

DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DINÂMICAS DAS ESTRUTURAS
MEDIANTE O EMPREGO DE MODELOS EM ESCALA REDUZIDA

ROBERTO DOMINGO RIOS

Dissertação apresentada ao corpo docente do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA.

Porto Alegre
Agosto de 1994

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pelo Curso de Pós-Graduação.



Prof. Jorge Daniel Riera
Orientador



Prof. Jorge Daniel Riera
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Eng. Civil

BANCA EXAMINADORA

- Prof. Jorge Daniel Riera (orientador)
PhD pela Princeton University
- Prof. Francisco P. S. L. Gastal
PhD pela North Carolina State University
- Prof. Alberto Tamagna
Dr pelo CPGEC/UFRGS
- Prof. José Elias Laier
Dr pela USP

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Jorge Daniel Riera pela sua orientação neste trabalho de dissertação e pelo incentivo proporcionado para alcançar uma realização profissional.

Aos auxiliares de pesquisa do Laboratório de Dinâmica e Confiabilidade Estrutural pela ajuda prestada na construção do modelo e realização dos ensaios.

Em especial aos amigos Ignácio Iturrioz, Joao Kamiski e Vanessa Neiva pela desinteressada colaboração.

Ao Laboratório de Vibrações e Acústica pela colaboração e apoio prestados durante o desenvolvimento deste trabalho.

A CAPES e CNPq pela bolsa de Mestrado fornecida durante o período em que foi desenvolvido este trabalho, sem a qual não teria sido possível alcançar os objetivos.

À minha esposa

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE SÍMBOLOS	xii
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xv
1- INTRODUÇÃO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	1
1.1- Introdução	1
1.2- Revisão bibliográfica	2
1.3- Organização do trabalho	3
2- TEORIA DE MODELOS	4
2.1- Classificação de modelos	4
2.2- Análise dimensional	4
2.3- Produto de variáveis e produtos adimensionais	6
2.4- Teorema de Vaschy-Buckingham	6
3- DESCRIÇÃO DO MODELO	10
3.1- Características geométricas e estruturais do protótipo	10
3.2- Fatores que influenciaram na escolha da escala geométrica	14
3.3- Composição dos microconcretos	15
3.3.1- Introdução	15
3.3.2- Características dos materiais constituintes do microconcreto	16
3.3.2.1- Cimento	16
3.3.2.2- Agregados	16
3.3.2.3- Classificação dos agregados para microconcreto .	18
3.4- Dosagem dos microconcretos	16
3.4.1- Desdobramento do traço	17
3.5- Características do microconcreto adotado	19
3.6- Armaduras	22
3.7- Formas	27
3.8- Concretagem	27
3.9- Cura	29
4- INSTRUMENTAÇÃO E ENSAIOS	31
4.1- Instrumentação	31

4.2- Metodologia do ensaio sem carregamento	32
4.2.1- Frequências naturais e modos de vibração	38
4.2.2- Razão de amortecimento	39
4.3- Metodologia do ensaio com carregamento	40
5- RESULTADOS OBTIDOS	45
5.1- Introdução	45
5.2- Pórticos isolados	46
5.3- Modelo completo sem cargas	50
5.4- Modelo completo com cargas	50
5.5- Curvas carga-frequência	63
5.6- Medições de deslocamentos estáticos	66
5.7- Registros de fissuras	75
6- ESTUDO COMPARATIVO E CONCLUSÕES	79
ANEXO	83
BIBLIOGRAFIA	104

LISTA DE FIGURAS

3.1 - Vista superior do estádio analisado, com a localização do módulo 7	10
3.2 - Planta da marquise do módulo 7	11
3.3 - Planta da arquibancada do módulo 7	12
3.4 - Geometria dos pórticos 2 e 3	13
3.5 - Localização do ponto A	18
3.6 - Vista da armadura do modelo	24
3.7 - Vista da armadura no encontro pilar-arquibancada...	24
3.8 - Disposição das armaduras no modelo	25
3.9 - Armaduras empregadas como estribos	25
3.10- Concretagem do primeiro pórtico	26
3.11- Esquema da base de fixação dos pórticos	27
3.12- Vista superior dos pórticos	28
3.13- Vista dos pórticos	29
3.14- Vista superior do modelo completo	29
3.17- Vista frontal do modelo completo	30
4.1 - Pontos escolhidos para as medições da aceleração (Vertical)	33
4.2 - Pontos escolhidos para as medições da aceleração (H.Normal)	33
4.3 - Pontos escolhidos para as medições de aceleração (Horizontal)	33
4.4 - Espectros Instantâneos Canais A e B	34
4.5 - Espectros Instantâneos Canais A e B, escala vertical em decibéis	35
4.6 - Largura de faixa a 3 dB	36
4.7 - Pórtico de carregamento da arquibancada	42
4.8 - Vista lateral do pórtico de carga	43
4.9 - Vista frontal do pórtico de carga	44
4.10- Localização dos relógios comparadores.....	44
5.1 - Primeiro modo de vibração do pórtico 2	47

