião M. Burin, Themag, São Paulo
Luiz G. Clemente, Metrô, São Paulo
Argimiro A. Fernandez, Metrô, São Paulo

RESUMO

O trabalho trata da instrumentação de túneis urbanos construídos pelo método NATM, destacando os aspectos referentes à interferência recíproca de túneis próximos escavados em argila. Após um breve resumo de casos semelhantes já apresentados na bibliografia técnica, são apresentados novos dados de instrumentação observados durante a construção de túneis para o Metrô de São Paulo, procurando-se estabelecer relações de dependência entre os efeitos de recalque recíproco e características geométricas dos túneis.

1. INTRODUÇÃO

A construção de obras subterrâneas por NATM é uma das áreas de engenharia civil que mais dependem diretamente dos resultados de instrumentação. O caráter observacional do método torna-o muito dependente de interpretações adequadas da instrumentação. A utilização de instrumentação propicia a garantia de um nível adequado de segurança, permitindo otimizações no método construtivo que podem resultar em substancial economia da obra, desde que os mecanismos contratuais o permitam.

Estas observações, válidas em caráter geral, ganham muito mais importância quando se trata de obras subterrâneas urbanas. As interferências da obra com edificações lindeiras amplia a necessidade de atualização de previsões e de correlações dos recalques com os mecanismos que as originam, de modo a poder-se atuar efetivamente sobre eles. O tratamento ágil e adequado da volumosa massa de dados exige ferramentas não convencionais e, por esta razão, a Companhia do Metropolitano de São Paulo decidiu desenvolver o sistema SACI para o controle e acompanhamento de instrumentação de campo. Aquele sistema foi descrito por Domingues et al. (1987), em sua versão original, e por Domingues et al. (1988) após implementação de várias melhorias. Resultados da utilização adequada da instrumentação que possibilitaram otimizações de operações construtivas e redução de custos para o Metrô de São Paulo foram relatados por Celestino et al. (1988).

No presente trabalho descreve-se um caso de utilização do sistema SACI para análise do fenômeno de interferência recíproca de túneis em solo, escavados muito próximos, ou seja, com pilar central menor que um diâmetro.

2. CASO ANALISADO

A partir de dados de túneis escavados com couraça, Cording & Hansmire (1975) e Birger (1969) concluíram que o segundo túnel causa recalques substancialmente maiores que o primeiro. Isto podia ser explicado pela não linearidade do comportamento tensão-deformação do solo, já que a somatória dos efeitos de deformação é maior que a somatória dos efeitos de tensão.

Tendência contrária, ou seja, de o segundo túnel causar menores recalques que o primeiro, foi relatada por Celestino et al. (1987) e Celestino et al. (1988) para dois túneis escavados por NATM, em 1986, em argila terciária da Bacia Sedimentar de São Paulo. O fato foi explicado como resultado da melhoria, do ponto de vista de rigidez, que o maciço "reforçado" por uma casca fechada de concreto projetado apresenta em relação ao maciço homogêneo, antes de qualquer operação de escavação e instalação de suporte. Fato semelhante foi relatado por Celestino et al. (1985) após a análise de recalques de túneis apresentados por Golser (1979) e por Laabmayr & Weber (1978), também escavados por NATM, com parcialização em galerias laterais, onde também a segunda galeria provocou menos recalques que a primeira.

No caso aqui relatado, dois túneis escavados em 1988 a partir do mesmo poço dos túneis escavados em 1986, porém em direção contrária e com recobrimentos crescentes e pilar mais estreito apresentaram tendência semelhante à relatada por Cording & Hansmire (1975).

Como a geologia e o método construtivo (descritos em detalhe por Celestino et al., 1987 e Mitsuse et al., 1987 e Ferrari et al., 1987) são praticamente os mesmos dos túneis escavados em 1986, isto sugere que a diferença de comportamento não é devida apenas a efeitos de método construtivo (couraça versus NATM) ou de geologia.

