



COPA 2014 – VIBRAÇÕES EM ESTÁDIOS: COMPORTAMENTO DINÂMICO DE ESTRUTURAS DE ARQUIBANCADAS E SUA ADEQUAÇÃO ÀS REGRAS DA FIFA

Marco Juliani

Eng. Civil – EESC-USP 1976

Mestre – EESC-USP 1985

Doutor – EP-USP 1991

- ATÉ APROXIMADAMENTE 1990, AS ESTRUTURAS DE ARQUIBANCADAS ERAM CALCULADAS SOMENTE COM SOBRECARGAS ESTÁTICAS, CONSIDERANDO 5 kN/m², COMPATÍVEIS COM O COMPORTAMENTO DO PÚBLICO.

- APÓS ESSA DATA, A MUDANÇA DO COMPORTAMENTO DO PÚBLICO DE JOGOS DE FUTEBOL, ATRAVÉS DA AÇÃO DE TORCIDAS ORGANIZADAS, E A UTILIZAÇÃO DOS ESTÁDIOS EM EVENTOS MUSICAIS POPULARES LEVARAM À CONSIDERAÇÃO DOS EFEITOS DINÂMICOS NOS PROJETOS E À ALTERAÇÃO DAS NORMAS TÉCNICAS EM UTILIZAÇÃO.

- A PARTIR DE 1996, AS NORMAS TÉCNICAS DA INGLATERRA PASSARAM A EXIGIR A CONSIDERAÇÃO DE CARGAS DINÂMICAS NO PROJETO DE ESTRUTURAS DESTINADAS A ATIVIDADES DE DANÇA, GINÁSTICA, EVENTOS ESPORTIVOS E MUSICAIS.

São Paulo, 3 de novembro de 1995 **A GAZETA ESPORTIVA - 7**

GENTE BOA DE BOLA

DALMO PESSOA



O Parque Antártica não caiu porque Deus não quis

“Deus é brasileiro”, dizem alguns que recebem uma graça ou se salvam de algum problema sério e grave. Claro que não é bom abusar porque o Criador, de repente, pode cansar-se da nossa incompetência. Foi por Deus que não caíram dois lances das arquibancadas do Parque Antártica naquele jogo do Palmeiras com o Mogi Mirim no dia 22 de julho deste ano.

E por que quase aconteceu uma tragédia no Parque Verde? Por várias razões:

1 - Na administração Sacomani surgiu um problema na estrutura do Parque Antártica. Certa vez, com a realização de um show da Xuxa, houve outro problema de abalo de estrutura.

2 - No jogo Palmeiras x Paraná Clube, no dia 14 de agosto de 94, um lance da arquibancada apresentou um grave problema e a Polícia Militar foi obrigada a retirar a torcida Mancha Verde daquele local. Por pouco não tivemos uma tragédia a lamentar e mortos a chorar.

3 - O Palmeiras pediu a liberação daquele setor, debaixo dos refletores à esquerda do gol de entrada. Eram para ser feitos testes pelo IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, no dia 22 de julho deste ano. O Contru só deu a liberação porque o Palmeiras assinou um termo de responsabilidade.

4 - Os testes foram feitos naquele dia e na hora de um dos gols do Palmeiras, o setor lotado por mulheres, idosos e crianças, houve uma

vibração incomum e um recalque das estruturas que por pouco não levaram as arquibancadas a ruir. Não se sabe de quanto foi o recalque. Oficialmente, alguns informantes admitem que esteve perto de 16 centímetros.

5 - Até hoje o problema preocupa quem entende que segurança do torcedor é prioridade número um. Infelizmente, os nossos estádios ficaram comprometidos em suas estruturas.

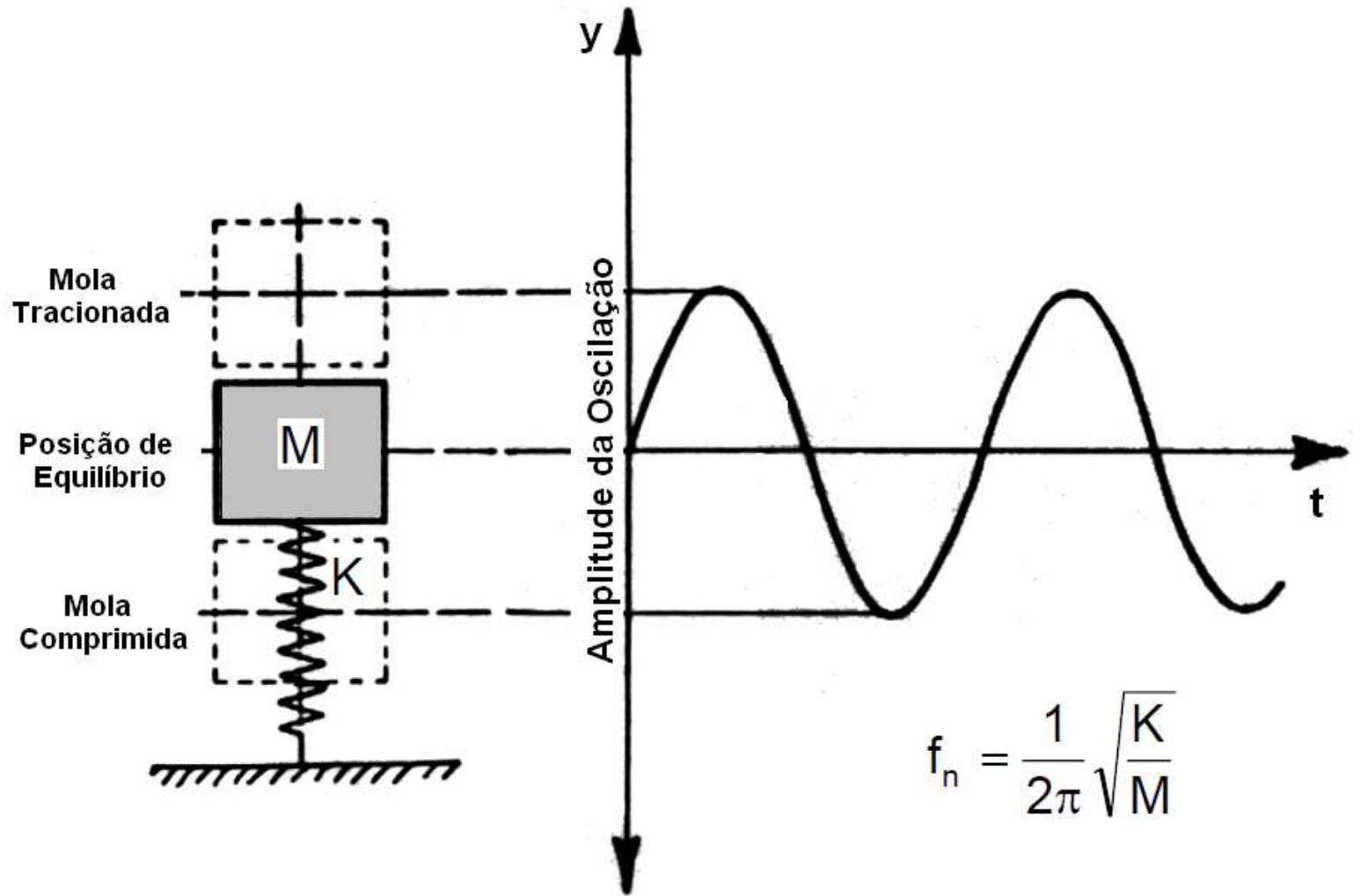
6 - Vejam o que aconteceu com o Pacaembu: houve um recalque do tobogã de 16 cm em relação à passarela. Alguns entendem que isso foi consequência do rebaixamento do lençol freático e por causa das obras do piscinão na Praça Charles Miller. Claro que não existe um dado concreto sobre as causas verdadeiras desse fato lamentável.

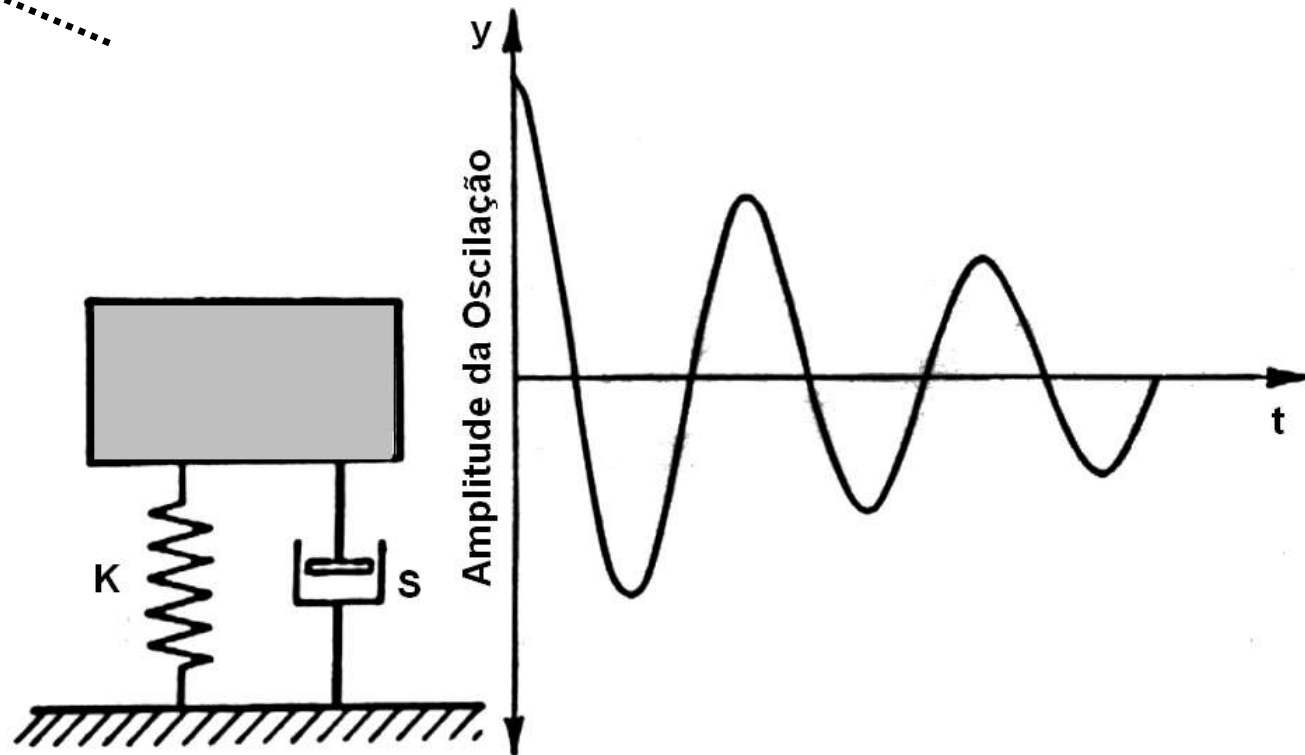
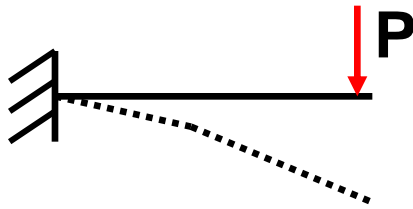
7 - O Pacaembu, na parte do tobogã, vinha recalcando dois milímetros por evento. Para se ter uma idéia da gravidade do problema, lembraríamos que a Torre de Pisa recalca, em sua estrutura, de 1,5 a dois milímetros por ano.

8 - O dr. Paolo Panzeri, diretor de Pesquisa e Desenvolvimento do Imes, responsável pelo monitoramento dos estádios Olímpico de Roma, San Ciro, de Milão, Delealpi, de Turim, da Catedral do México, da Torre de Pisa e da Hidrelétrica de Itaipu, entre outros, visitou o Pacaembu e o Parque Antártica. Não gostou. Felizmente, nenhum dos dois estádios caiu. Porque Deus é brasileiro. E não quis.

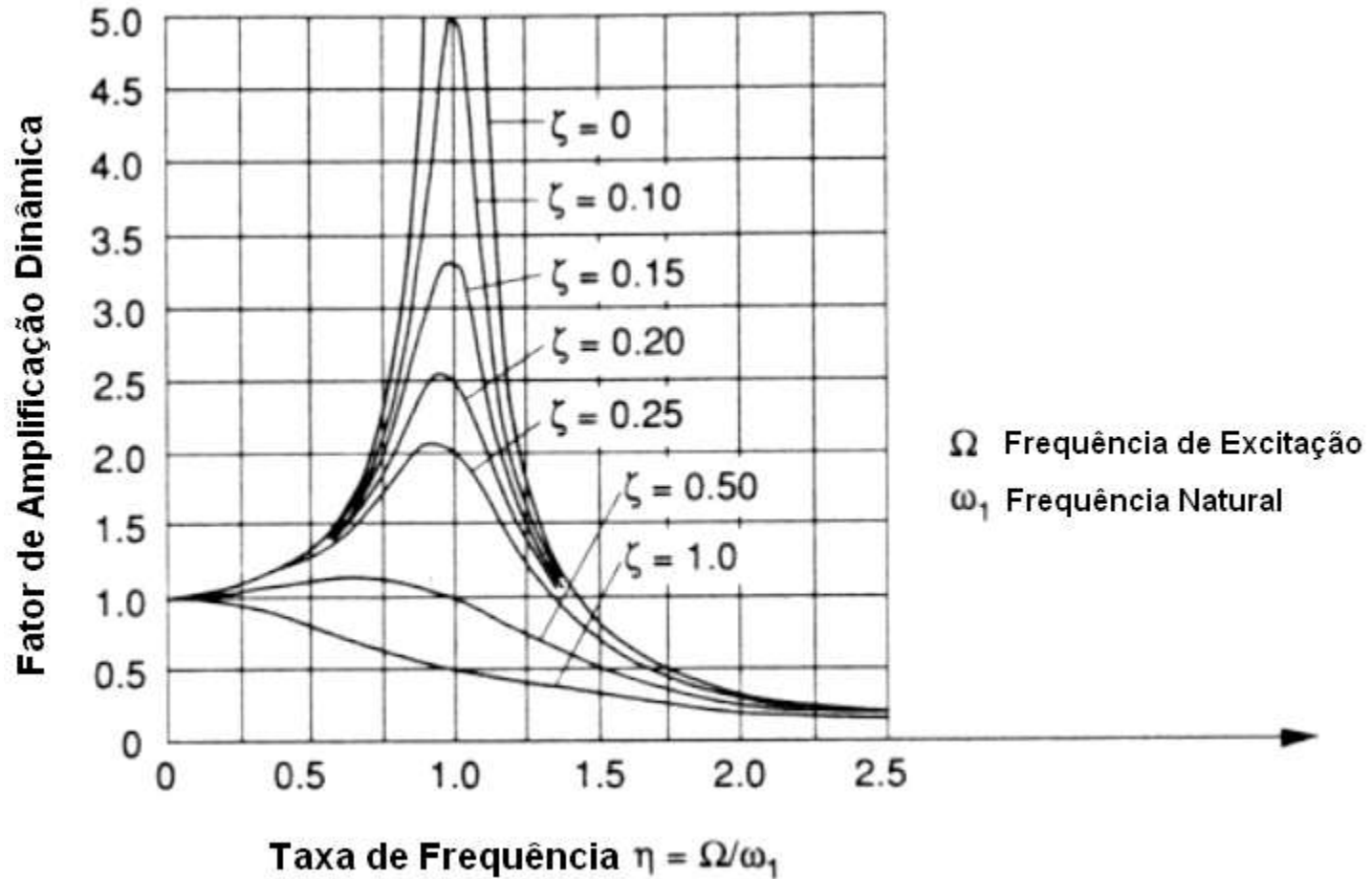
- EM 1997, A QUARTA EDIÇÃO DO “*GUIDE TO SAFETY AT SPORTS GROUNDS*”, TAMBÉM CONHECIDO POR “*GREEN GUIDE*”, PASSOU A EXIGIR QUE AS ESTUTURAS DE ARQUIBANCADAS TIVESSEM FREQUÊNCIA NATURAL VERTICAL MÍNIMA MAIOR QUE 6 Hz.