5.2 - Segundo modo de vibração do pórtico 2	47
5.3 - Terceiro modo de vibração do pórtico 2	48
5.4 - Quarto modo de vibração do pórtico 2	48
5.5 - Quinto modo de vibração do pórtico 2	48
5.6 - Primeiro modo de vibração do pórtico 3	48
5.7 - Segundo modo de vibração do pórtico 3	49
5.8 - Terceiro modo de vibração do pórtico 3	49
5.9 - Quarto modo de vibração do pórtico 3	49
5.10- Quinto modo de vibração do pórtico 3	49
5.11- Primeiro modo de vibração do modelo sem carregamento	53
5.12- Segundo modo de vibração do modelo sem carregamento	53
5.13- Terceiro modo de vibração do modelo sem carregamento	53
5.14- Quarto modo de vibração do modelo sem carregamento	53
5.15- Quinto modo de vibração do modelo sem carregamento	54
5.16- Primeiro modo de vibração do modelo para 4 KN	54
5.17- Segundo modo de vibração do modelo para 4 KN	54
5.18- Terceiro modo de vibração do modelo para 4 KN	54
5.19- Quarto modo de vibração do modelo para 4 KN	55
5.20- Quinto modo de vibração do modelo para 4 KN	55
5.21- Primeiro modo de vibração do modelo para 8 KN	55
5.22- Segundo modo de vibração do modelo para 8 KN	55
5.23- Terceiro modo de vibração do modelo para 8 KN	56
5.24- Quarto modo de vibração do modelo para 8 KN	56
5.25- Quinto modo de vibração do modelo para 8 KN	56
5.26- Primeiro modo de vibração do modelo para 12 KN	56
5.27- Segundo modo de vibração do modelo para 12 KN	57
5.28- Terceiro modo de vibração do modelo para 12 KN	57
5.29- Quarto modo de vibração do modelo para 12 KN	57
5.30- Quinto modo de vibração do modelo para 12 KN	57
5.31- Primeiro modo de vibração do modelo para 1KN. (no primeiro ciclo)	58
5.32- Segundo modo de vibração do modelo para 16 KN. (No primeiro ciclo)	58

5.33- Terceiro modo de vibração do modelo para 16 KN. (No primeiro ciclo)	58
5.34- Quarto modo de vibração do modelo para 16 KN. (No primeiro ciclo)	58
5.35- Quinto modo de vibração do modelo para 16 KN. (No primeiro ciclo)	59
5.36- Primeiro modo de vibração do modelo para 8 KN. (No segundo ciclo)	59
5.37- Segundo modo de vibração do modelo para 8 KN. (No segundo ciclo)	59
5.38- Terceiro modo de vibração do modelo para 8 KN. (No segundo ciclo)	59
5.39- Quarto modo de vibração do modelo para 8 KN. (No segundo ciclo)	60
5.40- Quinto modo de vibração do modelo para 8 KN. (No segundo ciclo)	60
5.41- Primeiro modo de vibração do modelo para 12 KN. (No segundo ciclo)	60
5.42- Segundo modo de vibração do modelo para 12 KN. (No segundo ciclo)	60
5.43- Terceiro modo de vibração do modelo para 12 KN. (No segundo ciclo)	61
5.44- Quarto modo de vibração do modelo para 12 KN. (No segundo ciclo)	61
5.45- Quinto modo de vibração do modelo para 12 KN. (No segundo ciclo)	61
5.46- Primeiro modo de vibração do modelo para 16 KN. (No segundo ciclo)	61
5.47- Segundo modo de vibração do modelo para 16 KN. (No segundo ciclo)	62
5.48- Terceiro modo de vibração do modelo para 16 KN. (No segundo ciclo)	62
5.49- Quarto modo de vibração do modelo para 16 KN. (No segundo ciclo)	62
5.50- Quinto modo de vibração do modelo para 16 KN. (No segundo ciclo)	62
5.51- Gráfico Cargas-Frequências para o Primeiro modo....	63
5.52- Gráfico Cargas-Frequências para o Segundo modo....	64

5.53-	Gráfico Cargas-Frequências para o Terceiro modo.....	64
5.54-	Gráfico Cargas-Frequências para o Quarto modo.....	65
5.55-	Gráfico Cargas-Frequências para o Quinto modo.....	65
5.56-	Pontos escolhidos para a fixação dos relógios comparadores	66
5.57-	Gráfico carga-deslocamento no relógio 1	68
5.58-	Gráfico carga-deslocamento no relógio 2	68
5.59-	Gráfico carga-deslocamento no relógio 3	69
5.60-	Gráfico carga-deslocamento no relógio 4	70
5.61-	Gráfico carga-deslocamento no relógio 5	70
5.62-	Gráfico carga-deslocamento no relógio 6	63
5.63-	Curva carga-(f/fo) no primeiro modo de vibração ...	71
5.64-	Curva carga-(f/fo) no segundo modo de vibração	72
5.65-	Curva carga-(f/fo) no terceiro modo de vibração ...	72
5.66-	Curva carga-(f/fo) no quarto modo de vibração	72
5.67-	Curva carga-(f/fo) no quinto modo de vibração	72
5.68-	Curva carga-(E/Eo) para o relógio comparador 1	73
5.69-	Curva carga-(E/Eo) para o relógio comparador 2	73
5.70-	Curva carga-(E/Eo) para o relógio comparador 3	73
5.71-	Curva carga-(E/Eo) para o relógio comparador 4	73
5.72-	Curva carga-(E/Eo) para o relógio comparador 5	74
5.73-	Curva carga-(E/Eo) para o relógio comparador 6	74
5.74-	Curva carga-(f/fo) médio de todos os modos	74
5.75-	Curva carga-(E/Eo) médio de todos os relógios	74
5.76-	Esquema de fissuras no pórtico 2 para 8 KN	76
5.77-	Esquema de fissuras no pórtico 3 para 8 KN	76
5.78-	Esquema de fissuras no pórtico 2 para 12 KN	77
5.79-	Esquema de fissuras no pórtico 3 para 12 KN	77
5.80-	Esquema de fissuras no pórtico 2 para 16 KN	78
5.81-	Esquema de fissuras no pórtico 3 para 16 KN	78