Através da flexibilidade de manipulação dos dados com o SACI, apresenta-se aqui uma tentativa de estabelecimento de efeitos que determinem a mudança de comportamento como a dimensão do pilar central e o recobrimento acima dos túneis.

Análises numéricas por elementos finitos simulando as diversas fases construtivas de cada um dos túneis foram realizadas, porém seus resultados não são comentados aqui.

Os túneis em questão têm 6 m de diâmetro e 450 m de extensão. Até cerca de 100 m as seções de escavação situavam-se inteiramente em argila, e as frentes de escavação estiveram sempre defasadas de pelo menos 25 m. Após este trecho inicial, um expesso horizonte de areia fina abaixo do nível d'água estava presente nas seções de escavação, e por motivo de necessidade de drenagem mútua, as frentes de escavação passaram a progredir defasadas por distâncias menores.

A análise apresentada aqui refere-se ao trecho inicial de escavação, ou seja, túneis em argila e frentes de escavação defasadas de pelo menos 25 m. Neste trecho, o recobrimento acima do eixo dos túneis variou de 20 a 35,8 m e o pilar central variou de 2,3 a 4,0 m. A instrumentação de recalques consistia de seções de placas e tassômetros espaçadas de cerca de 30 m.

3. RECALQUES PROVOCADOS POR CADA TÚNEL

Os aparelhos de medida de recalques superficiais e profundos foram organizados em seções transversais abrangendo os dois túneis, conforme ilustra a Figura 1. A Tabela 1 apresenta as seções selecionadas para a análise deste trabalho, indicando sua posição (X) ao longo do eixo dos túneis e os valores de profundidade (Z) e espessura do pilar entre os túneis (d) associados a cada seção. As seções desta tabela foram selecionadas por estarem localizadas dentro dos 100 m iniciais, onde o túnel leste foi executado primeiro que o oeste, havendo entre as frentes de escavação uma distância grande o suficiente para poder-se separar os recalques provocados por cada túnel isoladamente.

Na Tabela 2 (recalques superficiais) e na Tabela 3 (recalques profundos) encontram-se os valores de recalques observados sobre o eixo de cada túnel, provocado pela sua própria escavação e pela escavação do vizinho. A nomenclatura utilizada nestas tabelas é a seguinte: E indica túnel leste e W túnel oeste; a primeira letra faz referência ao túnel sobre cujo eixo foram medidos os recalques e a segunda letra indica o túnel que provocou o recalque. Por exemplo, na coluna Ew estão apresentados os recalques medidos no eixo do túnel leste provocados pela escavação do túnel oeste.

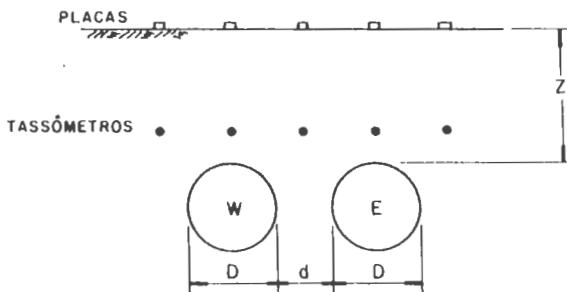


Figura 1. Seção de instrumentação típica

Tabela 1. Seções de instrumentos selecionadas

Seção	X (m)	Z (m)	d (m)
S2-16	1,0	20,0	4,0
S2-17	14,5	27,0	3,5
S2-18	29,0	28,7	3,0
S2-19	43,0	30,5	2,8
S1-01	51,0	31,2	2,5
S1-02	63,0	32,4	2,4
S1-03	76,0	34,0	2,3
S1-04	93,0	35,8	2,5

Tabela 2. Recalques superficiais (placas)

Seção	Ww	Ee	Ew	We	Ww/Ee	Ew/We
S2-16	7,7	5,1	5,5	3,4	1,5	0,6
S2-17	14,1	9,4	9,5	8,9	1,5	0,9
S2-18	13,8	7,8	9,9	6,7	1,8	0,7
S2-19	9,1	6,8	6,8	8,9	1,3	1,3
S1-02	4,6	2,3	4,1	-	2,0	-
S1-03	2,6	3,0	3,1	0,3	0,9	0,1
S1-04	3,4	2,2	3,5	0,5	1,5	0,1