DINÂMICA DAS ESTRUTURAS





DINÂMICA DAS ESTRUTURAS



Norma BS-6399

FREQUÊNCIAS RÍTMICAS FUNDAMENTAIS:

1) Direção Vertical

Cargas individuais (dança e salto): 1,5 A 3,5 Hz

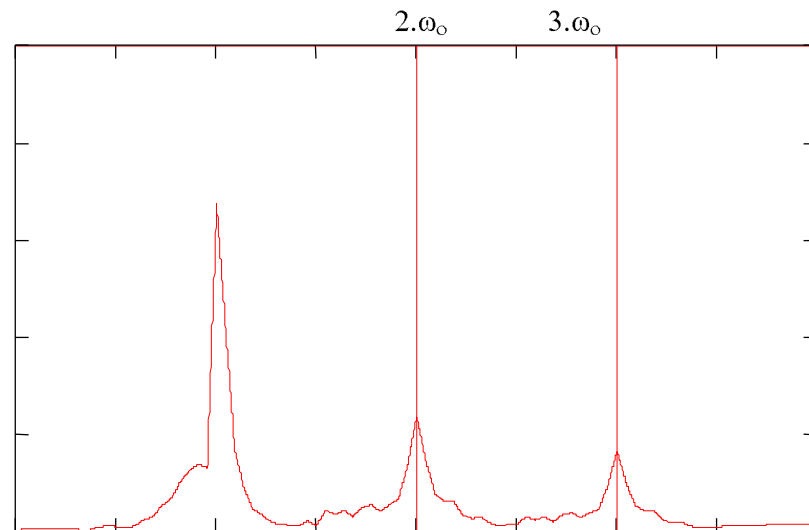
Multidões: 1,5 a 2,8 Hz

Multidões em concertos de música pop: 1,8 a 2,3 Hz

2) Direção Horizontal

Movimentos Laterais: 0,7 Hz

$$F_p = G + \sum_{i=1}^n G \alpha_i \text{sen} (2\pi f_p t - \varphi_i)$$



Espectro de carregamento induzido pelo público

TIPOS DE EVENTO:

1) SEM MÚSICA

(a1 = 0,17; a2 = 0,10; a3 = 0,04)

2) COM CANTOS, MAS SEM ACOMPANHAMENTO MUSICAL

(a1 = 0,38; a2 = 0,12; a3 = 0,02)

TIPOS DE EVENTO:

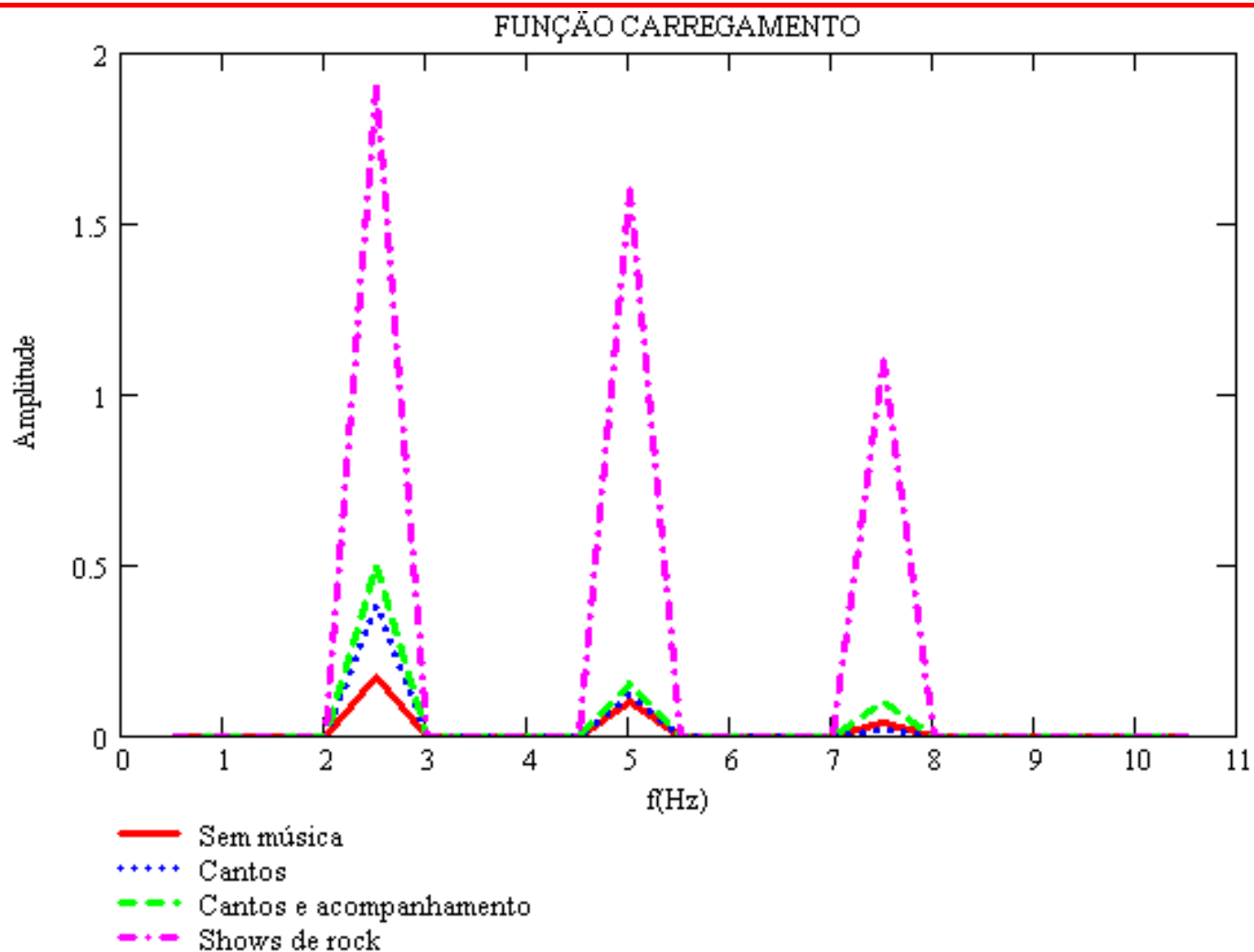
3) COM CANTOS E ACOMPANHAMENTO MUSICAL, MAS SEM MOVIMENTOS DE IMPACTO

(a1 = 0,50; a2 = 0,15; a3 = 0,10)

4) SHOWS DE ROCK E MÚSICA POPULAR, COM

MOVIMENTOS DE IMPACTO

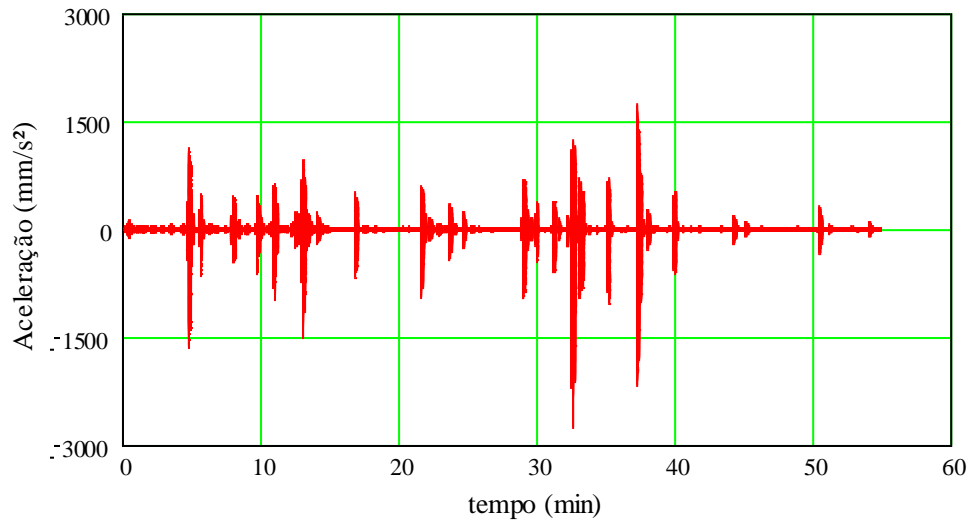
(a1 = 1,90; a2 = 1,60; a3 = 1,10)



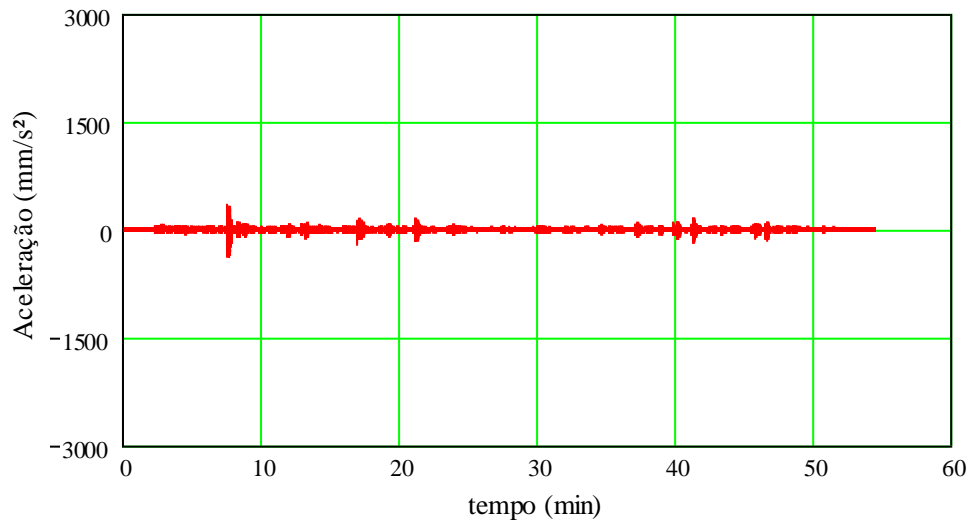
ESTÁDIO OLÍMPICO (GRÊMIO)



Telefone: (55 11) 3816-8166
www.iemebrasil.com.br



Aceleração x tempo
com torcida organizada
(Palestra Itália)



Aceleração x tempo
sem torcida organizada
(Palestra Itália)

VALORES LIMITES PARA AS VIBRAÇÕES

PRINCIPAIS NORMAS:

ISO 2631
DIN 4150

Faixas de percepção para vibrações harmônicas

Descrição	Aceleração de pico (mm/s ²)
Levemente perceptível	34
Claramente perceptível	100
Desagradável	550
Intolerável	1800

Valores combinados de diversas normas
Fonte: “Vibration problems in structures –
Practical guidelines”
H. Bachmann et al. (1995)

- PROJETOS NÃO ADEQUADOS ÀS CONDIÇÕES ATUAIS DE COMPORTAMENTO DO PÚBLICO
- FALTA DE MANUTENÇÃO

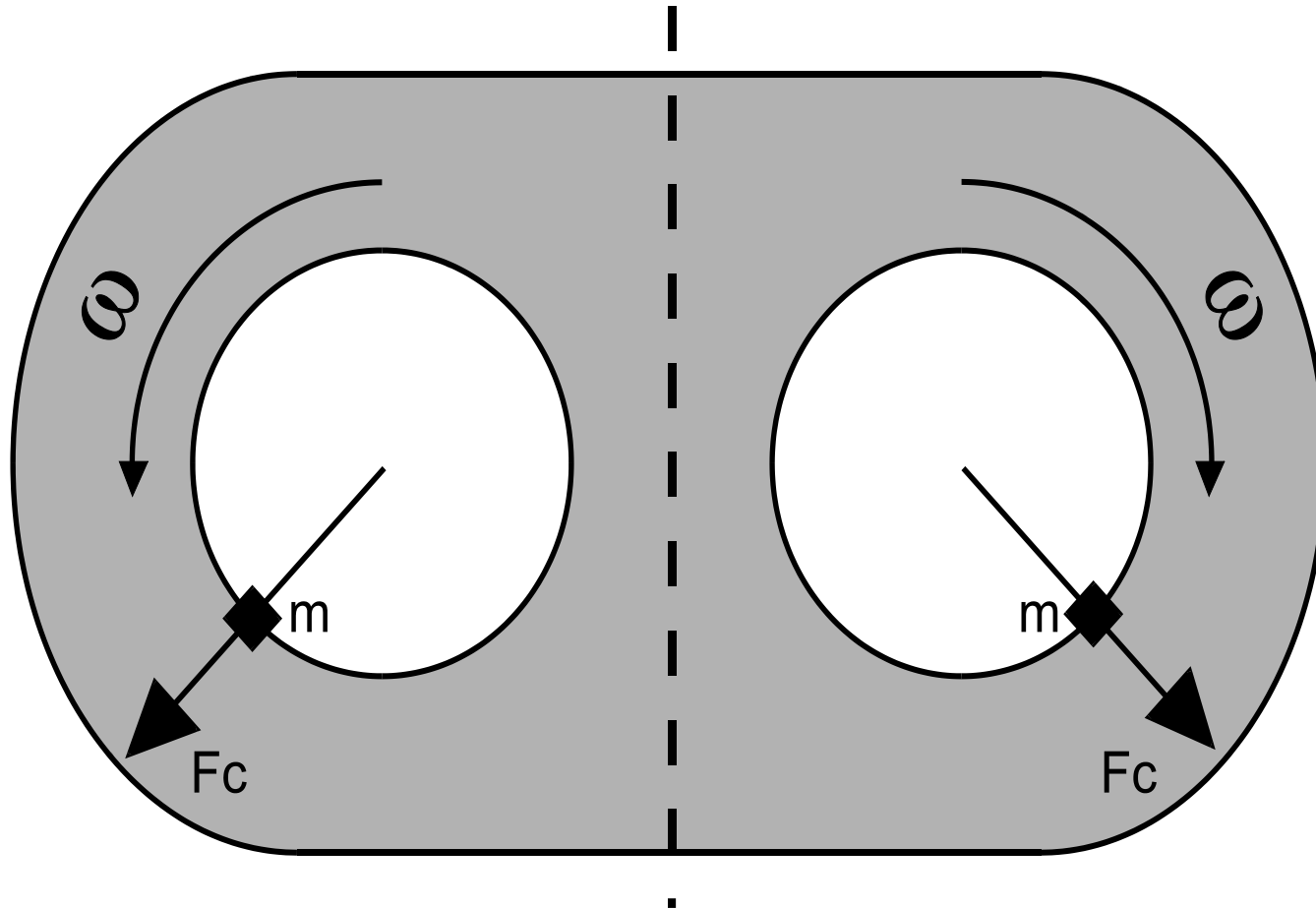
- PROVA DE CARGA DINÂMICA
- MONITORAÇÃO ESTRUTURAL EM EVENTOS
- MODELAGEM MATEMÁTICA

VIBRODINA



Telefone: (55 11) 3816-8166
www.iemebrasil.com.br

ESQUEMA VIBRODINA



ESTÁDIOS AVALIADOS

ESTÁDIO OLÍMPICO (GRÊMIO)

ESTÁDIO PALESTRA ITÁLIA

CANINDÉ

JOÃO HAVELANGE

MARACANÃ

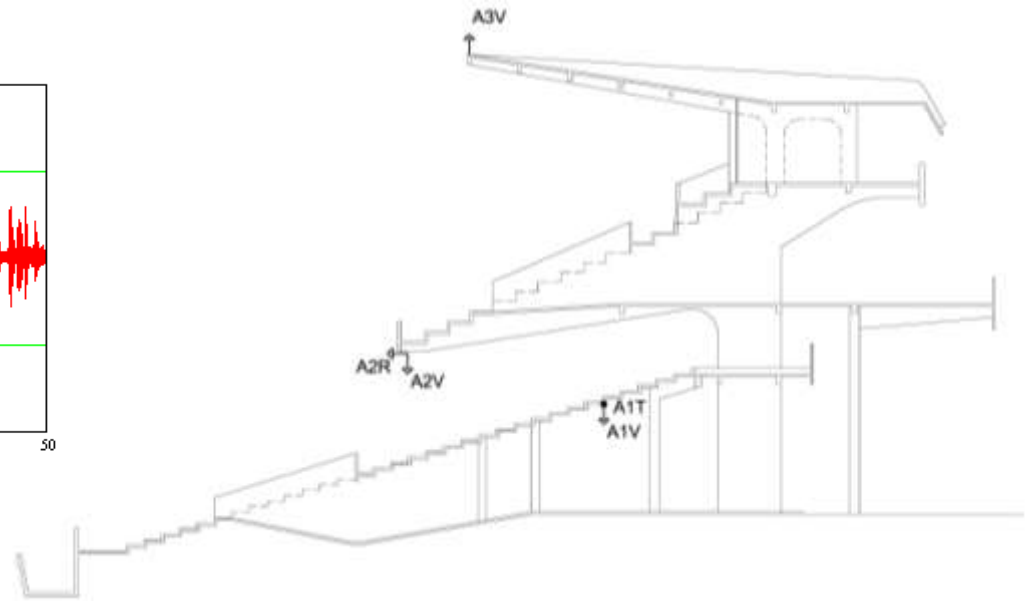
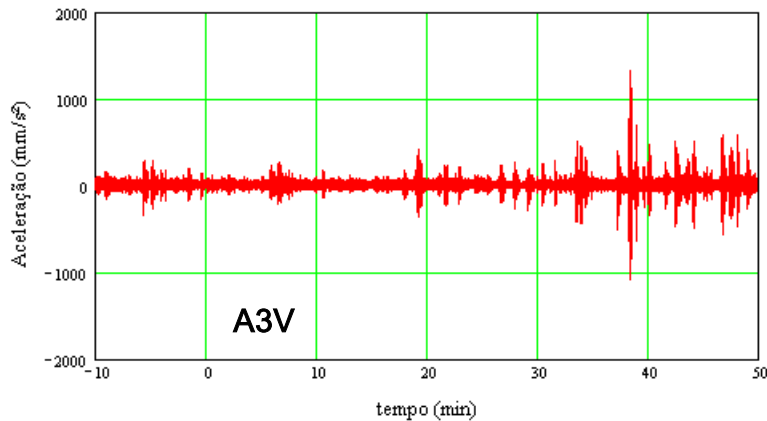
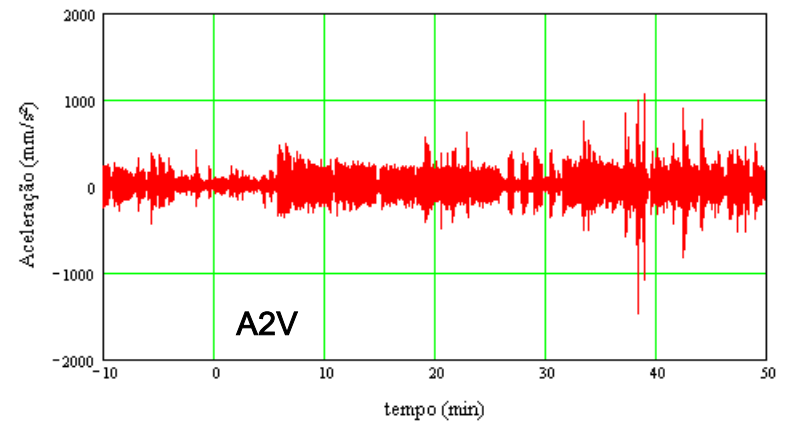
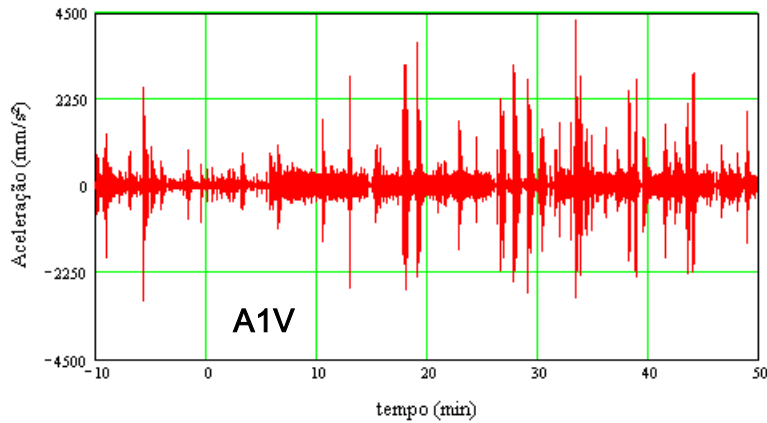
PACAEMBU