LISTA DE TABELAS

2.1 - Relações modelo-protótipo para ensaios dinâmicos ..	9
3.1 - Relação dos arames galvanizados encontrados no comercio	14
3.2 - Tabela auxiliar para a escolha da relação de escala	15
3.3 - Quantidade de água na mistura	17
3.4 - Fator K em função do consumo de cimento	19
3.5 - Índices esclerométricos obtidos na estrutura real .	20
3.6 - Composição do micro-concreto adotado	21
3.7 - Resultados dos ensaios nos corpos de prova	22
3.8 - Resultados dos ensaios de tração dos arames	23
3.9 - Diâmetros dos arames adotados	23
4.1 - Descrição dos instrumentos empregados nos ensaios .	32
4.2 - Modelo de planilha empregadas para registro dos dados do ensaio	37
5.1 - Valores das frequências para o modelo e a estrutura real para ambos os pórticos	46
5.2 - Valores das frequências e amortecimento para o modelo sem carregamento	50
5.3 - Valores das frequências e amortecimento para o modelo com diferentes estados de carregamento	51
5.4 - Valores das frequências e amortecimento para distintos estados de carga depois do primeiro ciclo de cargas	52
5.5 - Valores das frequências naturais depois de aplicada a carga última	63
5.6 - Resumo dos resultados obtidos na medição dos deslocamentos estáticos	66
5.7 - Valores da abertura e comprimento das fissuras	75
6.1 - Resultados experimentais das propriedades dinâmicas do módulo 12	79
6.2 - Frequências naturais de vibração teóricas	80
6.3 - Resumo dos resultados obtidos na bibliografia	81

LISTA DE SÍMBOLOS

Letras maiúsculas

- A_p - Área no protótipo
 A_m - Área no modelo
 D - Tipo do microconcreto
 E - Módulo de Young
 F - Força de excitação
 H - Quantidade de água na mistura
 K - Parâmetro
 M - Massa
 $M_{p,m}$ - Massa no protótipo e modelo respectivamente
 P_e - Carga de escoamento dos arames
 P_r - Carga de ruptura dos arames
 P_p - Carga concentrada no protótipo
 P_m - Carga concentrada no modelo
 Q - Carga elétrica
 $Q_{p,m}$ - Cargas distribuídas no protótipo e modelo respectivamente.
 S_e - Fator de escala do módulo de elasticidade
 S_l - Fator de escala das dimensões
 S_p - Fator de escala da densidade
 T - Tempo
 V - Volume
 Y_{ij} - Amplitude da onda associada a frequência natural no i -ésimo modo de vibração no j -ésimo ponto de medição

Letras minúsculas

- a - Traço em peso do agregado
 c - quantidade de cimento por metro cúbico de concreto
 f_i - Frequência correspondente ao i -ésimo modo
 l - Extensão
 $q_{i,j}$ - Deslocamento relativo do ponto j no modo i .

- v - velocidade
x - Fator água-cimento

Letras gregas

- ρ - Densidade de massa
 γ_a - Massa específica do agregado
 γ_c - Massa específica do cimento
 δ - Deslocamento
 ϵ - Deformação específica
 θ - Temperatura
 μ - Coeficiente de Poisson
 ξ - Razão de amortecimento (%)
 π - Termo adimensional
 σ - Tensão
 $\phi_{A,B}$ - Ângulo de fase nos canais A ou B.

RESUMO

O objetivo desta dissertação é aperfeiçoar procedimentos experimentais que permitam a determinação das propriedades dinâmicas de estruturas complexas, mediante o emprego de modelos em escala reduzida. Estes procedimentos são aplicados para a avaliação do dano em estruturas, através de ensaios dinâmicos não destrutivos. É realizada a análise dos materiais e técnicas construtivas adequadas para a simulação do comportamento do concreto armado até a ruptura. Descreve-se o método experimental aplicado na determinação das frequências naturais e modos de vibração de um estádio de futebol. Elaboram-se gráficos da evolução da frequência com o incremento do dano resultante das cargas crescentes aplicadas, assim como também gráficos de fissuras e deslocamentos estáticos. Os resultados do modelo são comparados com soluções numéricas disponíveis e com medições realizadas *in loco* sobre a estrutura real.

ABSTRACT

The objective of the thesis is to apply and improve experimental methods to determinate the dynamic properties of complex structures by means of small scale models, in order to evaluate damage in structures by means of non-destructive dynamics tests . Selection of materials and construction technics to simulate the behavior of reinforced concrete until rupture. The experimental method used to determinate the natural frequencies and vibrations modes of a section of a reinforced concrete football stadium is described. Graphs of the evolution of the frequency with the evolution of damage, resulting from increasing loads, as well as plots of crack distribution and static displacement are presented. The results are compared with available numerical solutions and measurements performed on the real structure.

