

PECULIARIDADES NO COMPORTAMENTO DE FUNDAÇÕES RASAS E PROFUNDAS DE EDIFÍCIOS DAS CIDADES DE SANTOS E SÃO VICENTE (SP)

Prof. Faiçal Massad
ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

TÓPICOS

1. AS ARGILAS SEDIMENTARES DA B. SANTISTA

- 2 Ciclos de deposição
- Relação de Sobreadensamento
- **Ação de Dunas**

2. FUNDAÇÕES RASAS

- Dispersão nos Recalques Absolutos
 - Dispersão nas Velocidades dos Recalques
 - Inclinação de Edifícios Isolados
- **Anomalias**

3. FUNDAÇÕES PROFUNDAS

- **Estacas "T" ou Radier Estaqueado**



BENEDITO CALIXTO (1853-1927)

1. "... no tempo de Martin Afonso, 1532, o mar invadia toda essa zona de mangues, formando verdadeira bahia..."
2. "... toda essa região de mangues, ao redor de Santos, São Vicente e Bertioga, esteve coberta de água, há 300 ou 400 anos, e que o recuo do mar, embora lento, tem sido aí bastante apreciável..."

Benedito Calixto (1904)

BENEDITO CALIXTO: O CIENTISTA

“Antes de formar um juízo definitivo sobre os sambaquis, tem ainda a ciência de estudar a sua biologia e as condições geológicas da costa... . Mas como isto tudo está por ser feito...”.

Benedito Calixto (1904)

AS ARGILAS SEIMENTARES DA BAIKADA SANTISTA: 2 CICLOS DE DEPOSIÇÃO

1. Até meados da década de 1980 elas foram consideradas como **argilas moles**, **normalmente adensadas**, formadas durante um único ciclo deposicional, sem erosão (Pacheco Silva 1953) .
2. Esta concepção perdurou por muitas décadas apesar e se saber da presença de **argilas médias a duras**, algumas vezes altamente sobreadensadas.
3. Na década de 1980 descobriu-se que as sedimentações foram causadas pelas **variações relativas do NM** durante o Quaternário.

PELO MENOS 2 CICLOS DE DEPOSIÇÃO OCORRERAM, INTERCALADAS POR UMA INTENSA EROSIÃO

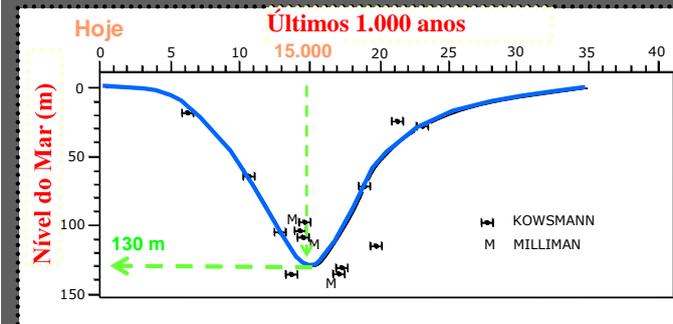
1. PLEISTOCENO: 100.000 - 120.000 ANOS

- ✓ Argilas Transicionais (AT), médias a rijas e mesmo duras.
- ✓ **Sobreadensadas** por um grande abaixamento do NM, de ~110m no pico da última glaciação (15,000 years BP).

2. HOLOCENO: 7.000 – 5.000 ANOS

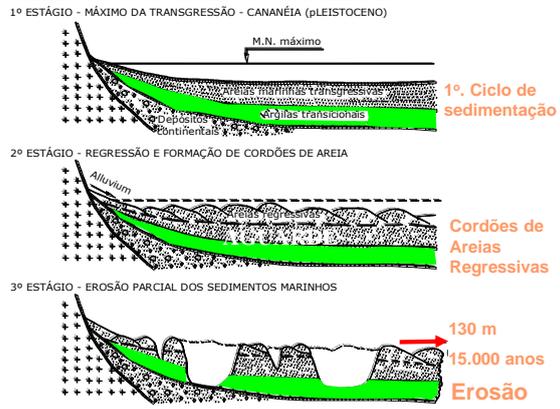
- ✓ Argilas de SFL (Sedimentos-Flúvio-Lagunares e de Baías) e os sedimentos de **Mangue**, ainda em formação.
- ✓ Em geral, argilas **muíto moles a moles**.
- ✓ Em geral, **levemente sobreadensadas**: oscilação negativa do NM e ação de dunas.