MORUMBI

ESTÁDIO OLÍMPICO (GRÊMIO)



ESTÁDIO OLÍMPICO (GRÊMIO)



FREQUÊNCIAS NATURAIS OBTIDAS:

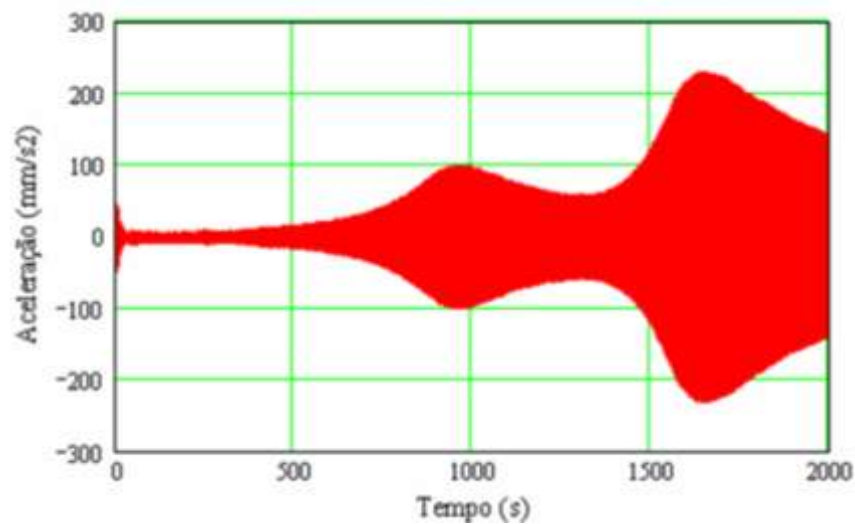
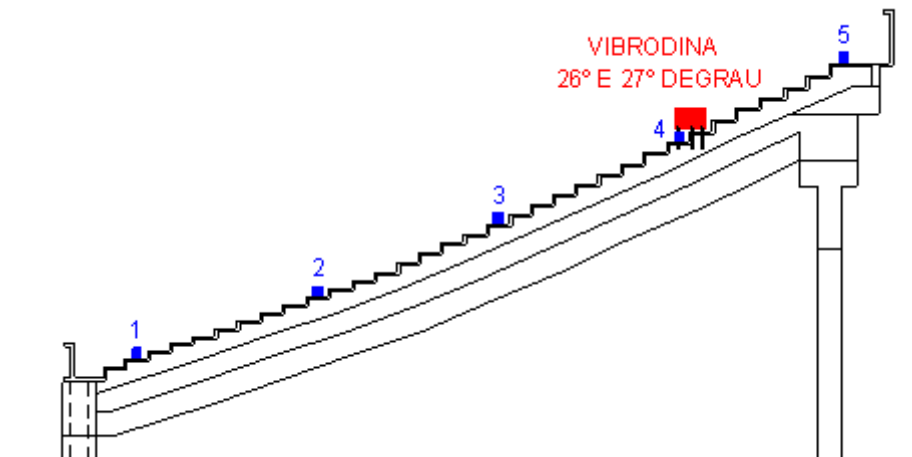
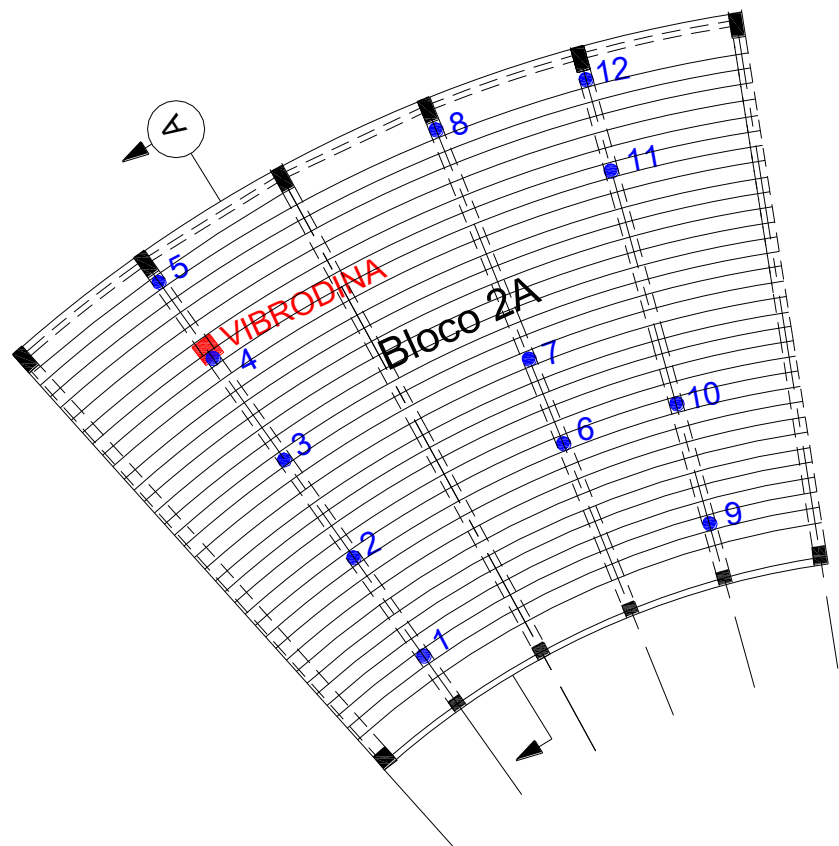
Marquise – 2,16 Hz

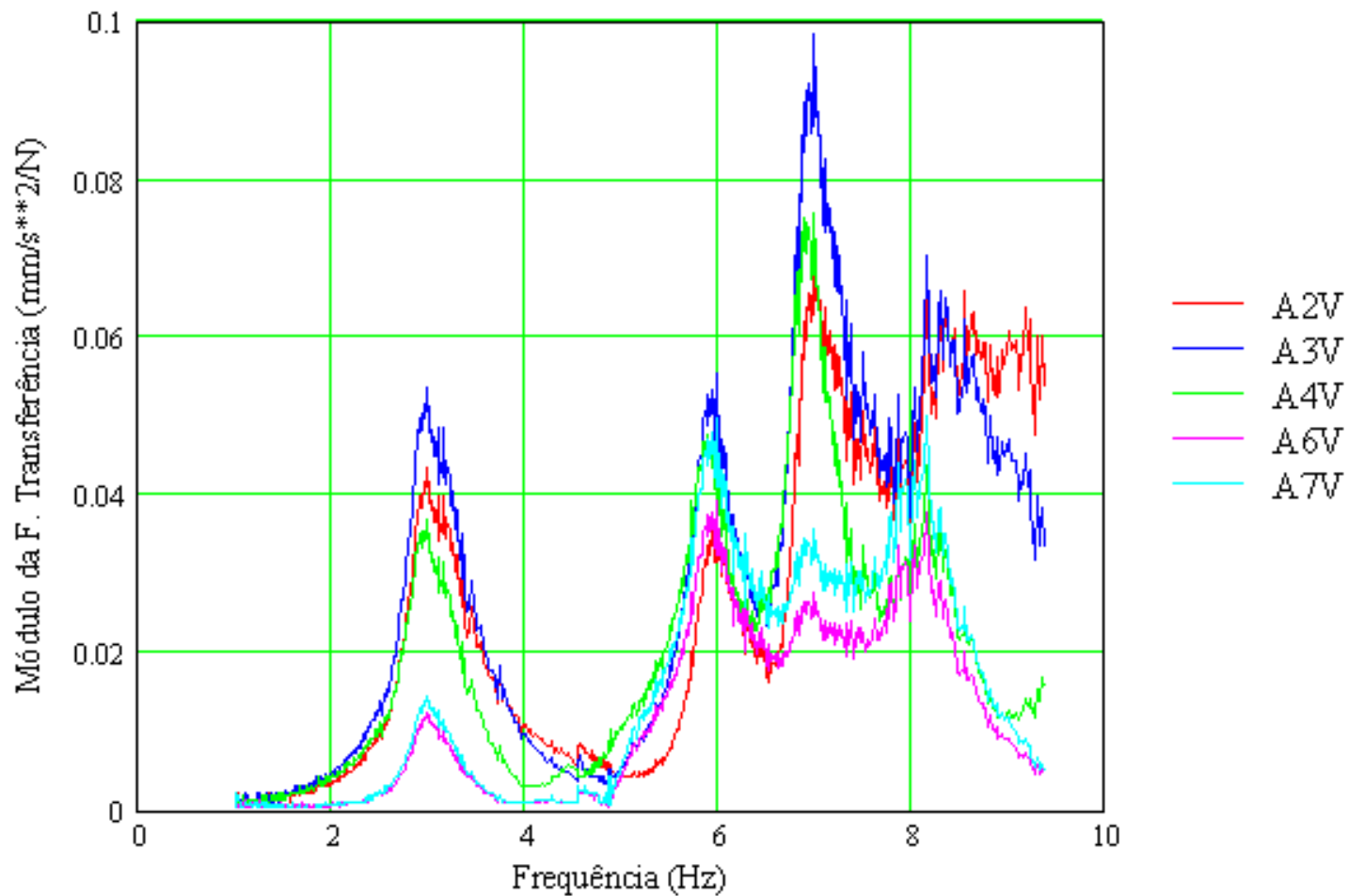
Arquibancada Superior – 2,31 Hz; 2,61 Hz; 3,96 Hz

ESTÁDIO PALESTRA ITÁLIA



ESTÁDIO PALESTRA ITÁLIA





FREQUÊNCIAS NATURAIS OBTIDAS:

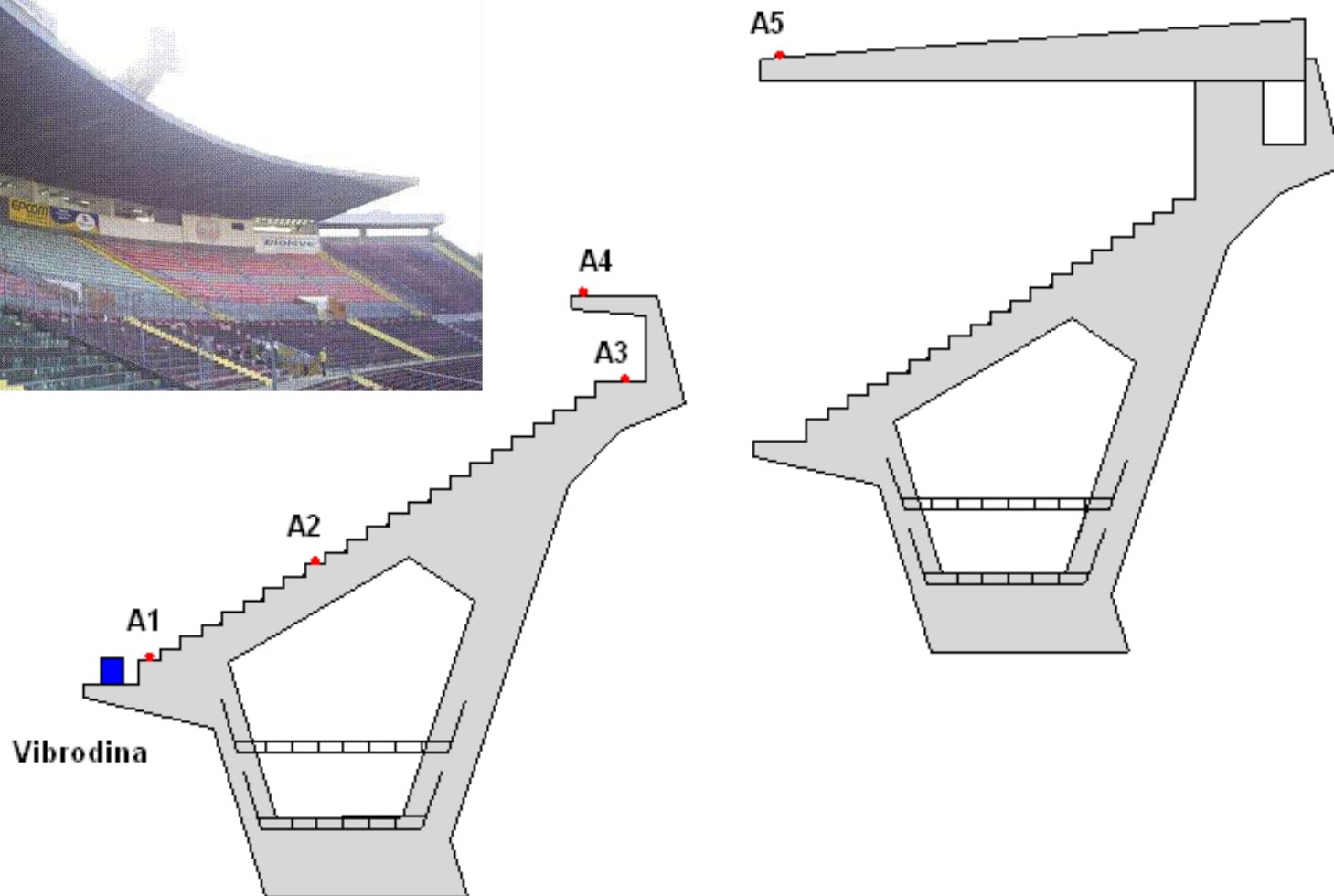
Setor 1 – 4,2 Hz; 4,68 Hz; 5,12 Hz; 6,48 Hz