1- INTRODUÇÃO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1- INTRODUÇÃO

A teoria da confiabilidade indica que a possibilidade de falha das estruturas civis, em geral, é da ordem de 10^{-6} /ano.

A aplicação de métodos experimentais diretamente no protótipo é muito difícil e outras vezes impossível, portanto, é complicada a verificação dos valores teóricos.

Uma alternativa extremamente interessante seria estabelecer um método que permita a determinação do estado real de uma estrutura com respeito ao seu limite.

Dispondo de dados sobre P_u (carga última ou capacidade de carga) e P (carga máxima atuante no passado), poderia-se estabelecer um índice $v = P / P_u$, denominado "índice de dano", o qual seria um indicativo do estado da estrutura.

Assim, pode-se ver a enorme importância dos métodos não destrutivos para avaliar o estado estrutural, os que teriam aplicações na área da confiabilidade e da manutenção, pois permitiriam através de ensaios periódicos determinar o momento adequado para a realização das tarefas de conservação.

Um método sugerido, é através do estudo da alteração das propriedades dinâmicas. Riera e Ferrufino (1993). O método consiste em considerar que o surgimento de dano em um membro estrutural está relacionado a uma modificação de suas propriedades locais, ou seja, ocorre uma degradação de rigidez local desta estrutura, a qual é função do dano. Esta redução de rigidez muda o comportamento dinâmico da estrutura (modos e frequências naturais de vibração) e, devido a esta mudança, a posição e a intensidade do dano podem ser identificadas. Um único evento de dano afetará cada modo de vibração de forma diferente, tendo forte efeito sobre certos modos e fraco sobre outros.

Apresentou-se a oportunidade de avaliar uma estrutura de um

estádio de futebol, a qual mostrou dano estrutural apreciável a simples vista, com uma grande quantidade de repetições modulares idênticas, com pequenas variações na geometria, e com disponibilidade de observação "in loco" do estado de fissuração e do comportamento da mesma.

Os fatores antes mencionados permitem aplicar técnicas estatísticas para a obtenção de conclusões sobre o estado da estrutura. Mas como é impossível a determinação da capacidade de carga na estrutura real, nem a evolução do dano (medido via análise da frequência) com a amplitude da carga, torna-se necessário e conveniente o estudo da mesma através de modelo em escala reduzida.

Por meio desse modelo determina-se a evolução das frequências de vários modos de vibração para diferentes estados de cargas, assim como também os esquemas de fissuração correspondentes.

1.2-REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:

Nesta seção é feita uma revisão da literatura relacionada à confecção e ensaio de modelos reduzidos.

Sabnis et al (1983) fazem uma interessante e muito completa descrição dos diferentes tipos de materiais a serem empregados, dos sistemas de carregamento, dos sistemas de aquisição de dados para casos de sistemas estáticos. Também no caso de sistemas submetidos a carregamentos dinâmicos, aqueles apresentam importantes considerações assim como distintos exemplos de aplicação.

Mais especificamente para o caso de cargas dinâmicas, Baker (1979) faz uma boa e extensa descrição das leis de semelhança para distintos tipos de cargas, por exemplo: ação do vento, explosões e cargas dinâmicas em geral.

Riera e Rubio (1992) fazem uma análise do estádio estudado e de um viaduto por meio de modelos reduzidos realizados em Araldite, comparando os resultados experimentais com os obtidos através do método dos elementos finitos no programa Gaeli.

Já Hossdorf (1974) e Dehousse (1971) fazem aportes fundamentais referentes às leis de semelhança, assim também no referente aos materiais disponíveis e exemplos de uso dos modelos.

Preece (1964) e Abdias (1976), apresentam conclusões sobre trabalhos realizados em micro-concreto de cimento portland, com o emprego de diferentes materiais para representar adequadamente a armadura.

Com referência ao micro-concreto de cimento portland, Klein (1985) apresenta um estudo muito detalhado da técnica de dosificação, baseada em uma ampla pesquisa experimental e teórica.

Bruel & Kjær (1972) dão grande informação sobre os instrumentos para medição, registro e análise de dados.

1.3-ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO:

A presente tese foi organizada da seguinte forma:

No capítulo 2 são vistos alguns conceitos sobre modelos, definições, tipos e classificações segundo seu uso. Mostram-se também os requisitos de semelhança a serem cumpridos pelos modelos estruturais.

No capítulo 3 realiza-se a análise dos materiais empregados, das características geométricas e da técnica de concretagem.

No capítulo 4 descrevem-se os equipamentos empregados, os dispositivos de carregamento e a metodologia do ensaio.

No capítulo 5 realiza-se a análise dos dados obtidos, frequências, modos de vibração, coeficientes de amortecimento e suas respectivas equivalências na estrutura real.

Finalmente no capítulo 6 são apresentadas as conclusões gerais do trabalho, desempenho dos materiais e propriedades dinâmicas da estrutura.