Tabela 3. Recalques profundos (tassômetros)

Seção	Ww	Ee	Ew	We	Ww/Ee	Ew/We
S2-16	15,0	9,4	2,0	2,2	1,6	1,1
S2-17	23,9	17,1	5,1	7,0	1,4	1,4
S2-18	22,3	13,5	7,2	7,5	1,7	1,0
S2-19	15,8	10,6	6,5	7,3	1,5	1,1
S1-01	8,4	8,2	5,6	9,5	1,0	1,7
S1-02	13,0	-	5,2	-	-	-
S1-03	7,3	3,0	4,2	-	2,4	-
S1-04	12,3	7,0	4,8	1,1	1,8	0,2

A distância entre as frentes de escavação não foi tão grande, contudo, para que houvesse uma estabilização plena dos recalques provocados pelo primeiro túnel (leste) antes da escavação do segundo (oeste). Deste modo, os efeitos associados à escavação de um túnel em uma dada seção foram definidos tomando-se a variação dos recalques observados no período em que a frente de escavação esteve posicionada a menos de dois diâmetros (cerca de 12 m) da seção instrumentada, conforme indica a Figura 2.

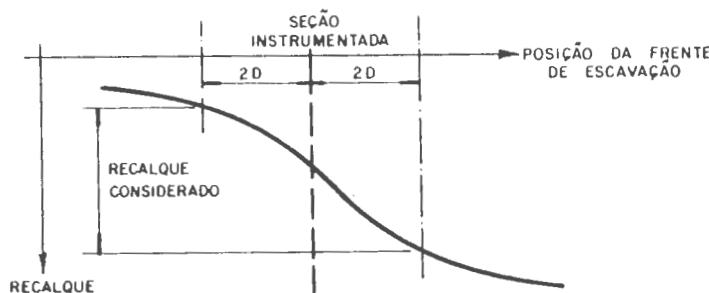


Figura 2. Critério adotado para determinação dos recalques devidos à escavação de um túnel isoladamente

As Figuras 3 e 4 apresentam a distribuição longitudinal dos recalques E_e e W_w , superficiais e profundos respectivamente. Nota-se nestas figuras, que os recalques junto ao poço são afetados pela sua execução prévia. Observam-se também valores anômalos na seção S1-2 ($X=63,0$ m), onde a instalação dos aparelhos foi feita tardivamente.