VARIAÇÕES DO NÍVEL DO MAR NOS ÚLTIMOS 35.000 ANOS



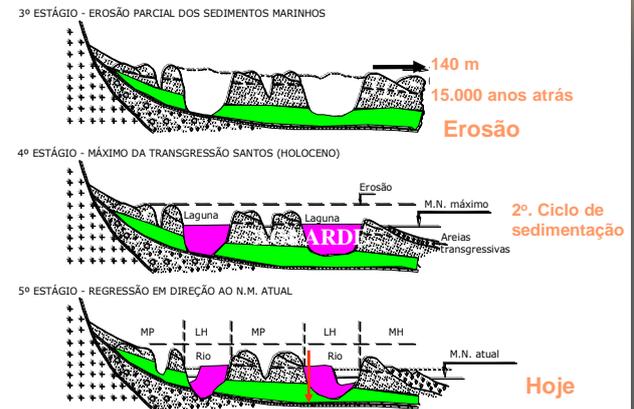
(Suguio e Martin)

GÊNESE DAS PLANÍCIES COSTEIRAS PAULISTAS (1)



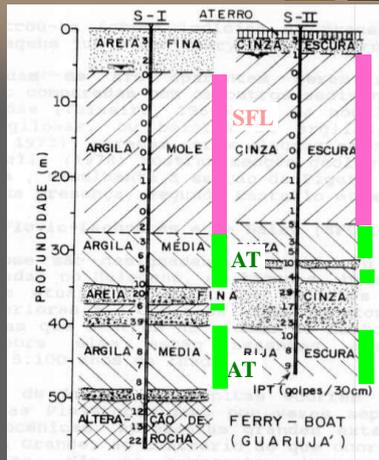
(Suguio e Martin, 1981)

GÊNESE DAS PLANÍCIES COSTEIRAS PAULISTAS (2)

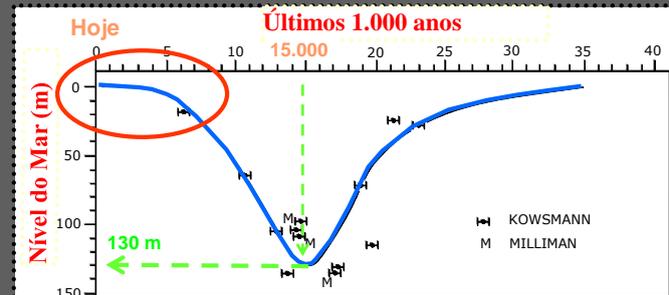


(Suguio e Martin, 1981)

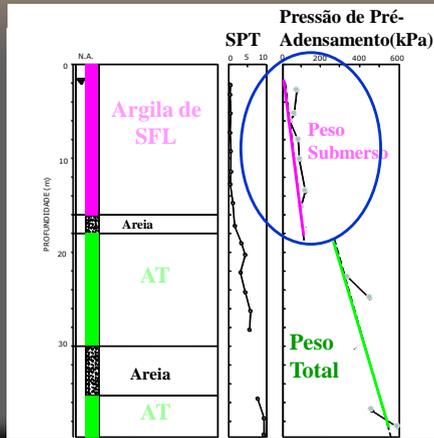
PONTE SOBRE O CANAL DO CASQUEIRO



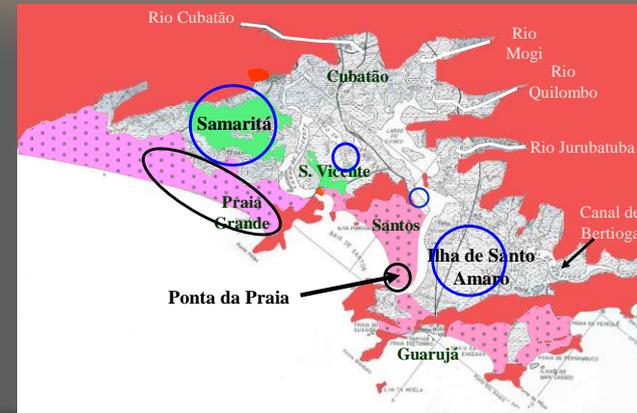
VARIAÇÕES DO NÍVEL DO MAR NOS ÚLTIMOS 35.000 ANOS