Setor 3 – 2,6 Hz; 2,82 Hz; 4,3 Hz; 5,9 Hz

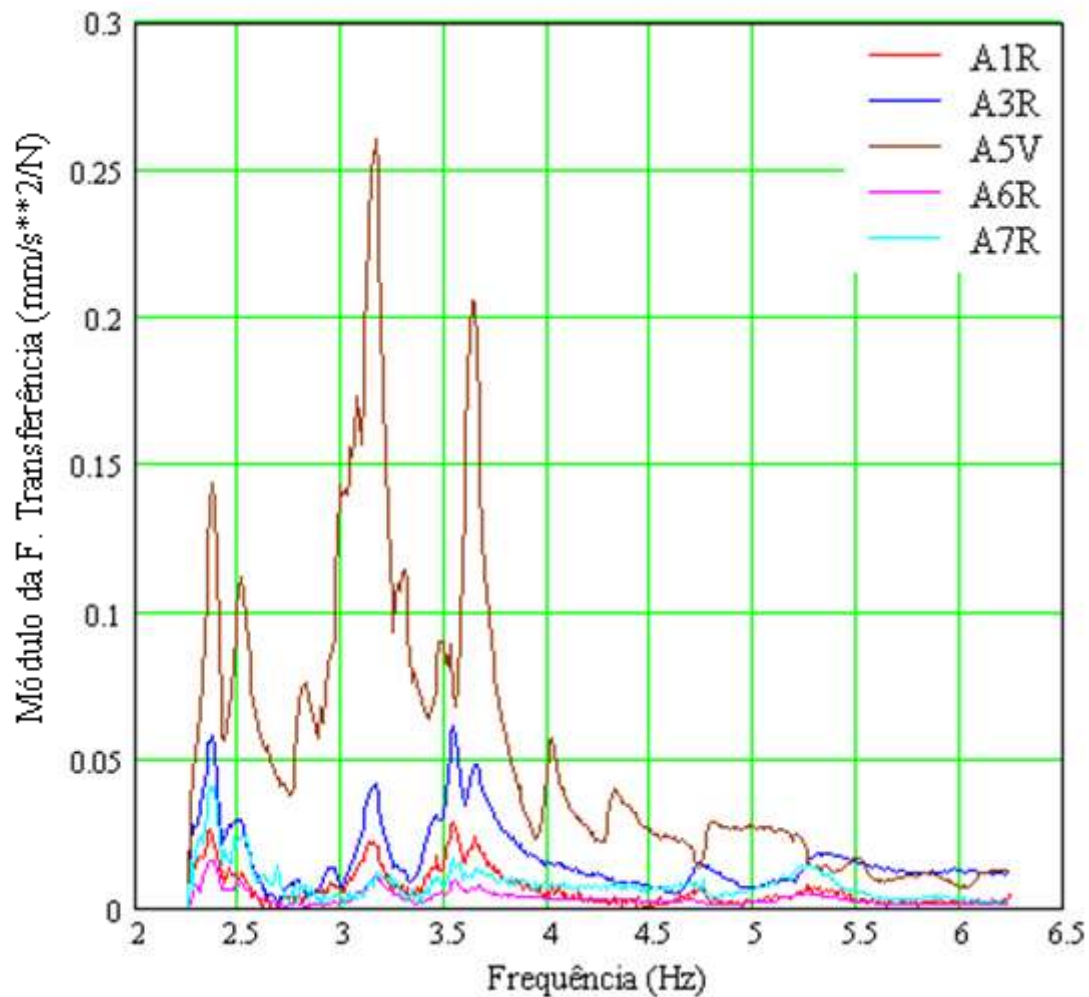
CANINDÉ



CANINDÉ



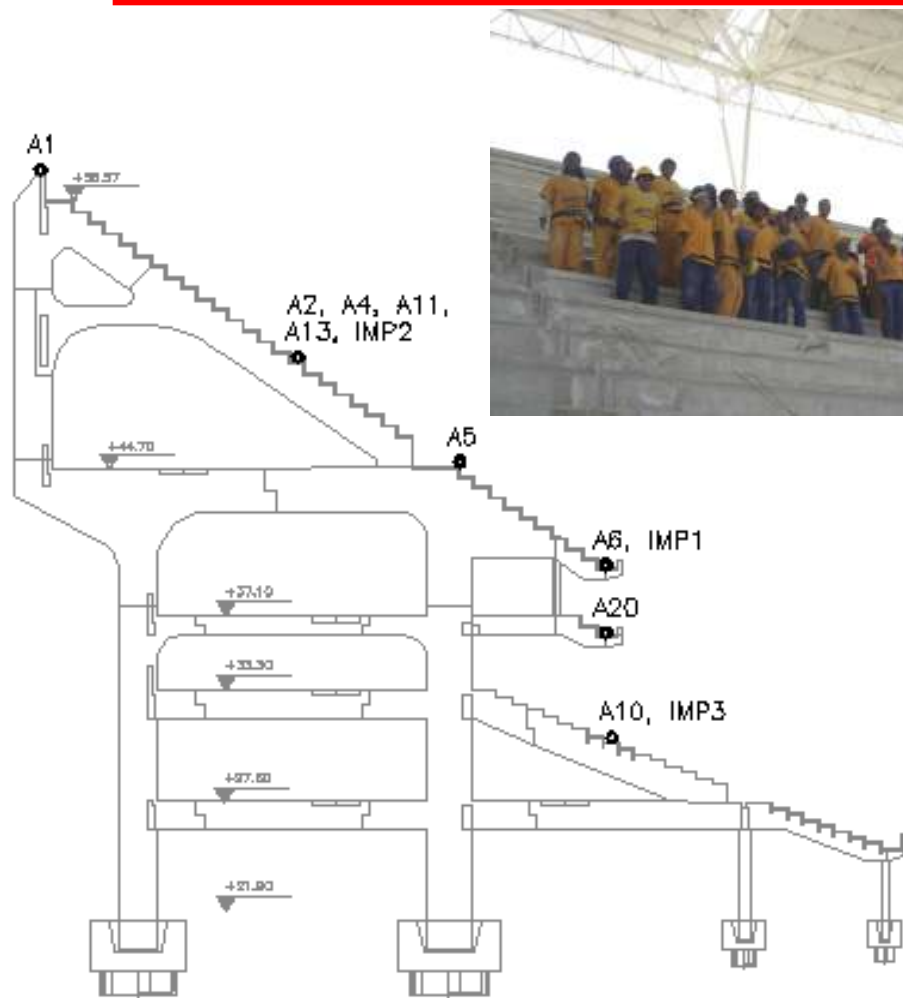
CANINDÉ



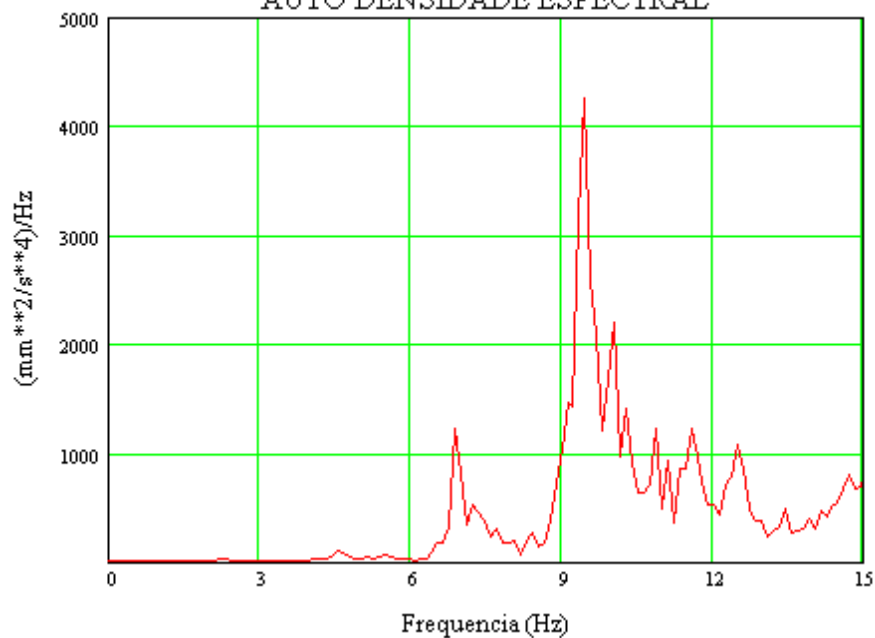
JOÃO HAVELANGE



Telefone: (55 11) 3816-8166
www.iemebrasil.com.br



AUTO DENSIDADE ESPECTRAL



FREQUÊNCIAS NATURAIS OBTIDAS:

7,3 Hz; 9,5 Hz; 10,3 Hz

MARACANÃ

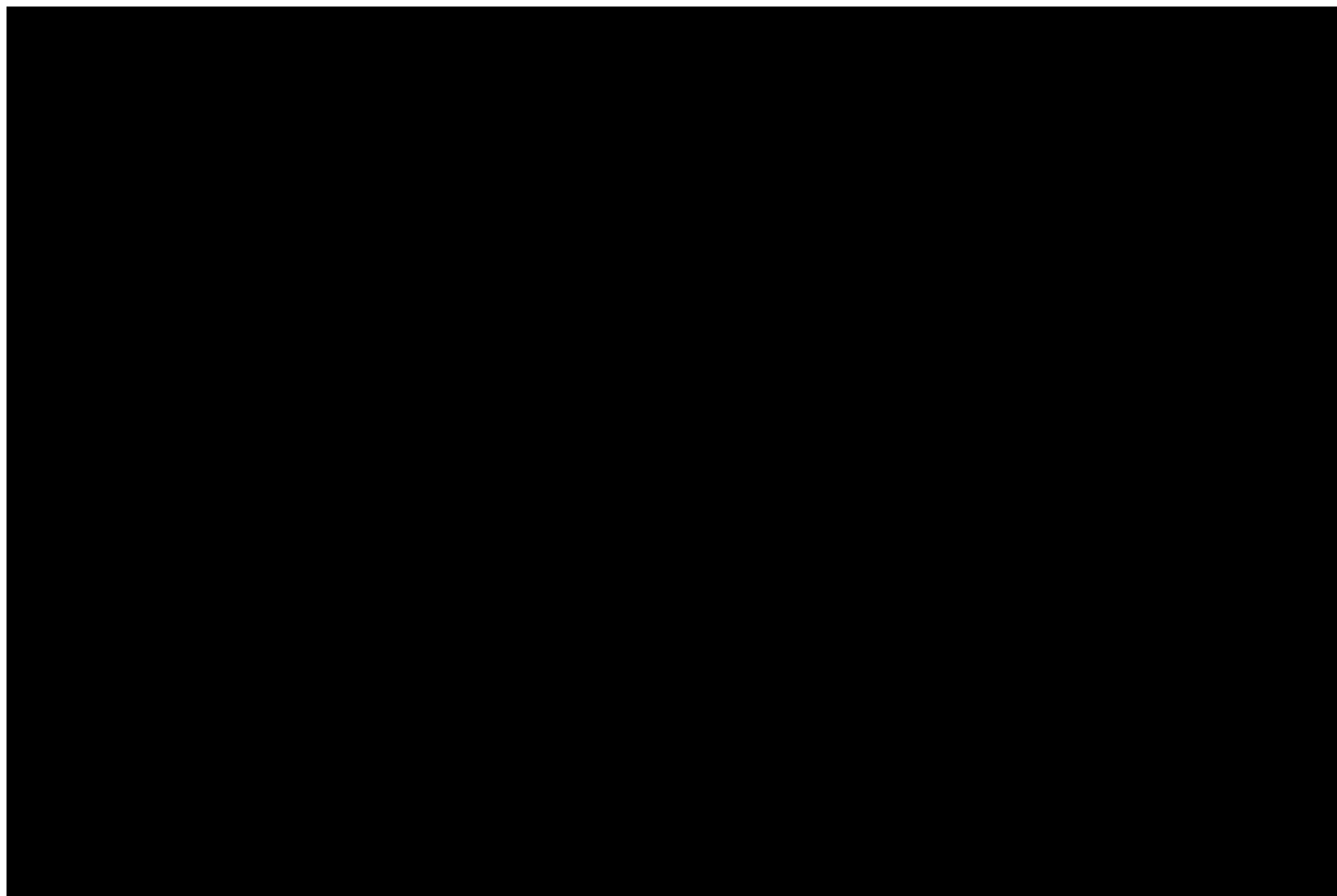


Telefone: (55 11) 3816-8166
www.iemebrasil.com.br

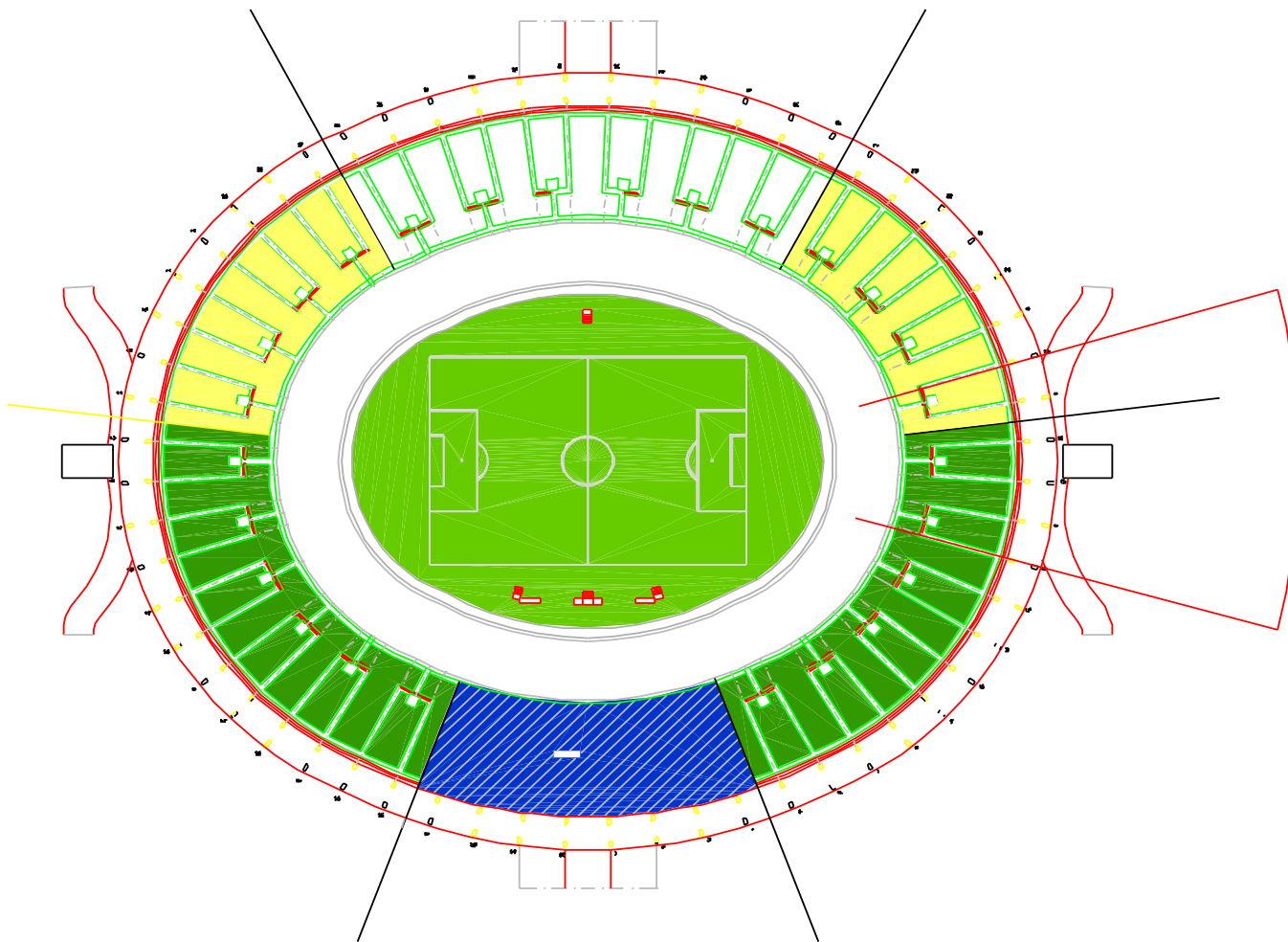
MARACANÃ



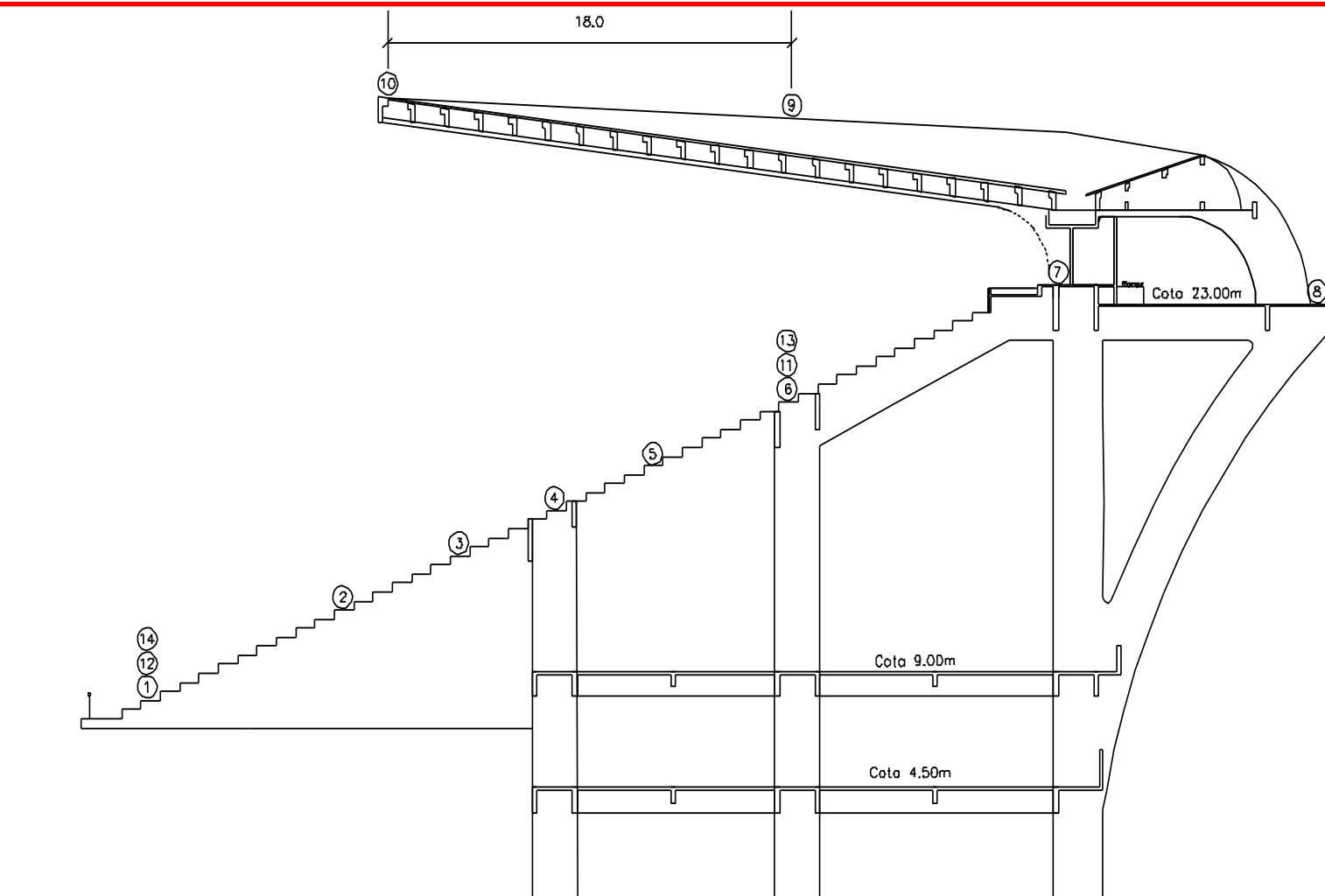
MARACANÃ



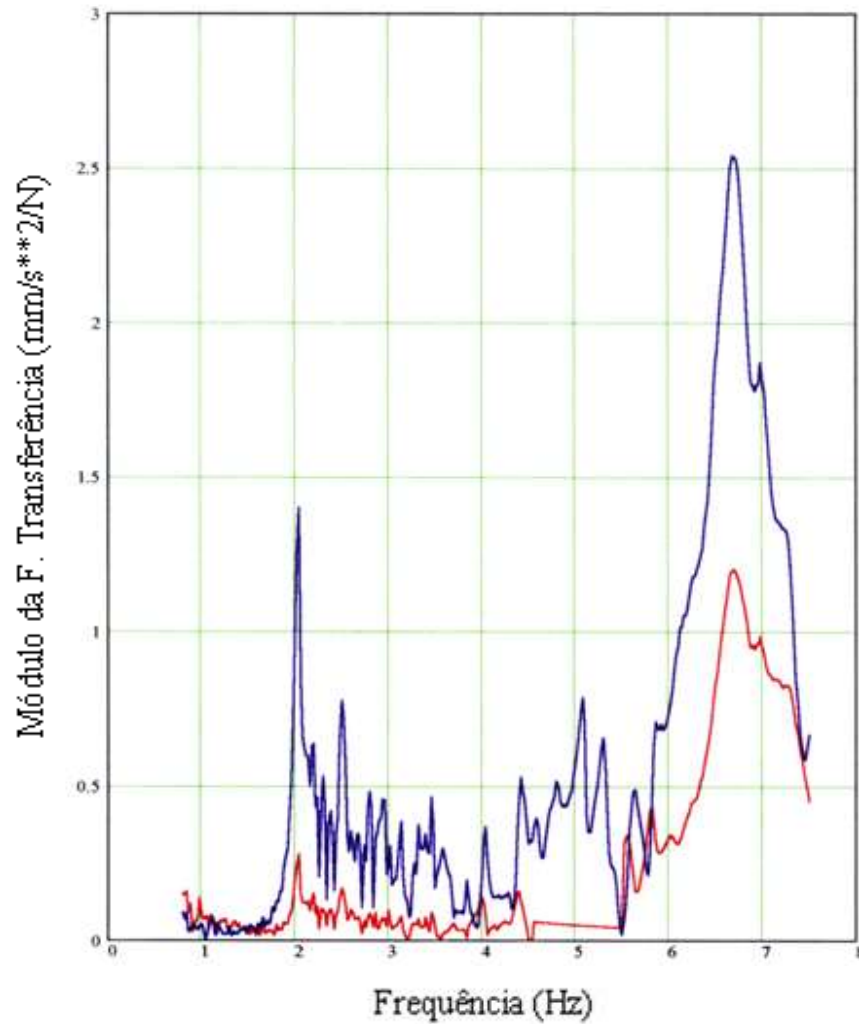
MARACANÃ



MARACANÃ



MARACANÃ



FREQUÊNCIAS NATURAIS OBTIDAS:

Marquise – 2,04 Hz

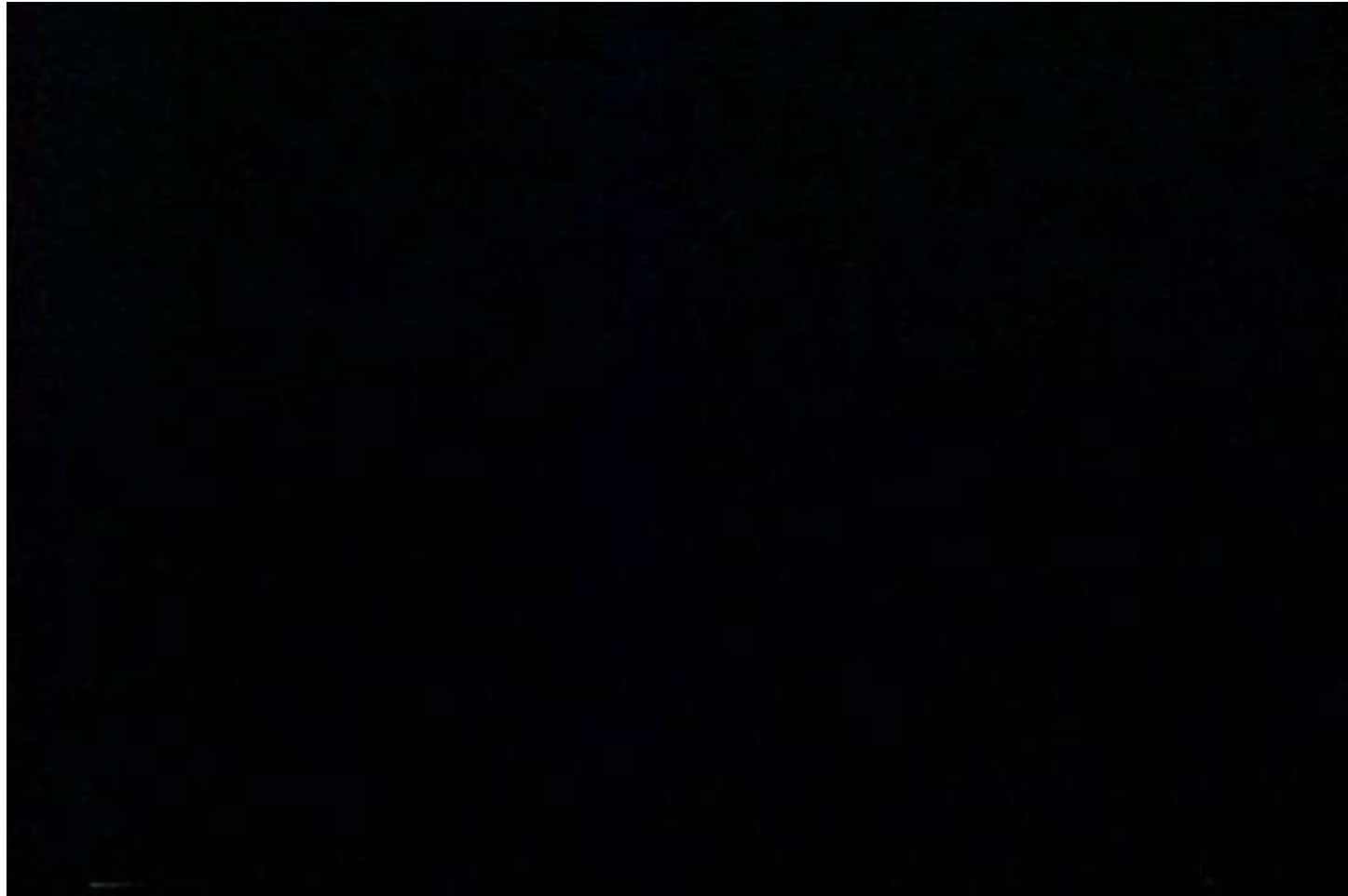
Arquibancadas – 2,84 Hz; 3,4 Hz; 3,72 Hz; 4,8 Hz