2-TEORIA DE MODELOS

Pode-se estabelecer uma ampla classificação dos modelos de estruturas, tais como pontes, edifícios, barragens, estruturas de Engenharia Mecânica Aeroespacial, estruturas submarinas, etc.; incluindo carregamentos estáticos, simulação de sismos, carregamentos térmicos e efeitos do vento.

2.1. CLASSIFICAÇÃO DE MODELOS

Os modelos podem ser classificados, segundo sua semelhança com o protótipo em:

a) Estruturais propriamente ditos:

1) Semelhantes geometricamente: o modelo é uma reprodução à escala do protótipo.

2) Distorcidos: o modelo é uma reprodução do protótipo, mas com a utilização de duas ou mais escalas.

b) Análogos:

Não há nenhuma semelhança direta entre o modelo e o seu protótipo, por exemplo, as características vibratórias de um sistema mecânico podem ser deduzidas de observações feitas sobre um circuito elétrico.

Também podemos classificá-los em:

a) Elásticos: consiste em não fazer evoluir o modelo fora do domínio onde seu comportamento é elástico linear, é dizer que obedece a lei de Hooke.

b) De resistência: aqui o modelo é submetido a cargas que o levam ao domínio plástico e de ruptura.

c) Dinâmico: é do tipo elástico ou de resistência e semelhante geometricamente. É feito com objetivo de determinar os modos fundamentais de vibração e suas respectivas frequências, assim como a razão de amortecimento de cada um dos modos de vibração.

2.2. ANÁLISE DIMENSIONAL:

Um estudo experimental pode ser feito sobre um protótipo ou um modelo. O protótipo é uma estrutura idêntica em tudo (forma, dimensões, características físicas, etc.) ao objeto real que motiva a análise.

O modelo é um objeto construído no laboratório que apresenta relações pertinentes ao protótipo.

Quando se empregam modelos é fundamental estabelecer as relações de pertinência protótipo-modelo, através da análise dimensional.

A idéia básica para a formulação dos princípios da análise dimensional é a de que todo fenômeno físico deve ser o mesmo para o modelo e para o protótipo, desde que ambos sejam construídos semelhantemente.

No domínio da engenharia, as aplicações mais importantes da análise dimensional são as seguintes:

- 1) Estabelecer equações de relação.
- 2) Fazer sistemática a representação dos resultados de um projeto experimental e reduzir o número de variáveis intervenientes.
- 3) Estabelecer os princípios de dimensionamento, de operação e de interpretação dos modelos.

O uso das dimensões teve sua origem quando o homem fez as primeiras tentativas para definir e medir quantidades físicas. Para isto foi necessário levar em conta duas características gerais: Qualitativas e Quantitativas.

As características qualitativas permitem que um fenômeno seja expresso em uma determinada medida fundamental que pode envolver três classes de problemas físicos que são: mecânicos, termodinâmicos e elétricos; e são descritas através das seguintes medidas fundamentais :

- | | |
|-------------|---|
| 1: Extensão | L |
| 2: Força | F |
| ou Massa | M |
| 3: Tempo | T |

4: Temperatura θ

5: Carga elétrica Q

A característica quantitativa é feita sobre um número e um padrão de comparação. Portanto, cada uma das dimensões tem sua unidade padrão associada a ela em cada um dos sistemas de unidades em uso atual.

2.3. PRODUTOS DE VARIÁVEIS E PRODUTOS ADIMENSIONAIS:

Dentro da mecânica newtoniana, as dimensões fundamentais geralmente adotadas são: massa (M), comprimento (L) e tempo (T). Todas as leis de Newton são expressáveis basicamente mediante essas três grandezas. Como todas as outras grandezas são derivadas das ditas leis, então elas podem ser expressas em termos de M, L, T. Por exemplo, as dimensões de velocidade e aceleração são respectivamente LT^{-1} e LT^{-2} , conforme as correspondentes definições.

Pela lei de Newton: $F = M \cdot a$

$$[F] = [M] [Acel]$$

$$[F] = [M] [a] = M L T^{-2}$$

Assim como são determinadas as funções dimensionais para a força, pode-se determiná-las para quaisquer outras grandezas físicas, tornando-se genericamente:

$$X = M^a L^b T^c$$

2.4. TEOREMA DE VASCHY-BUCKINGHAM

Este teorema é um dos mais úteis da análise dimensional. Ele permite colocar imediatamente em evidência os produtos sem dimensão que regem a similitude.

O teorema é enunciado como segue:

" Se uma equação é dimensionalmente homogênea, então ela pode ser reduzida a uma relação entre um conjunto completo de produtos adimensionais."

Toda relação dimensionalmente homogênea entre n grandezas físicas

$f(A,B,C,\dots,N)=0$, entra a existência de uma outra relação:

$\rho(\pi_1,\pi_2,\pi_3,\dots,\pi_{n-r})=0$, que são produtos das grandezas A,B,C,\dots,N , da forma: $= A^a B^b \dots N^n$, onde r é a ordem do maior determinante não nulo que contém a matriz dimensional das grandezas A, B, C, \dots, N . Em geral r é igual ao número de unidades fundamentais necessárias para definir A, B, \dots, N . Assim se A, B, C, \dots, N derivam de m grandezas fundamentais, por exemplo M, L, T, \dots suas dimensões são:

$$\begin{aligned} [A] &= M^{a_1} L^{a_2} T^{a_3} \dots \\ [B] &= M^{b_1} L^{b_2} T^{b_3} \dots \\ &\dots \dots \dots \\ [N] &= M^{n_1} L^{n_2} T^{n_3} \dots \end{aligned}$$