PRÉ-ADENSAMENTO DAS ARGILAS MARINHAS

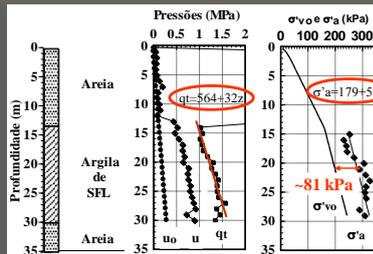


DUNAS NA BAIXA SANTISTA EVIDÊNCIAS GEOGRÁFICAS



PREADENSAMENTO DAS ARGILAS

EVIDÊNCIAS GEOTÉCNICAS: CPTUs



c) CPTU-2 – Edifício UNISANTA – Cidade de Santos

$$\sigma'_b = \frac{q_t - \sigma_{vo}}{N_{ot}} \therefore N_{ot} = \frac{b - \gamma_b}{\gamma'}$$

$$N_{ot} = 3.0$$

Edifício UNISANTA: 10 andares:

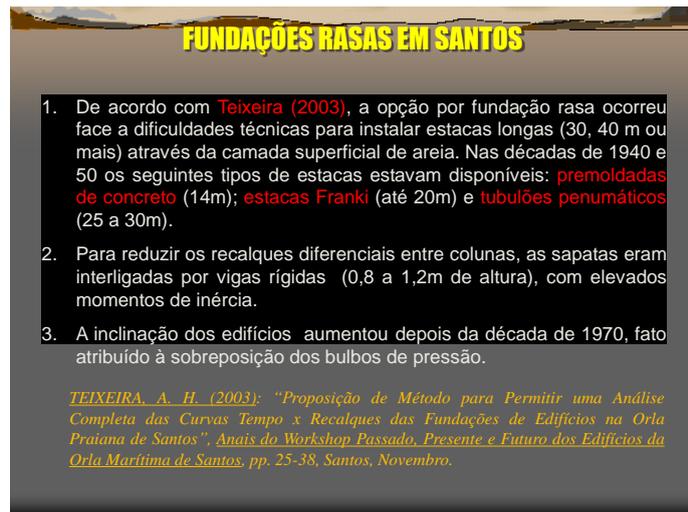
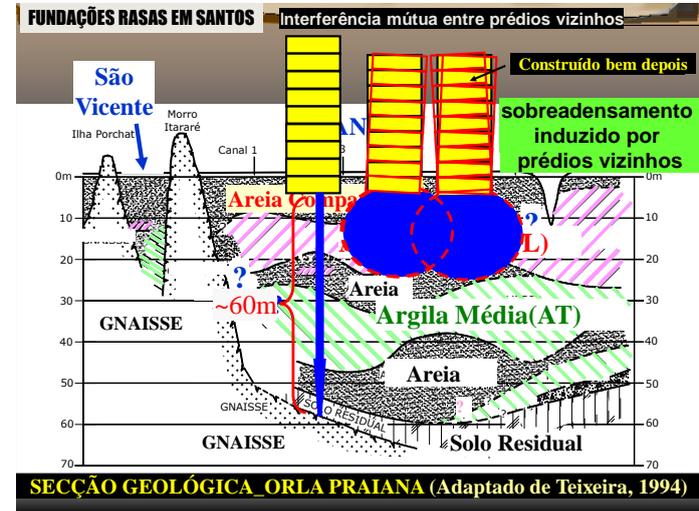
- esperavam-se recalques de 30 a 40 cm para $RSA=1,1$ a $1,2$, ou $\sigma'_a - \sigma'_{vo} = 20$ a 30 kPa, fosse a oscilação negativa do nível do mar a causa do sobre-adiensamento (Classe 1).
- Mas, após 1300 dias de medições, o recalque primário máximo foi de apenas 14 cm, consistente com um valor de $RSA \approx 1,4$ ou $\sigma'_a - \sigma'_{vo} = 81$, cifra esta associada à ação de dunas (SFL Classe 2). Confirma-se $N_{ot} = 3$.