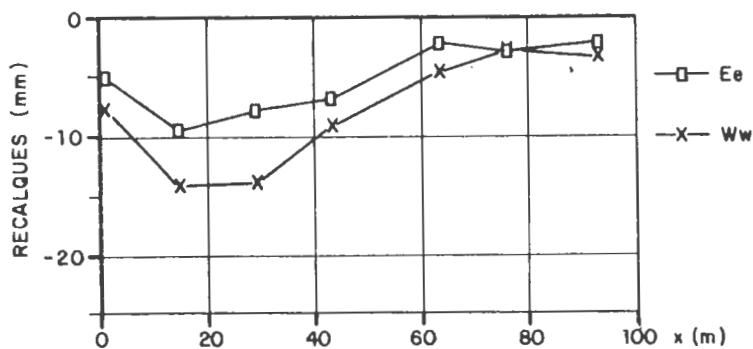


Figura 3. Recalques superficiais ao longo do eixo de cada túnel

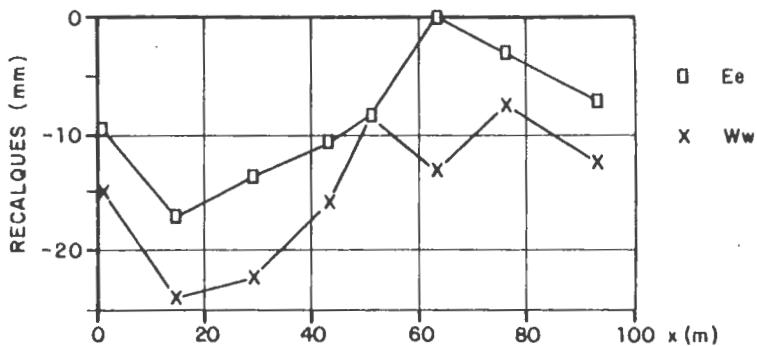


Figura 4. Recalques profundos ao longo do eixo de cada túnel

4. RESULTADOS OBTIDOS

A Figura 5 apresenta as variações das relações de recalques W_w/E_e e E_w/E_e com a espessura do pilar adimensionalizada pela profundidade. A relação W_w/E_e , sempre superior a 1 mostra comportamento do tipo relatado por Cording & Hansmire (1975), ou seja, maiores recalques provocados pela escavação do segundo túnel. A relação E_w/E_e é menor que 1 para pilares delgados, e tende a 1 para pilares mais espessos. Isto confirma a tendência de que o maciço, interagindo com uma casca de concreto projetado fechada

torna-se mais rígido. Este acréscimo de rigidez, entretanto, não chega a ser suficiente para diminuir recalques sobre o segundo túnel a ser escavado. A mudança de comportamento em relação aos túneis escavados em 1986, relatada por Celestino et al. (1988), deve ser atribuída à maior profundidade dos novos (tratados neste trabalho), acarretando maiores níveis de tensões, explorando o comportamento não linear do solo.

Os elevados valores de Ww/Ee associados a pequenos valores de Ew/We sugerem que a bacia de recalques decorrentes do segundo túnel é bem mais estreita que a bacia do primeiro. Isto é comprovado pela Figura 6, que apresenta as bacias de recalques profundos para a seção S2-19.

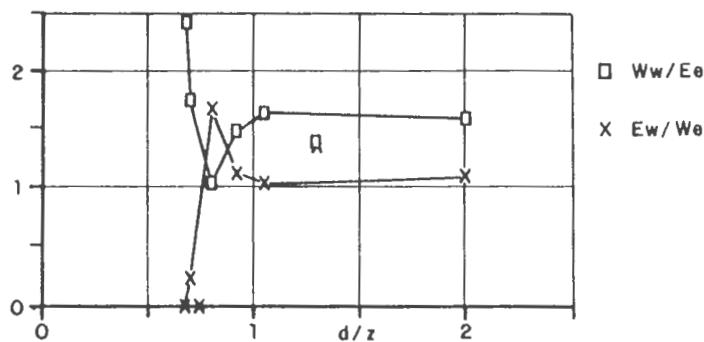


Figura 5. Variação das razões de recalque com a dimensão do pilar

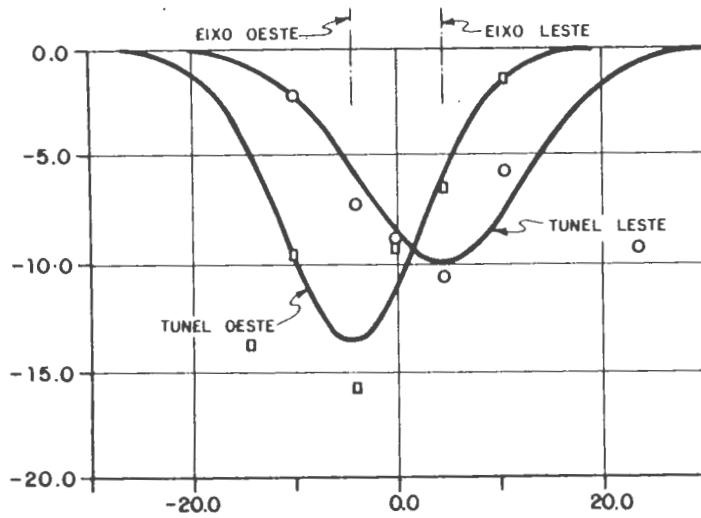


Figura 6. Bacias de recalques profundos devidos aos túneis isolados

5. CONCLUSÕES

Dado o caráter observacional do Método Austríaco para Construção de Túneis (NATM), a interpretação e manipulação rápida dos dados de instrumentação é essencial.