Ficando a matriz dimensional:

	A	B	C	N
M	a ₁	b ₁	c ₁	n ₁
L	a ₂	b ₂	c ₂	n ₂
T	a ₃	b ₃	c ₃	n ₃

Tendo os números sem dimensão: $\pi = A^{k_1} B^{k_2} \dots N^{k_n}$

Então para que qualquer produto seja adimensional, precisa-se que:

$$\begin{pmatrix} a_1 & a_2 & \dots & a_n \\ b_1 & b_2 & \dots & b_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ n_1 & n_2 & \dots & n_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \dots \\ k_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix}$$

Assim temos que:

$$a_1.k_1 + a_2.k_2 + \dots + a_n.k_n = 0$$

$$b_1.k_1 + b_2.k_2 + \dots + b_n.k_n = 0$$

$$n_1.k_1 + n_2.k_2 + \dots + n_n.k_n = 0$$

Buckingham prova que tal propriedade é verificada, sempre que os produtos adimensionais possuam o mesmo valor em ambos os sistemas mecânicos, isto é, $\pi_{1m} = \pi_{1p}$, sendo m e p os indicativos de modelo e protótipo respectivamente.

Ele indica ainda um método para estabelecer a natureza da transformação que torne dois sistemas semelhantes.

Seja um sistema de n variáveis cuja ordem da matriz dimensional seja r, então:

a) quaisquer grandezas independentes podem ser transferidas de um sistema para outro de modo completamente arbitrário, por exemplo: $E_p \rightarrow E_m$.

b) feitas estas transferências, as n-r grandezas restantes são agora univocamente determinadas, de tal forma que os produtos dimensionais, nos quais elas aparecem, permaneçam numericamente iguais num e noutro sistema.

c) é necessário ainda que as relações entre as grandezas do mesmo tipo (largura, comprimento, etc.) no modelo e no protótipo sejam conservadas.

Quando as três condições acima são verificadas, o modelo é dito perfeito, e quando ao menos uma delas não o é, o modelo é dito distorcido, neste último caso é necessário fazer correções nos resultados.

A correta formação dos termos adimensionais deve cumprir os seguintes critérios:

- a) Todas as variáveis devem ser incluídas.
- b) Os termos adimensionais devem ser independentes.
- c) Em geral, não há um único conjunto desses termos para um dado problema.

Isto requer que a pessoa que faça uso da análise dimensional tenha um amplo conhecimento sobre o assunto, evitando não considerar variáveis de grande importância e considerar aquelas

pouco influentes.

Para sistemas dinâmicos os requisitos de semelhança que governam a relação entre o modelo e a estrutura real são: função da geometria, das propriedades físicas e mecânicas do material que constitui a estrutura, do tipo de carga, etc.

As medidas fundamentais que envolvem este processo são: L, M, T.

Para vibrações elásticas a tabela 2.1 apresenta algumas variáveis físicas e as correspondentes relações modelo-protótipo, baseados no análise dimensional e o teorema π -Buckingham.

Tabela 2.1: Relações modelo-protótipo para ensaios dinâmicos.

GRUPO	QUANTIDADE	DIMENSÃO	FATOR ESCALA
Carga	Força (F)	F	$S_e S_1^2$
	Aceleração (a)	LT ⁻²	$S_e / S_1 \rho_1$
	Velocidade (v)	LT ⁻¹	$(S_e / S_1 \rho_1)^{0.5}$
	Tempo (t)	T	$S_1 (S_1 \rho_1 / S_e)^{0.5}$
Geometria	Dim.Linear (l)	L	S_1
	Deformação(ϵ)		1
	Deslocam. (δ)	L	S_1
	Freqüência(f)	T ⁻¹	$(S_e / S_1 \rho_1)^{0.5} / S_1$
Prop. Material	Mód. Young(E)	FL ⁻²	S_e
	Tensão (σ)	FL ⁻²	S_e
	Coef.Poisson(μ)		1
	Dens.Massa(ρ)	FT ² L ⁻⁴	$S_1 \rho_1$

3. DESCRIÇÃO DO MODELO

3.1-CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E ESTRUTURAIS DO PROTÓTIPO

Será estudada a estrutura de um estádio de futebol construído em duas etapas. Das duas partes, a segunda, ou ampliação, apresentou problemas de desconforto dinâmico com predominância horizontal.

Esta parte consiste em 12 módulos, cada um dos quais está constituído por 5 pórticos unidos pelas suas respectivas lajes e vigas de arquibancada e de marquise.

A figura 3.1 mostra uma planta geral do estádio analisado. A parte superior da mesma, forma parte da primeira etapa, e a parte inferior à ampliação. Dentro da mesma indica-se o módulo 7, e dentro dele os pórticos 2 e 3 que foram os escolhidos para sua modelagem, baseados em uma ampla informação existente sobre o estado de fissuração da estrutura e da acessibilidade, como por exemplo, superfície do concreto sem nenhum tipo de revestimento.