Algumas Propriedades

Item	Diferenças			Semelhanças		
	Man-gues	SFL	AT	Man-gues	SFL	AT
Prof. (m)	≤5	≤50	20-45	≤5	≤50	20-45
SPT	0	0-4	5-25	13.0	13.5-16.3	15.0-16.3
B_v	-	0.4-0.9	-0.1-0.2	% < 5 μ	-	20-90
q_c (MPa)	-	0.5-1.5	1.5-2.0	w_L	40-150	40-150
e	>4	2-4	<2	I_p	30-90	20-90
σ'_a (kPa)	<30	30-200	200-700	$C_u/(1+e_u)$	0.36	0.43
OCR	1	1.1-2.5	>2.5	Cr/Cc (%)	12	8-12
s_u (kPa)	3	10-60	>100	R_u (%)	-	1.5-4.0
						1.5-2.0

Elas diferem nas "propriedades de estado" (SPT, e , σ'_p e s_u).

As "propriedades-índice" são praticamente as mesmas.



CIDADE DE SANTOS E SÃO VICENTE

CONSEQÜÊNCIAS : RECALQUES ANÔMALOS EM EDIFÍCIOS COM FUNDAÇÃO RASA

ALGUNS FATOS INTRIGANTES

GRANDE DISPERSÃO

- Nos recalques: em geral, entre 40 e 120 cm
- Nas velocidades dos recalques:
 - ✓ Teixeira (1994): 3 a 20 mm/ano
 - ✓ Gonçalves (2005): 5 a 15 mm/ano

RECALQUES SECUNDÁRIOS

DESAPRUMO INEXPLICADO DE EDIFÍCIOS

➤ Edifício SA (Construído em 1947, com 15 andares)

Pilar 40 (ρ=0,60m) Pilar 1 (ρ=0,85m)

Não se encontrou nenhuma explicação racional para o fato (Teixeira, 1960-b)

EDIFÍCIO EXCELSIOR

26 10 2001

CANAL 4

Vila D'Este (1982)

Cavium 1969

P52/53 (ρ=0,61m)

EXCELSIOR (1965)

P1 (ρ=1,65m)

CANAL 4

EDIFÍCIOS DE SANTOS E SÃO VICENTE

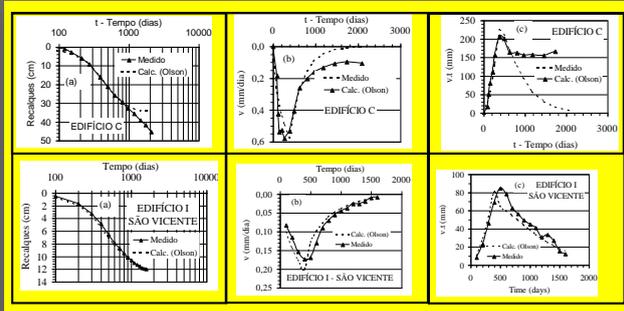
LOCAL	EDIFÍCIO
SANTOS	EDIFÍCIO B
	EDIFÍCIO C
	EDIFÍCIO D
	EDIFÍCIO IA
	EDIFÍCIO IB
	EDIFÍCIO SC
	EDIFÍCIO S A
	EDIFÍCIO U
SÃO VICENTE	NUNCIO MALZONI
	UNISANTA
	EDIFÍCIO A
	EDIFÍCIO I