PACAEMBU - TOBOGÃ

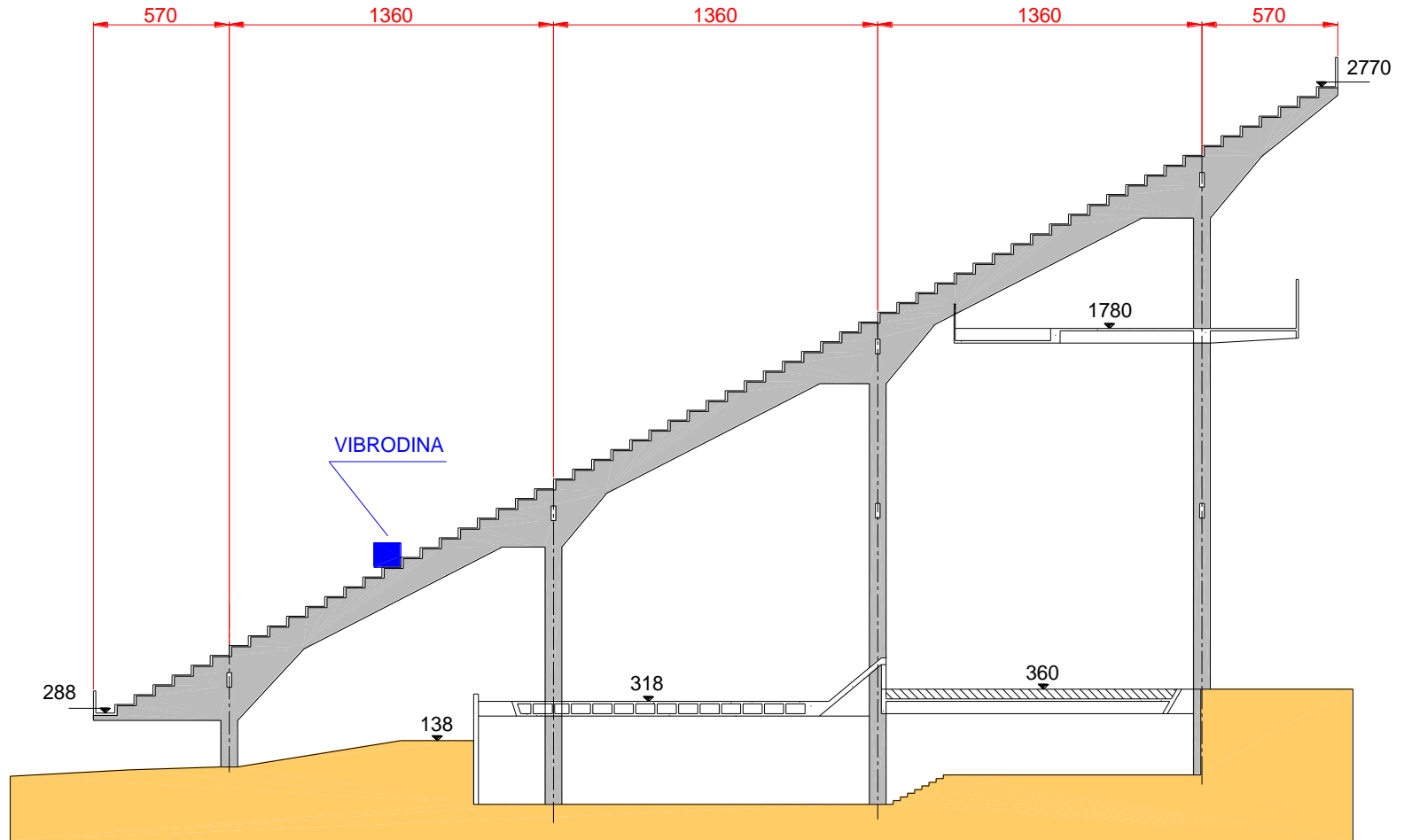


Telefone: (55 11) 3816-8166
www.iemebrasil.com.br

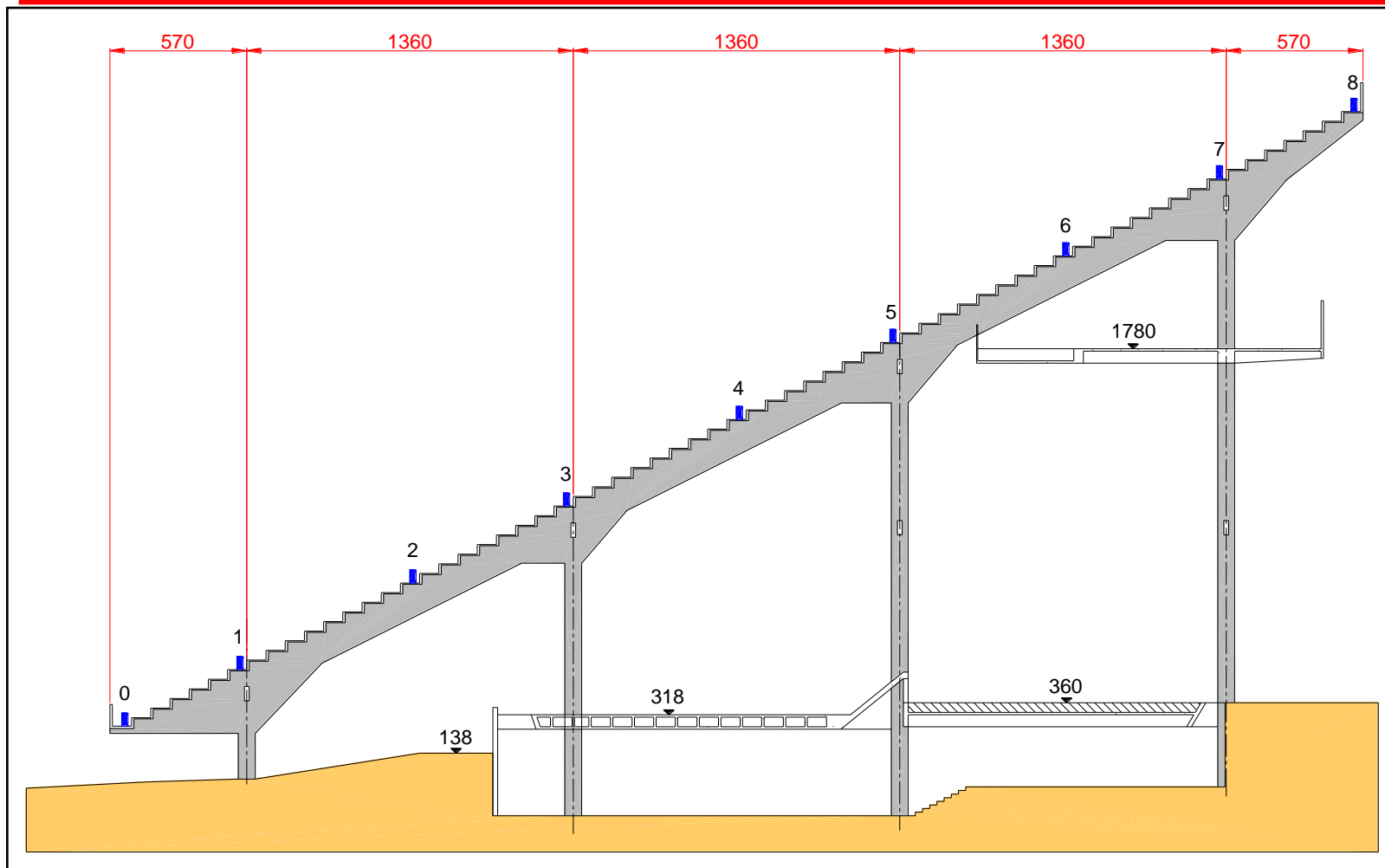
PACAEMBU - TOBOGÃ



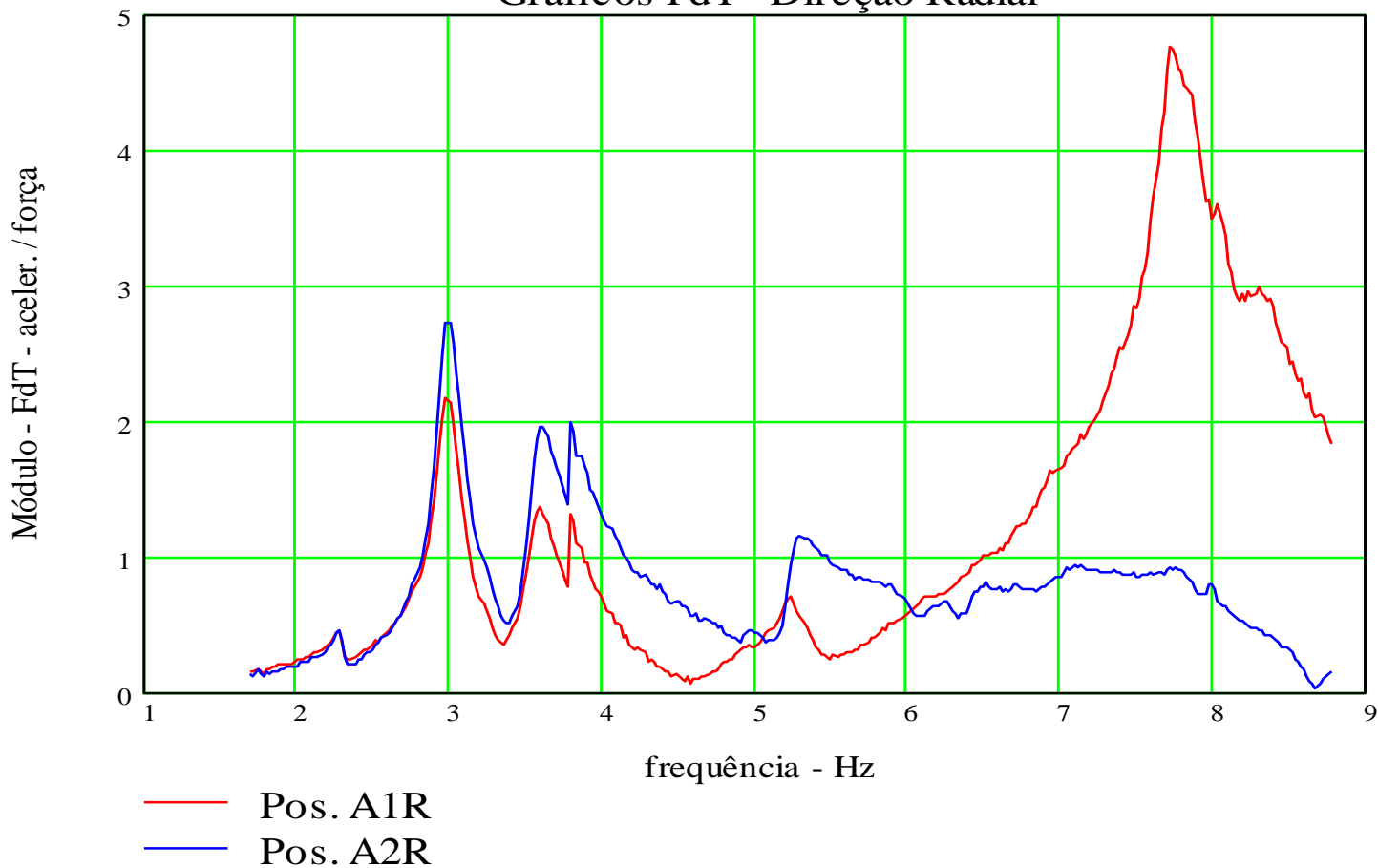
PACAEMBU - TOBOGÃ



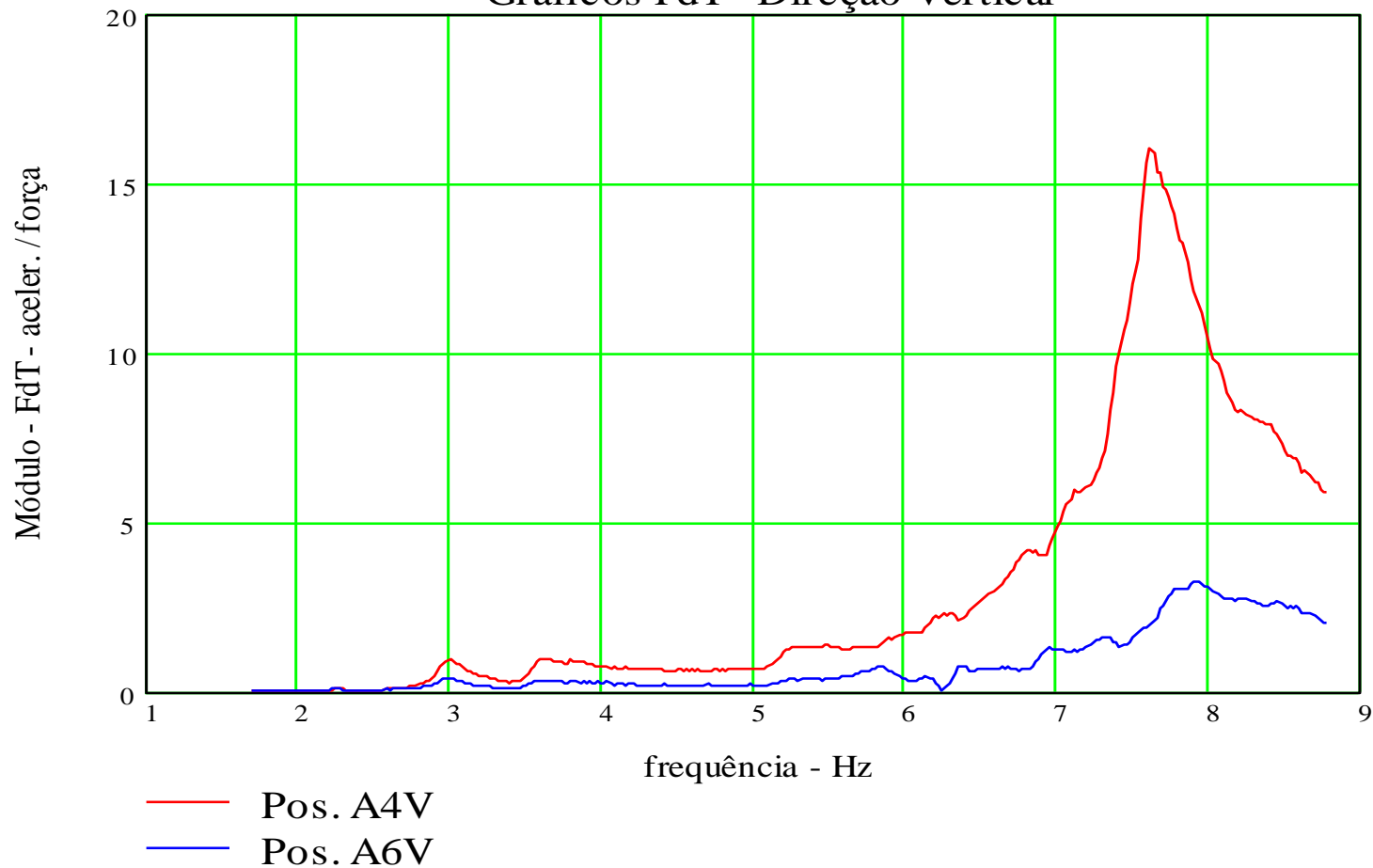
PACAEMBU - TOBOGÃ



Gráficos FdT - Direção Radial



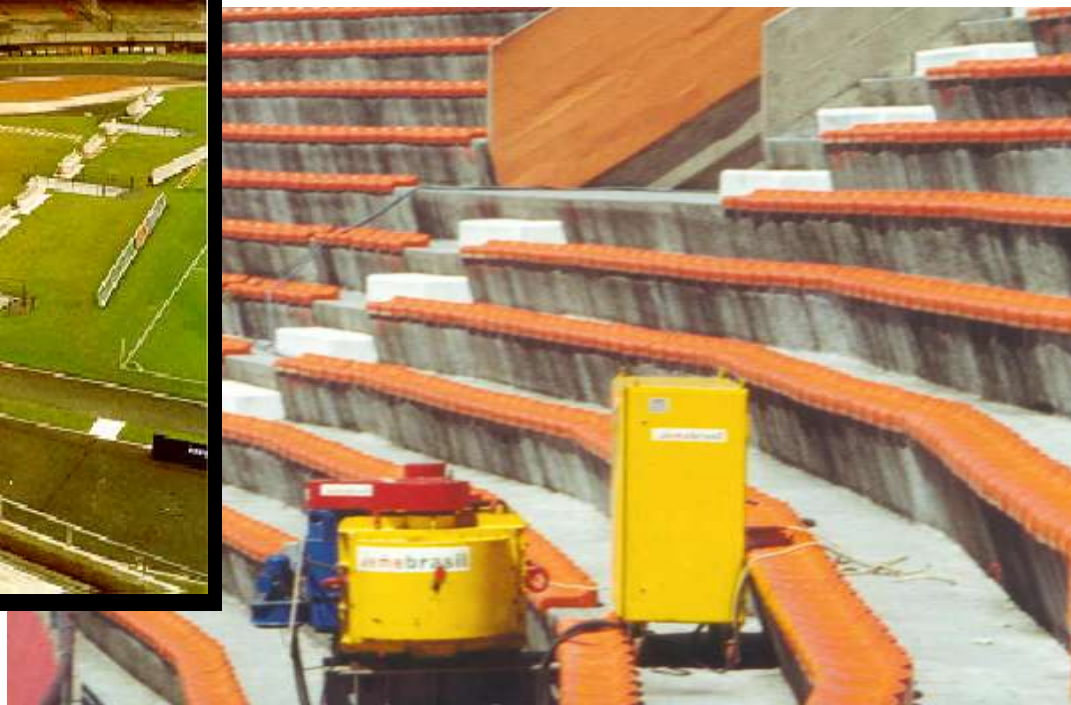
Gráficos FdT - Direção Vertical



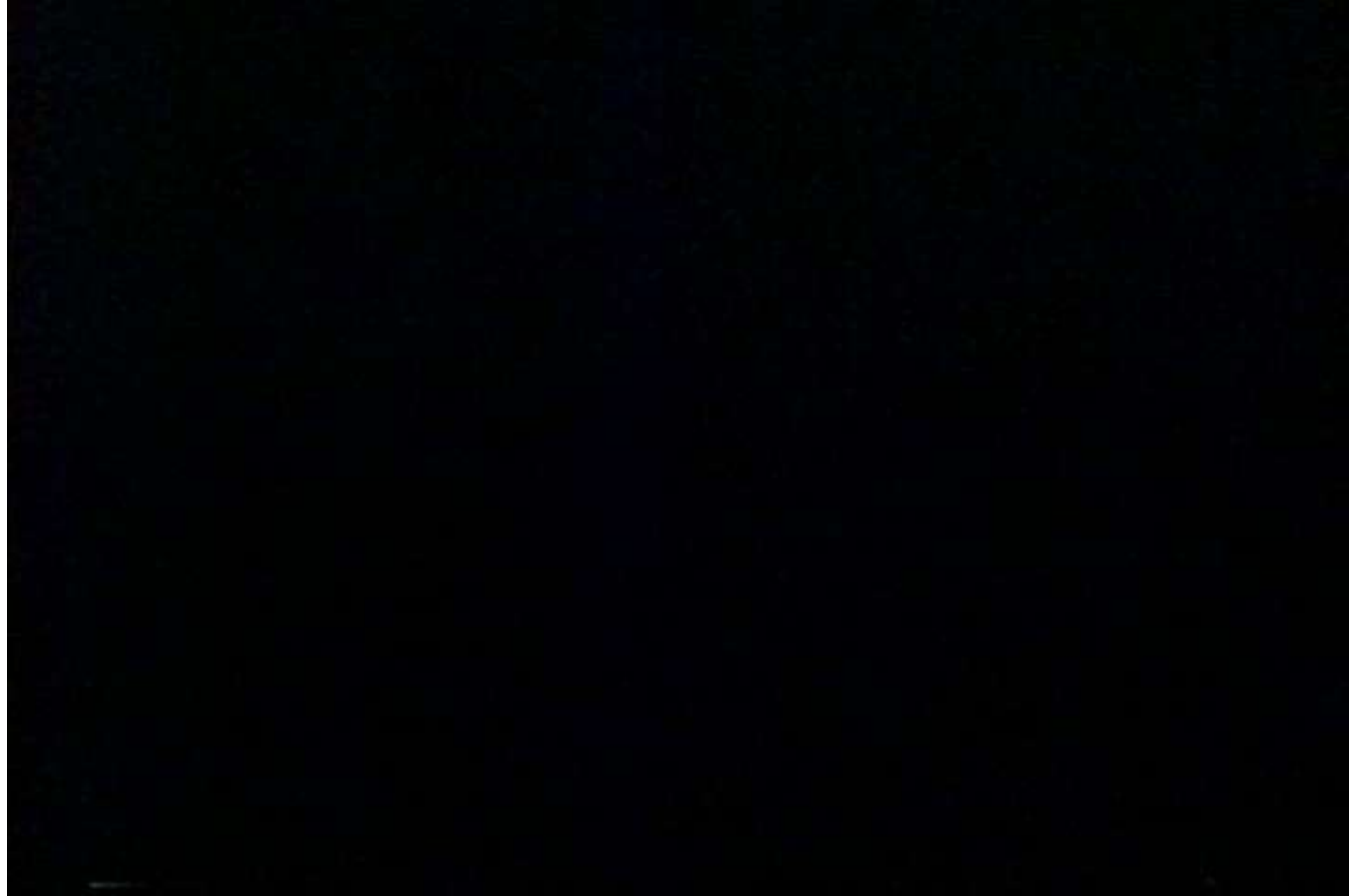
FREQUÊNCIAS NATURAIS OBTIDAS:

2,98 Hz; 3,56 Hz; 5,18 Hz; 7,58 Hz

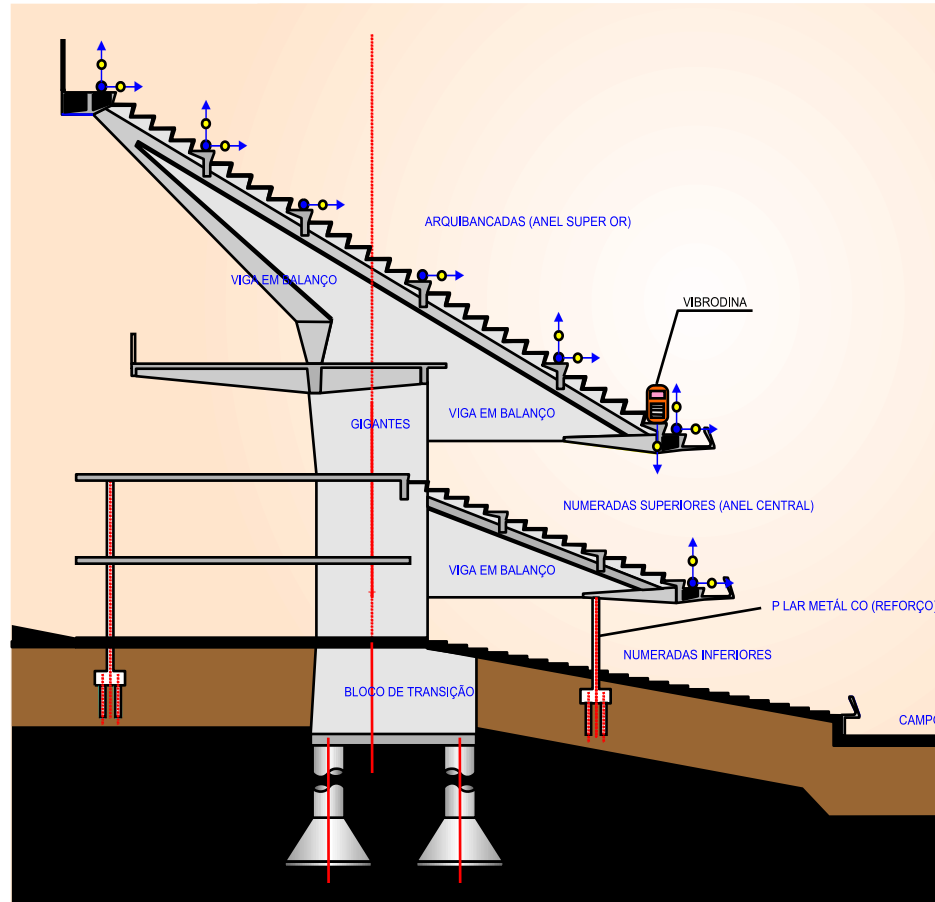
ESTÁDIO DO MORUMBI

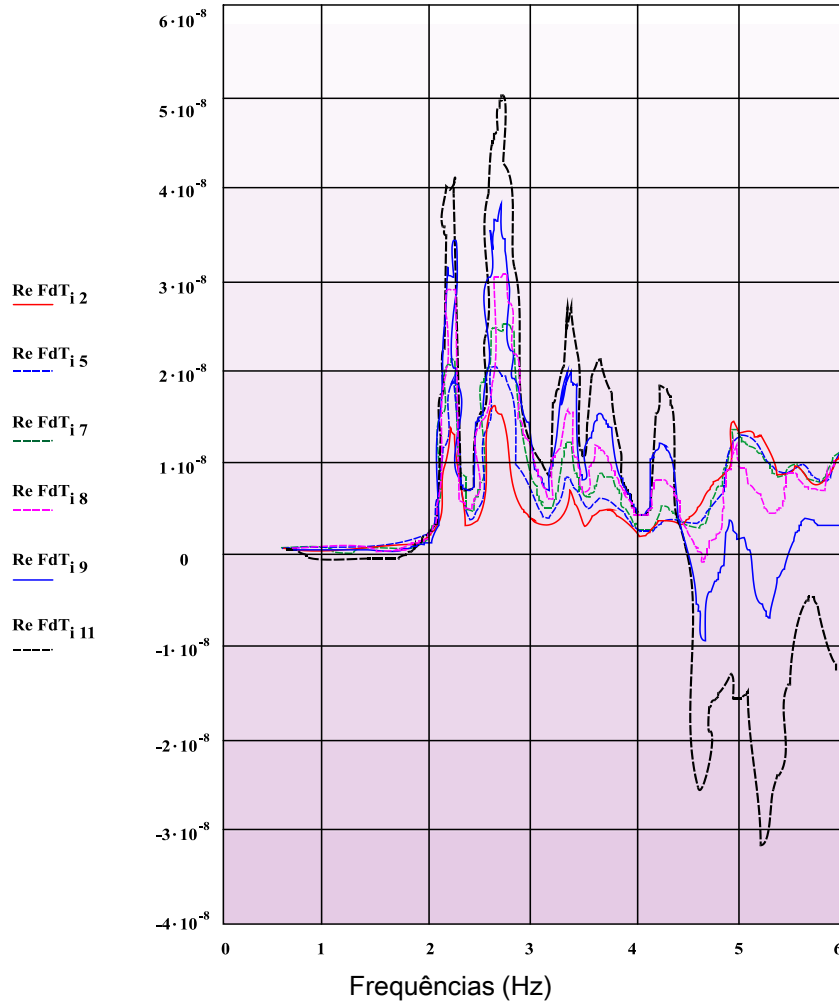


ESTÁDIO DO MORUMBI



ESTÁDIO DO MORUMBI

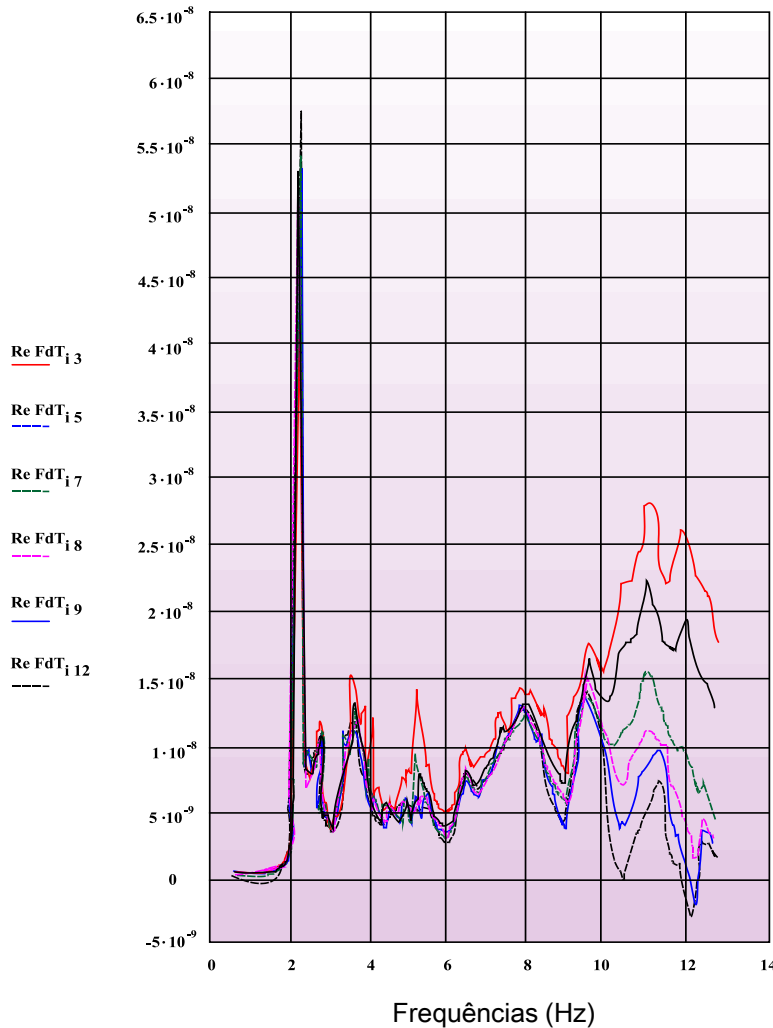




Excitação radial

Componentes radiais no plano radial do
anel superior

Parte real das funções de transferência



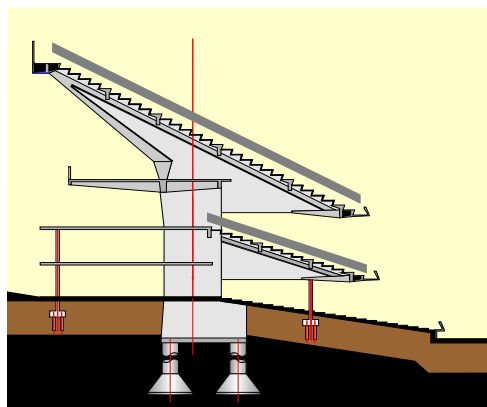
Excitação tangencial

Componentes tangenciais no plano
radial do anel superior

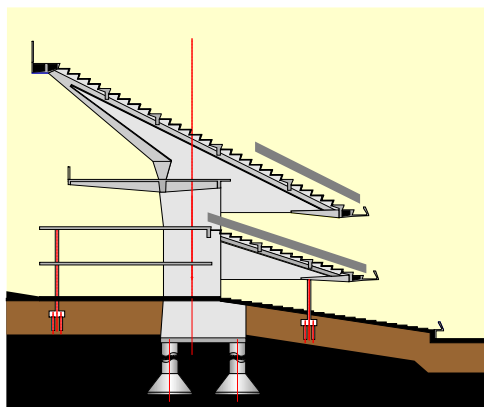
Parte real das funções de transferência
[(m/s)N]

ESTÁDIO DO MORUMBI

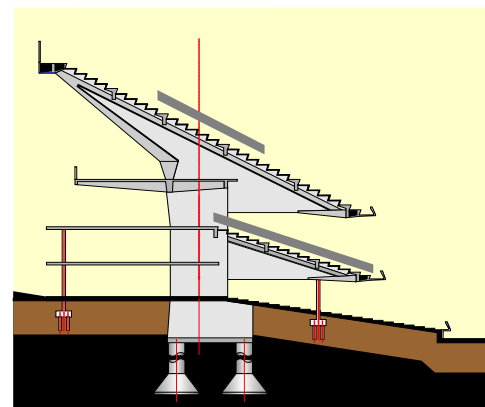
FIGURA 9 - OCUPAÇÃO DAS ARQUIBANCADAS



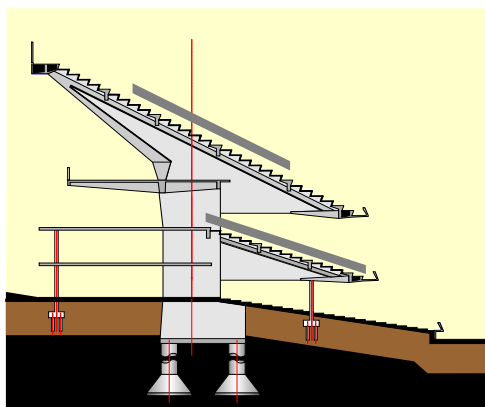
1ª HIPÓTESE



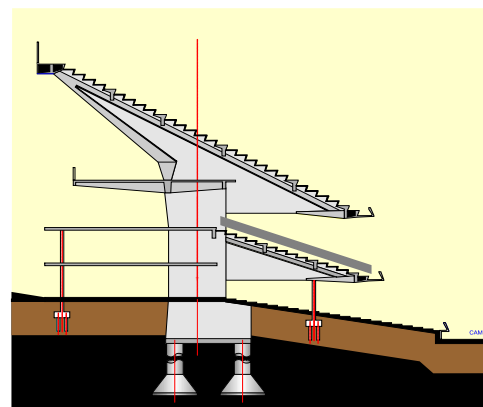
2ª HIPÓTESE



3ª HIPÓTESE



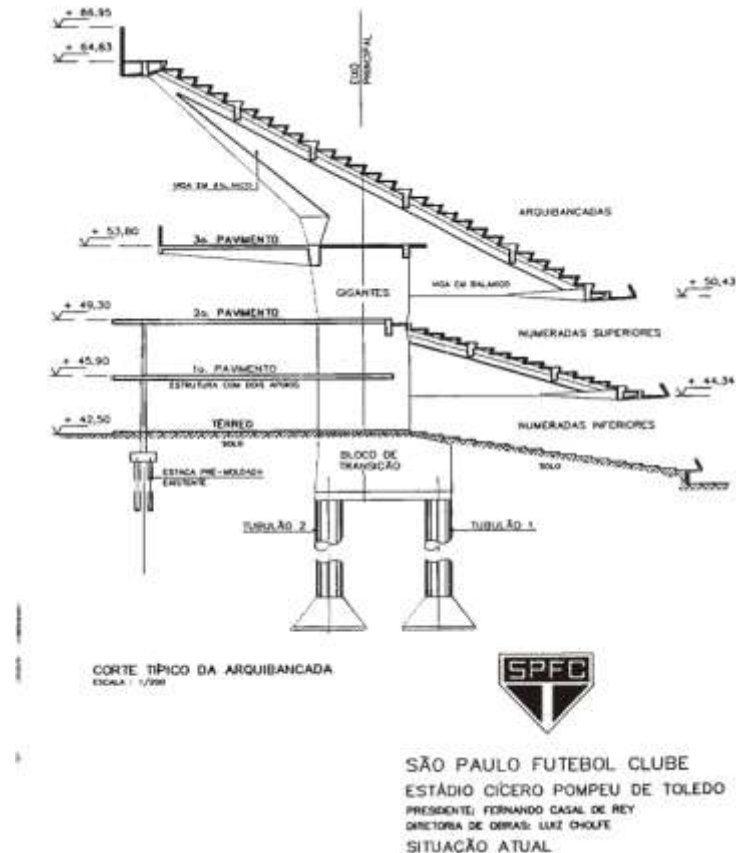
4ª HIPÓTESE



5ª HIPÓTESE

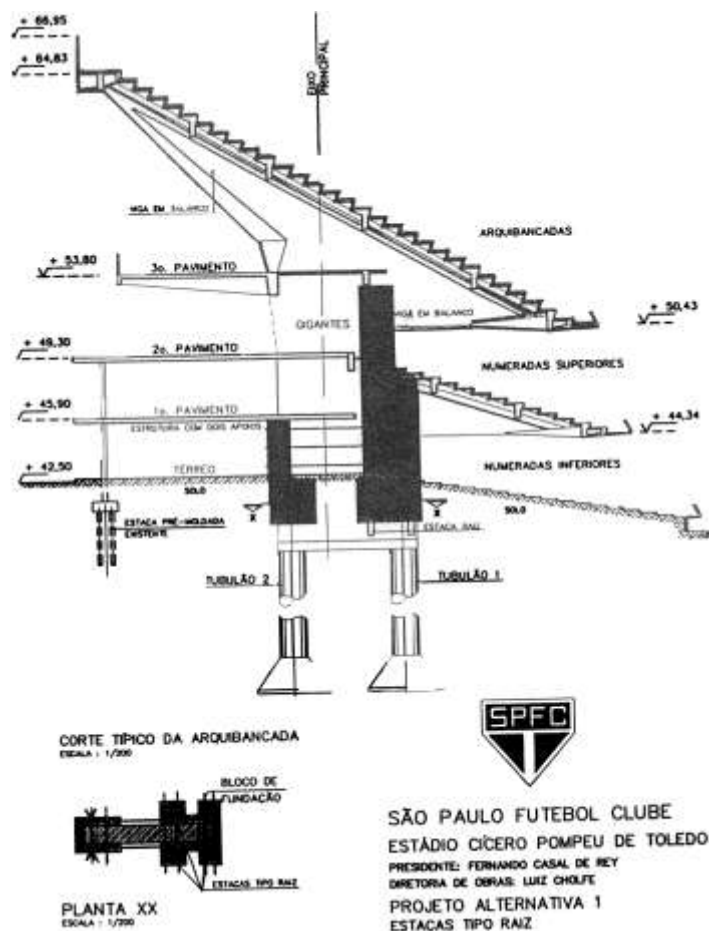
ESTÁDIO DO MORUMBI

ALTERNATIVAS INICIAIS DE INTERVENÇÃO PARA ADEQUAÇÃO A Situação Original



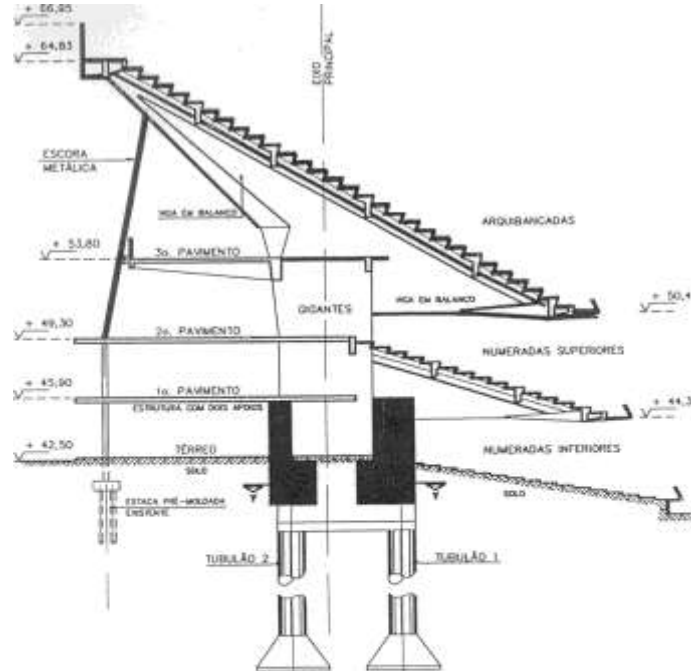
ESTÁDIO DO MORUMBI

Alternativa de Adequação 1



ESTÁDIO DO MORUMBI

Alternativa de Adequação 2



CORTE TÍPICO DA ARQUIBANCADA
ESCALA: 1/200



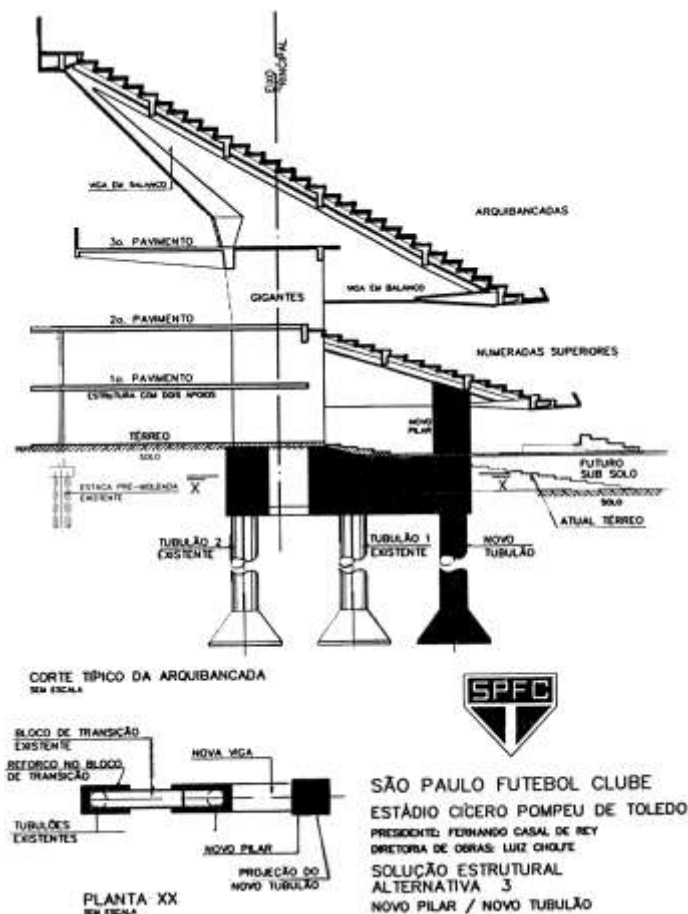
PLANTA YY
ESCALA: 1/200



SÃO PAULO FUTEBOL CLUBE
ESTÁDIO CÍCERO POMPEU DE TOLEDO
PRESIDENTE: FERNANDO CASAL DE REY
DIRETORIA DE OBRAS: LUIZ CHOUFE
PROJETO ALTERNATIVA 2
ESCORA METÁLICA