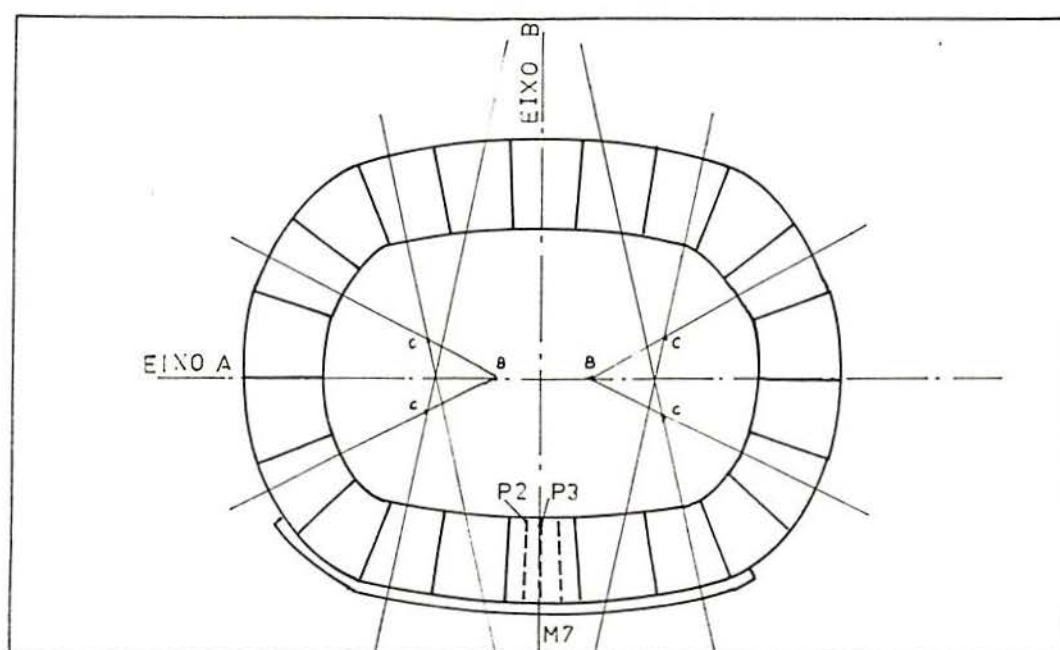


Figura 3.1: Planta geral do estádio de futebol analisado.

A figura 3.2 mostra um esquema da marquise do módulo 7, indicando nela as dimensões reais do mesmo, e a figura 3.3 um esquema da arquibancada do mesmo módulo. A figura 3.4 mostra um esquema da geometria dos pórticos.