Construídos na década de 40-50

1967
1999

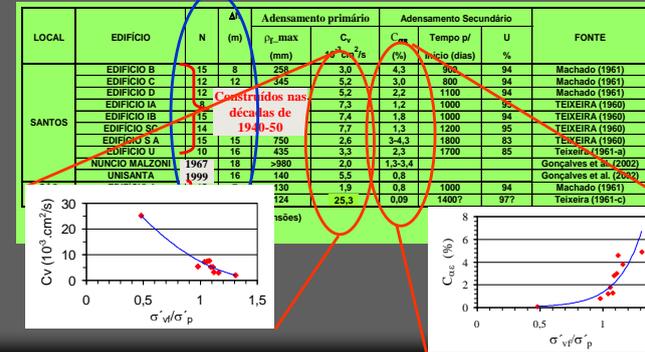
década de 40-50

FUNDAÇÕES RASAS: EDIFÍCIOS EM SANTOS E SÃO VICENTE



EDIFÍCIOS DE SANTOS E SÃO VICENTE RESULTADOS DAS ANÁLISES

N: nº. de andares Δh: espessura da argila mole



SANTOS: RECALQUES PRIMÁRIOS INESPERADOS

EDIFÍCIO	N	Δh (m)	RECALQUES PRIMÁRIOS		FONTE
			900 Dias	MÁXIMOS	
			mm	mm	
UNISANTA	7 (10)	16	110	140 (?)	Gonçalves et al. (2002)
EDIFÍCIO IA	8	13,5	113	121	Teixeira (1960)
EDIFÍCIO U	10	16	253	435	Teixeira (1960)
3 EDIF MACUCO	12	9	60	-	Reis (2000)
EDIFÍCIO C	12	12	315	345	Machado (1961)
EDIFÍCIO D	12	12	274	315	Machado (1961)

RECALQUES DESIGUAIS

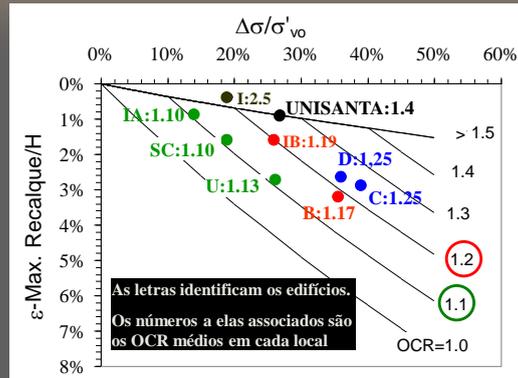
Duna de h= 5m

Equivale a pressão de ~100kPa (10 t/m²)

Ou Peso de Edifício de ~9 andares

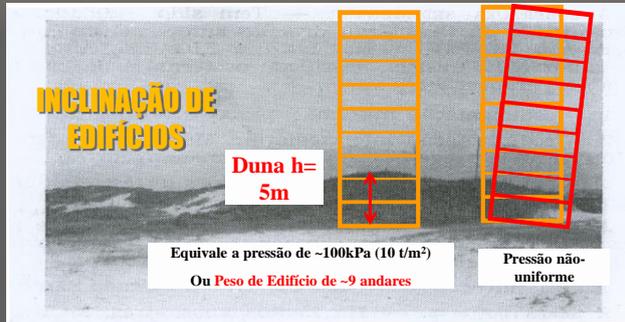
FUNDAÇÕES RASAS: EDIFÍCIOS EM SANTOS E SÃO VICENTE

Os recalques primários dependem do OCR e do nível das tensões aplicadas.



Colunas mais recalçadas, máximas cargas aplicadas

CIDADE DE SANTOS : EXPLICAÇÃO PARA UMA DAS ANOMALIAS



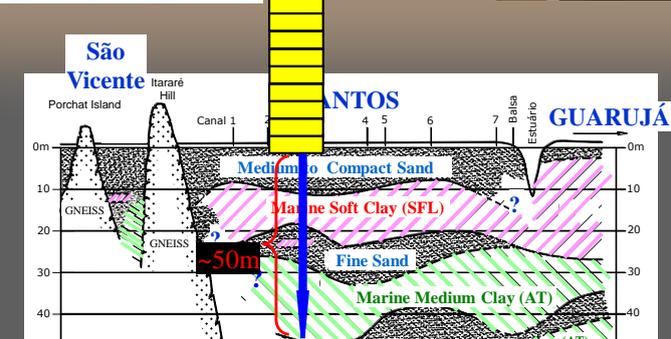
CIDADE DE SANTOS

SOBRE O USO DE ESTACAS LONGAS EM SANTOS

BREVE HISTÓRICO

- Golombek (1965): É antigo o uso de **estacas flutuantes na Baixada Santista**
- Teixeira (1988): por vezes é a solução para as fundações de tanques e armazéns graneleiros.
- Alonso e Aoki (1988): mencionam edifícios apoiados em **estacas flutuantes na cidade de Santos**.
Estacas pré-moldadas de concreto, cravadas até o topo das ATs perfuração da camada de areia superficial, compacta, com jato d'água
- Décourt (1996): sugeriu a adoção de “**estacas T**” como solução intermediária entre os extremos de fundações rasas, tecnicamente problemáticas, e as estacas cravadas até o solo residual, eficientes, mas dispendiosas.
- Falconi e Perez (2007, 2008a e 2008b): **estacas metálicas longas**, com secção decrescente com a profundidade, conceito usado anteriormente em Pernambuco, conforme Rocha et al. (2006) e Gusmão et al. (2006).