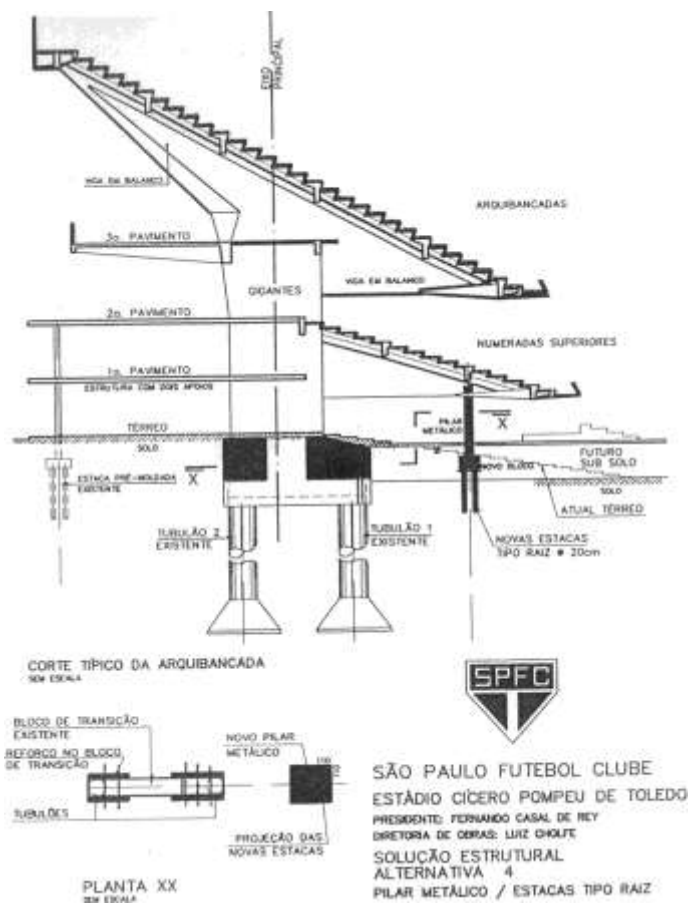
ESTÁDIO DO MORUMBI

Alternativa de Adequação 3



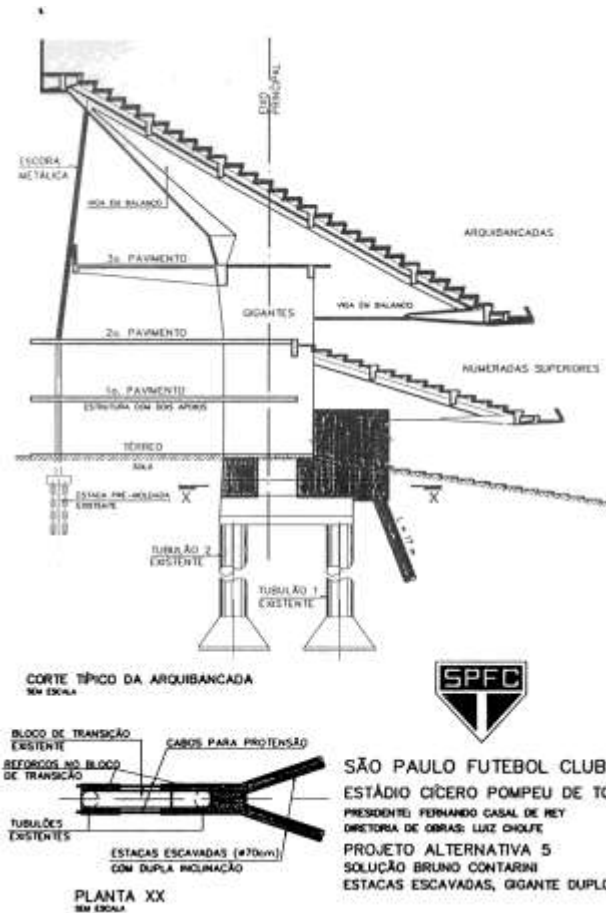
ESTÁDIO DO MORUMBI

Alternativa de Adequação 4



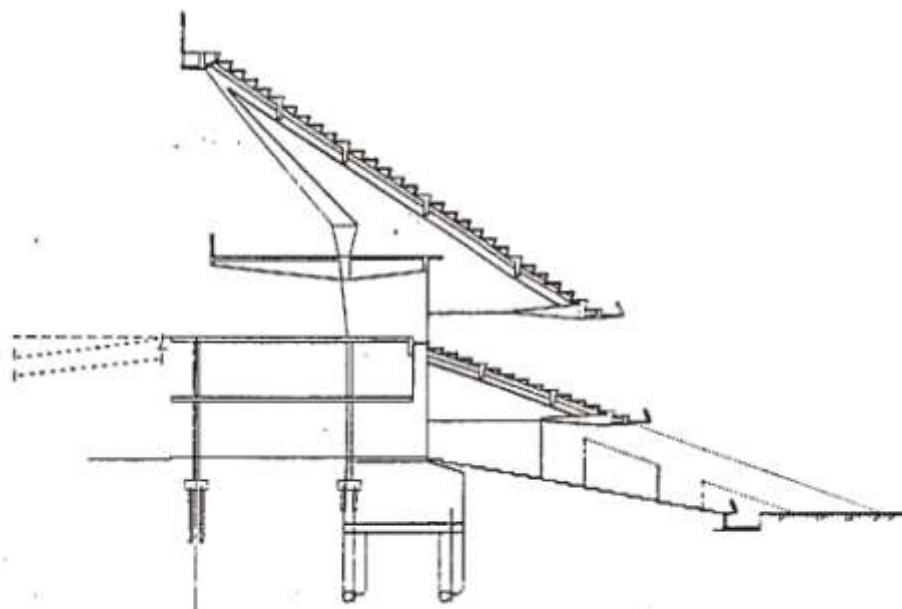
ESTÁDIO DO MORUMBI

Alternativa de Adequação 5

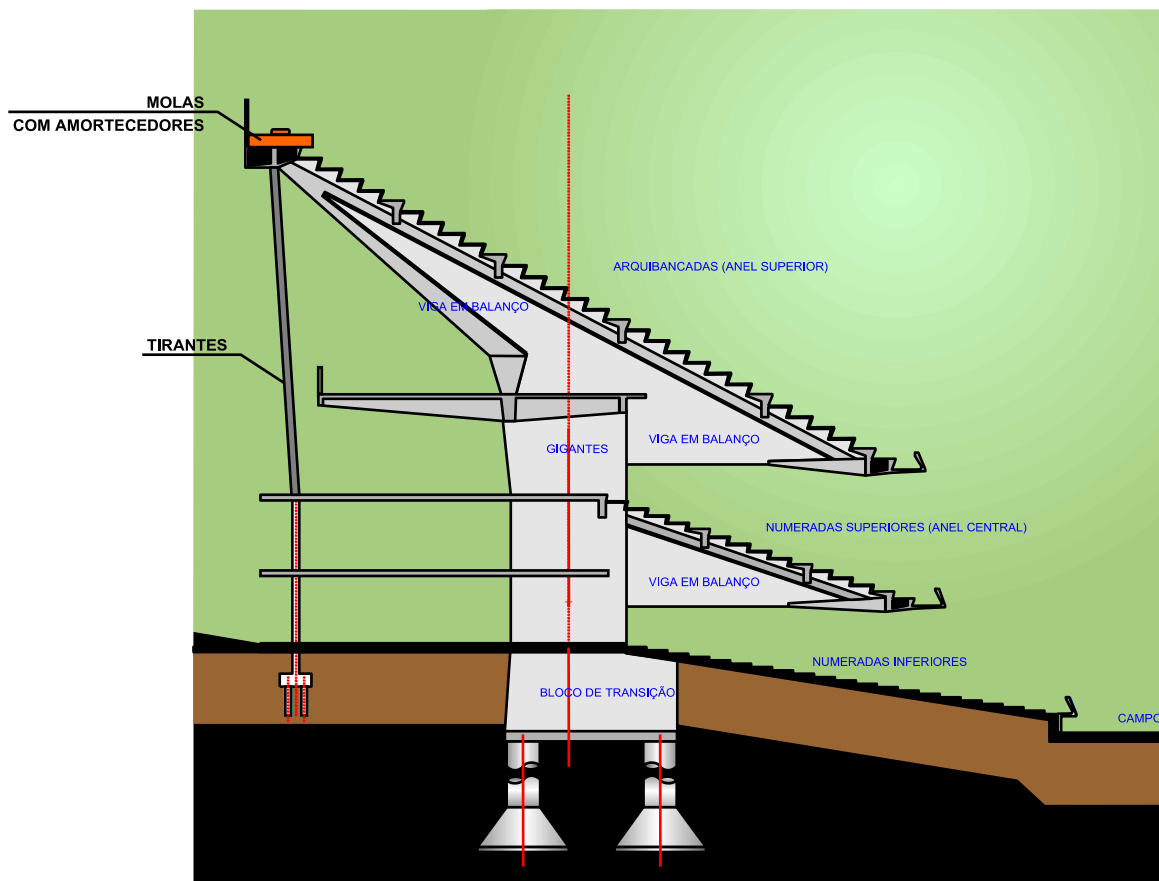


ESTÁDIO DO MORUMBI

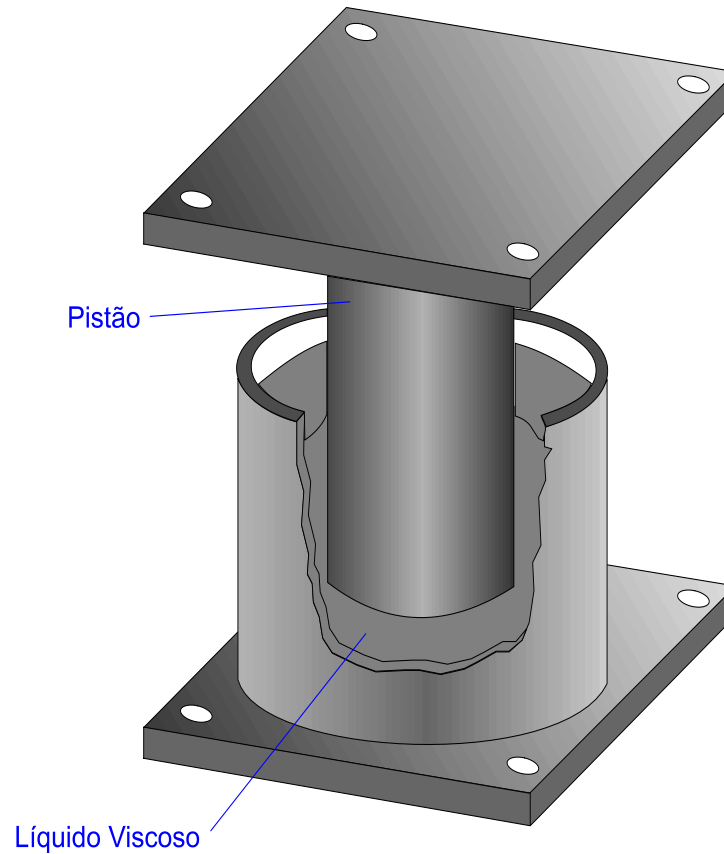
Solução de intervenção para adequação dinâmica
não executada



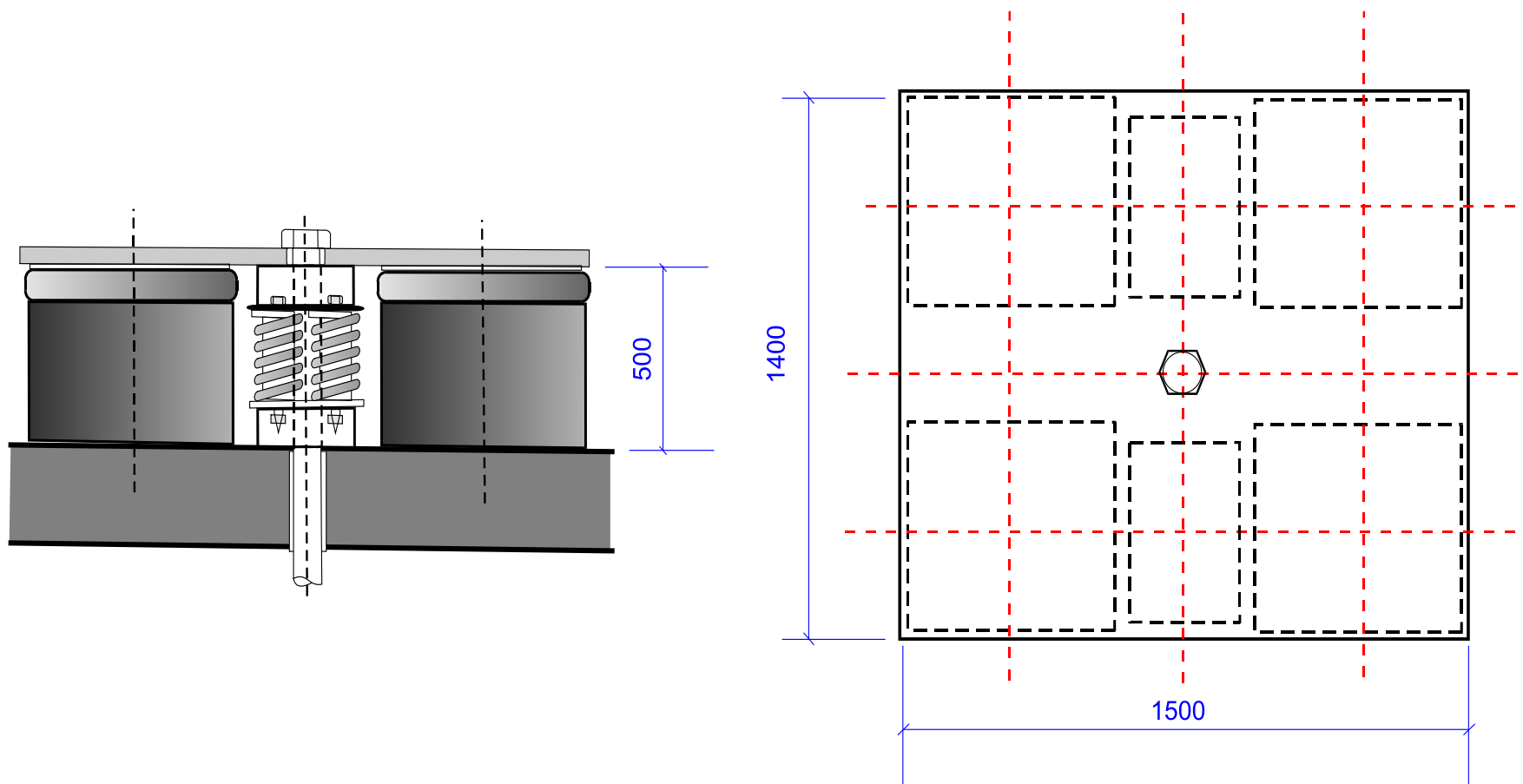
ESTÁDIO DO MORUMBI



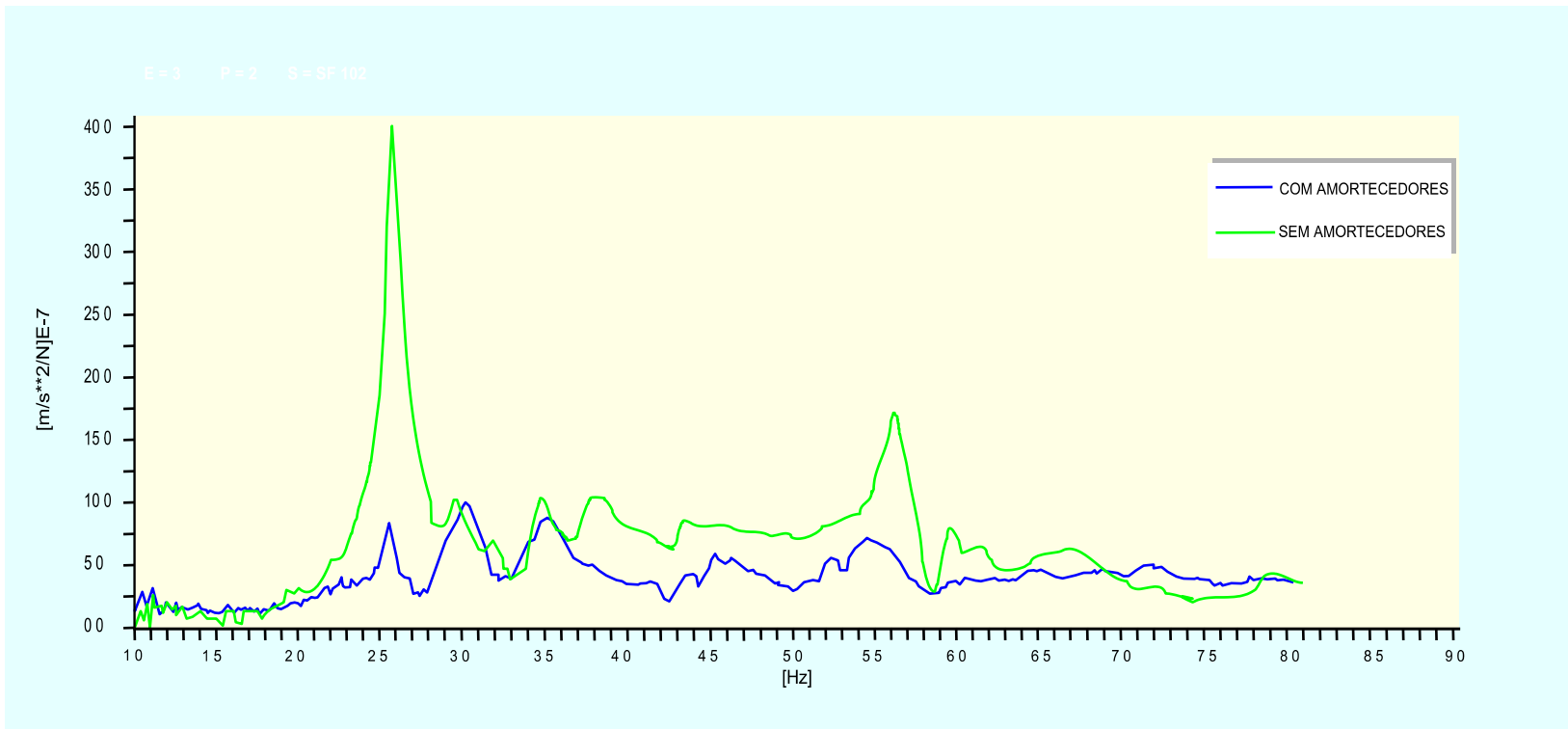
AMORTECEDOR



Arranjo do Sistema de Molas e Amortecedores



Funções de Transferência - Direção Radial



RESULTADOS OBTIDOS

Caso nº	Condição Estrutural	Valores Máximos Ponderados		
		acel. (cm/s ²)	vel. (mm/s)	desl. (mm)
1	Estrutura Original	897	476	25,2
2	Com amortecedores (T=10°C)	143	76	4,0
3	Com amortecedores (T=35°C)	289	153	8,1
Valores de Referência		300	160	8,5

- ADEQUAR E CRIAR NORMAS TÉCNICAS BRASILEIRAS
 - METODOLOGIAS DE INSPEÇÃO, QUE INCLUAM MONITORAÇÕES E PROVAS DE CARGA ESTÁTICA E DINÂMICAS