Este trabalho apresenta manipulações de recalques provocados pela escavação em solo de túneis próximos, com pilar central variando de 40 a 66% do diâmetro dos túneis. Apesar de alguns problemas com instalação em tempo hábil dos instrumentos, observou-se que o segundo túnel provocou recalques maiores que o primeiro.

Este comportamento é oposto ao observado em túneis na mesma localidade (mesma geologia portanto) escavados sob menor cobertura e com pilar mais espesso. O trabalho não pretende explorar teoricamente o problema, e é possível que o adimensional utilizado (d/z) não seja adequado para definir os campos de ocorrência dos dois comportamentos distintos.

A bacia de recalques provocada pelo segundo túnel é bem mais aguda que a do primeiro (mais estreita e maior recalque máximo), o que significa recalques diferenciais também maiores (cerca de 1:1200 para o primeiro túnel e 1:850 para o segundo túnel).

6. REFERÊNCIAS

- BIRGER, S. (1969), "Settlements & Ground Movements Associated with Tunnelling in Soil", Ph.D. Dissertation, Univ. of Illinois.
- CELESTINO, T.B., DOMINGUES, L.C., MITSUSE, C.T., HORI, K., FERRARI, O.A. (1985), "Recalques decorrentes da construção por NATM de um túnel urbano de grandes dimensões e pequena cobertura", II Simpósio de Escavações Subterrâneas, Vol I, pp. 325-347, Rio de Janeiro.
- CELESTINO, T.B., FERRARI, O.A., LEMOS, L.B., MITSUSE, C.T., DOMINGUES, L.C., DLMOLIN, L. (1987), "A influência recíproca observada na implantação de dois túneis vizinhos escavados pelo NATM", V CBGE, vol. 2, pp 45-55, São Paulo.
- CELESTINO, T.B., FERRARI, O.A., MITSUSE, C.T., DOMINGUES, L.C. (1988), "Progress in the Use of NATM for the São Paulo Subway", Second International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, pp. 941-945, St. Louis.
- CORDING, E.J., HANSMIRE, W.H (1975), "Displacements around soft ground tunnels", Fifth Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, pp. 571-633
- DOMINGUES, L.C., BURIN, S.M., CELESTINO, T.B., MITSUSE, C.T., ESQUIVEL, E.R., FERRARI, O.A., HORTA, A.P. (1987), "SACI - Sistema para acompanhamento e controle de instrumentação", VIII Congresso Latino-Americano e Ibérico sobre Métodos Computacionais para Engenharia, Rio de Janeiro.

DOMINGUES, L.C., BURIN, S.M., CELESTINO, T.B., MITSUSE, C.T.,
ESQUIVEL, E.R., FERRARI, O.A., HORTA, A.P. (1988), "SACI - A
system for instrumentation control and follow-up", VI
International Conference on Numerical Methods in Geomechanics,
pp. 2197-2201, Innsbruck.

FERRARI, O.A., LEMOS, L.B., MITSUSE, C.T., CELESTINO, T.B. (1987),
"Adaptações de projeto como soluções de campo desenvolvidas
durante o acompanhamento de dois túneis em NATM no Metrô de
São Paulo", V CBGE, vol. 2, pp. 57-67, São Paulo.

GOLSER, J. (1979), "NATM in subway construction - subway Bouchum
Sec. Bl", ASCE Convention and Exposition, Atlanta.

LAABMAYR, F. and WEBER, J. (1978), "Messungen, Auswertung und ihre
Bedeutung", Moderner Tunnelbau beider Münchener U-Bahn,
Springer, Verlag.

MITSUSE, C.T., CELESTINO, T.B., FERRARI, O.A., LEMOS, L.B. (1987),
"Avanços técnicos obtidos na execução por NATM dos túneis
singelos da extensão norte do Metrô de São Paulo", V CBGE,
vol. 2, pp. 33-44, São Paulo.