ESTACAS LONGAS EM SANTOS



- ✓ O uso de estacas metálicas longas, constituídas por perfis H) como fundação de edifícios altos é recente (Falconi e Perez, 2008)
- ✓ A pequena seção transversal e a elevada resistência facilita a penetração na areia compacta.
- ✓ São soldados 4 segmentos com seção transversal decrescente dando a cada estaca uma “slight step-tapered form”, reduzindo custos.
- ✓ O conceito já havia sido usado anteriormente em Pernambuco (Gusmão et al., 2006).

COMPORTAMENTO DE ESTACAS LONGAS DE AÇO EM SANTOS



Falconi, F.F. e Perez W. (2008)

Edifício	N	h_c (m)	S_{max}/S_{min} (cm ²)	Carga de Trab. (kN)	Nega (mm)	Repique (mm)
6	17	49,0	124/100	2050	69	18
7	20	47,5	136/100	2310	50	18
8	to	51,0	136/100	2320	35	15
9	24	51,0	109/102	1650	45	20

N: número de andares h_c : comprimento cravado S: área da seção transversal

Instrumentadas

ESTACAS LONGAS DE AÇO - SANTOS

INSTRUMENTAÇÃO (BUREAU DE PROJETOS)



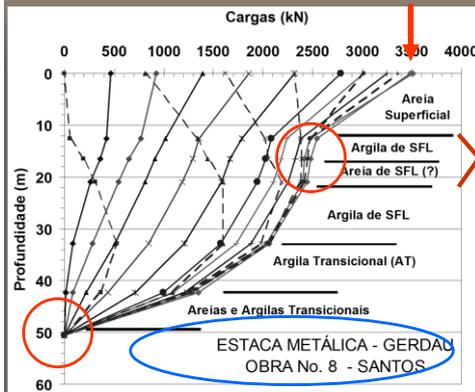
Vista das chapas de proteção dos strain gauges e cabos-obra nº 8



Caixa seletora e painel digital para leitura dos strain gauges-obra nº 8.

De Falconi, F.F. e Perez W. (2008)

COMPORTAMENTO DE ESTACAS LONGAS DE AÇO EM SANTOS



As medidas de deformações em várias profundidades revelaram:

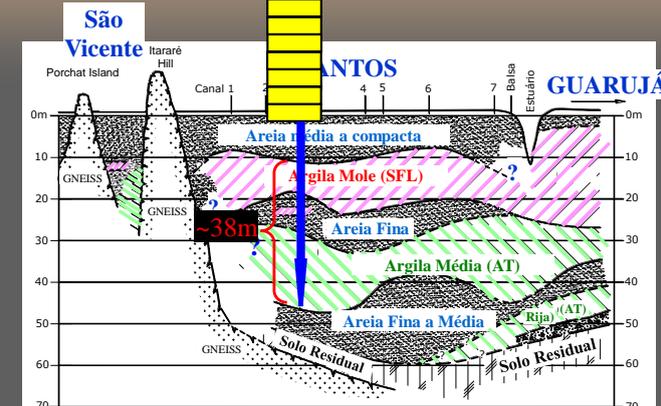
12 a 22m de profundidade

- Comportamento de Estacas flutuantes; e
- Atrito lateral total=3.510kN

Uma redução drástica no atrito lateral entre 12 e 22m de profundidade.

ESTACA METÁLICA - GERDAL
OBRA No. 8 - SANTOS

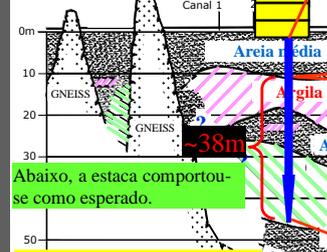
ESTACAS LONGAS EM SANTOS



SECÇÃO GEOLÓGICA_ORLA PRAIANA (Adaptado de Teixeira, 1994)

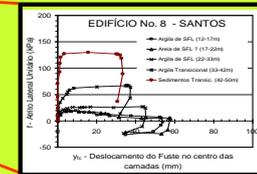
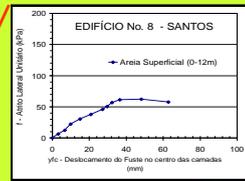
ESTACAS LONGAS EM SANTOS

Na camada superficial de areia a estaca se comportou como se houvesse um bulbo ou um alargamento de seção.



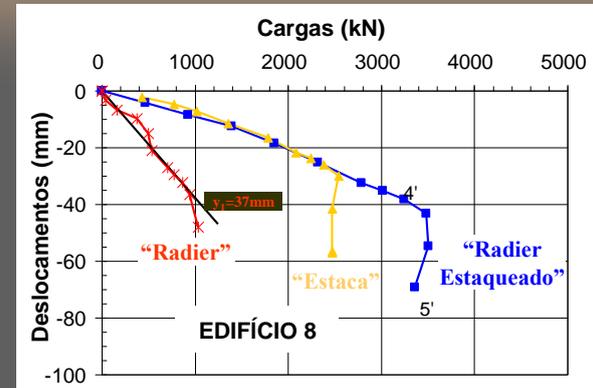
Abaixo, a estaca comportou-se como esperado.

Em outras palavras, a estaca comportou-se como uma Estaca T (ou radier estaqueado).

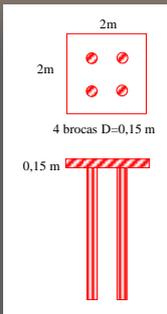


SECÇÃO GEOLÓGICA-ORLA PRAIANA (Adaptado de Teixeira, 1994)

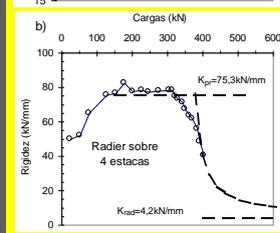
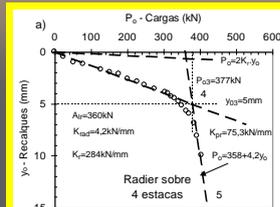
COMPORTAMENTO DE ESTACAS LONGAS DE AÇO EM SANTOS



SAPATA COM 4 ESTACAS TIPO BROCA - BRASÍLIA



Dados de Bezerra e Cunha (2002)



Interpretação pelo Método das Duas Retas (Massad, 2010)

CONCLUSÕES

I) GERAIS

- Há várias evidências geotécnicas sobre a AÇÃO DE DUNAS na planície de Santos
- Tal fato passou INSUSPEITO DURANTE O SÉCULO PASSADO e é consistente com a origem geológica do Lagamar de Santos.
- Os RECALQUES PRIMÁRIOS E SECUNDÁRIOS dependem do nível das tensões e da RSA (OCR) → H. Geológica
- A VELOCIDADE dos recalques secundários depende destes fatores e é melhor entendida com base no velho coeficiente de adensamento secundário.

CONCLUSÕES

II) FUNDAÇÕES RASAS

- a) O sobreadensamento errático das ARGILAS MOLES (SFL) de Santos, causado pelas oscilações negativas do NM e pela ação de dunas, explicam a DISPERSÃO NOS RECALQUES E EM SUAS VELOCIDADE, tanto primários quanto secundários.
- b) Para o EDIFÍCIO I EM SÃO VICENTE, apoiado em ~30 m de ARGILA RIJA, PLEISTOCÊNICA, o adensamento primário predominou; encontrou-se um valor tão baixo quanto 0,09% para C_{ag} .
- c) As PRESSÕES NÃO-UNIFORMES EXERCIDAS PELAS DUNAS podem explicar a INCLINAÇÃO DE EDIFÍCIOS ISOLADOS, i.e., sem a influência de prédios vizinhos.

CONCLUSÕES

III) ESTACAS LONGAS

- a) Em estacas de aço longas em Santos O ATRITO LATERAL UNITÁRIO MÁXIMO foi atingido após ALGUNS mm de deslocamento do fuste, EXCETO NA CAMADA DE AREIA SUPERFICIAL, que requereu DEZENAS DE mm.
- b) Esta constatação sugeriu um comportamento típico de ponta ou UM ALARGAMENTO (BULBO) NA CAMADA DE AREIA SUPERFICIAL.
- c) Este efeito tipo “RADIÉR ESTAQUEADO” provocou uma REDUÇÃO NO ATRITO LATERAL da camada de argila mole (SFL), situada logo abaixo da camada superficial de areia.

FIM