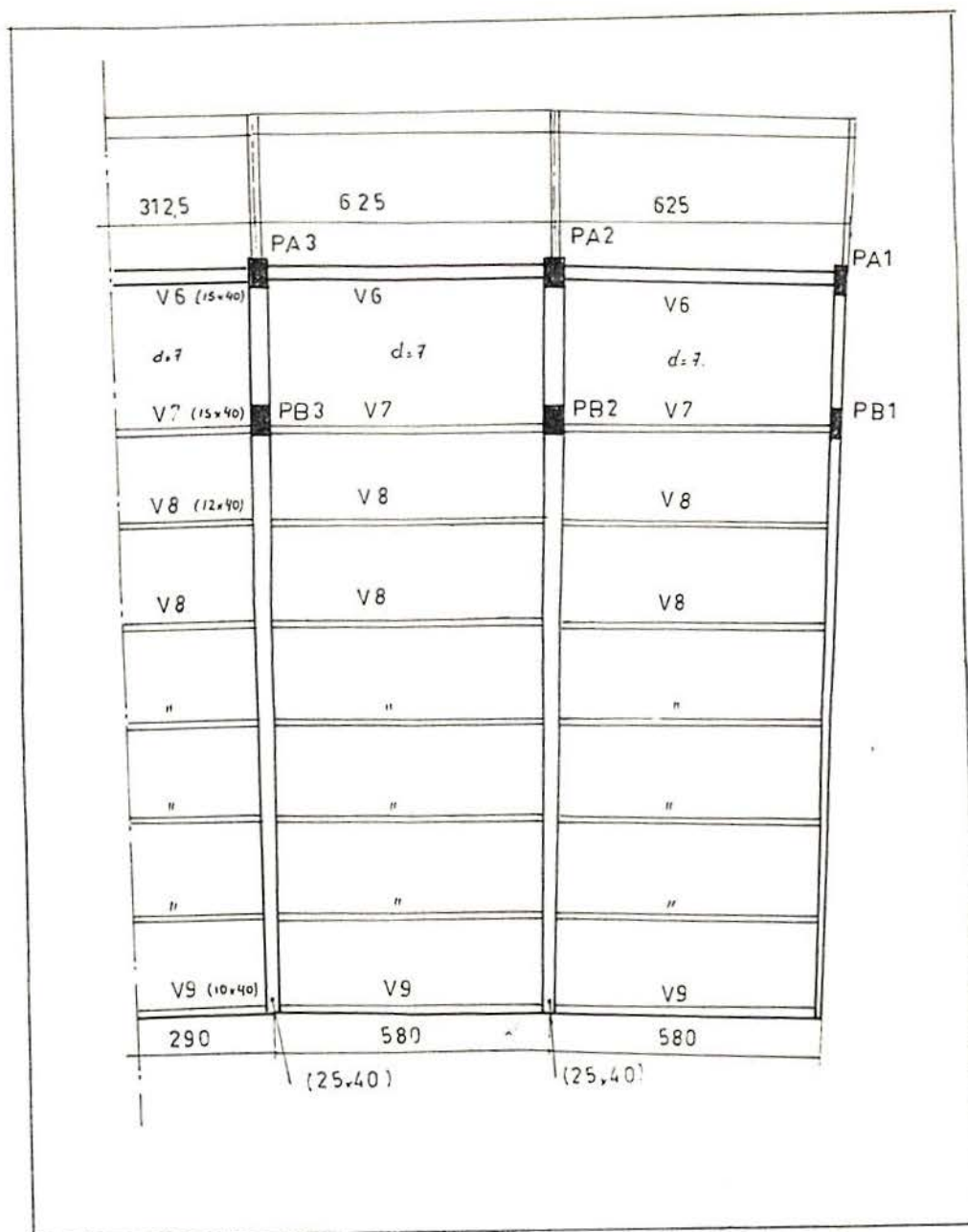


Figura 3.2: Vista superior da marquise do módulo. Dimensões de vigas e lajes, espessura dos pórticos.

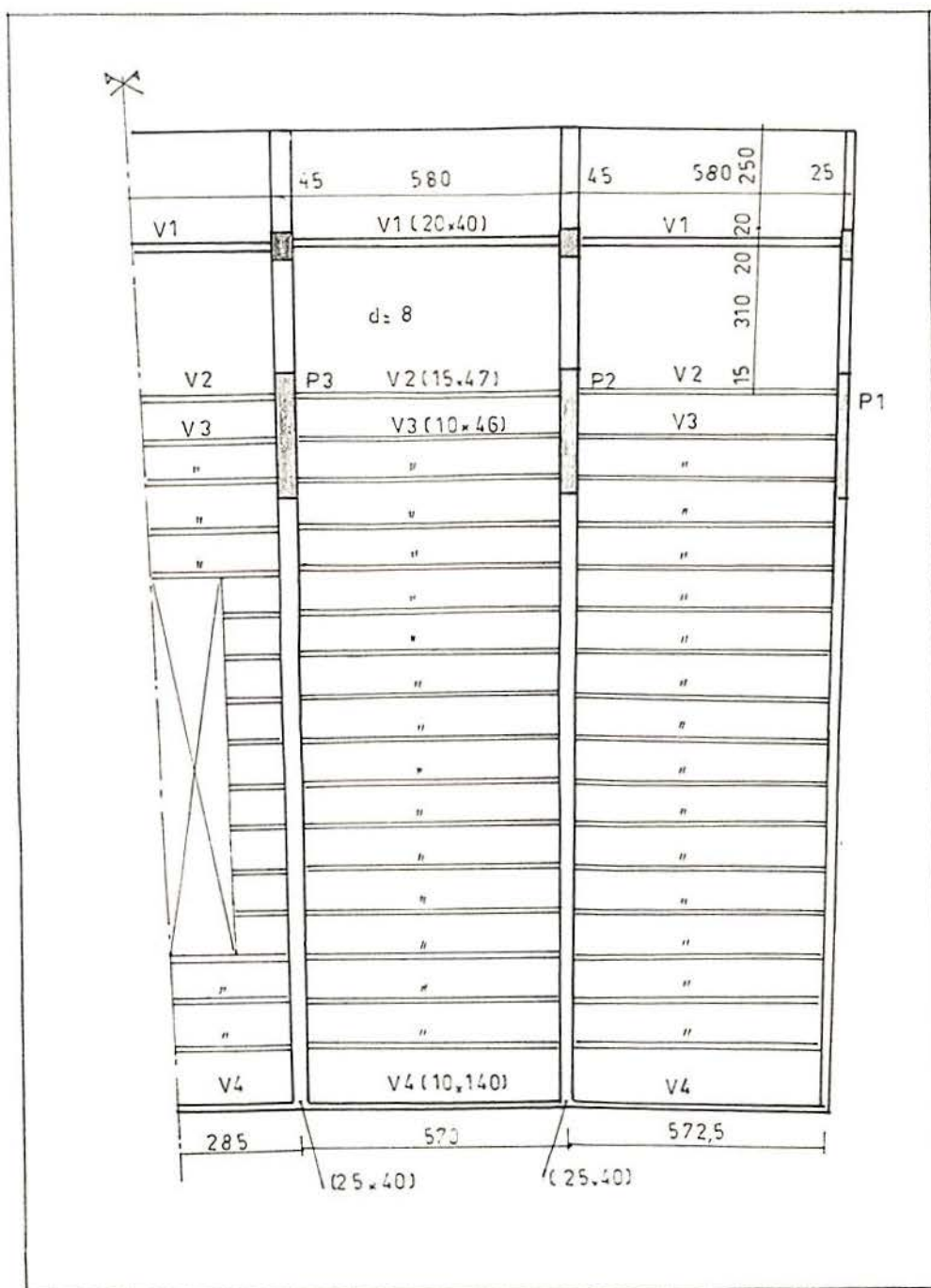


Figura 3.3: Vista superior da arquibancada. Dimensões das vigas e lajes, espessura dos pórticos.

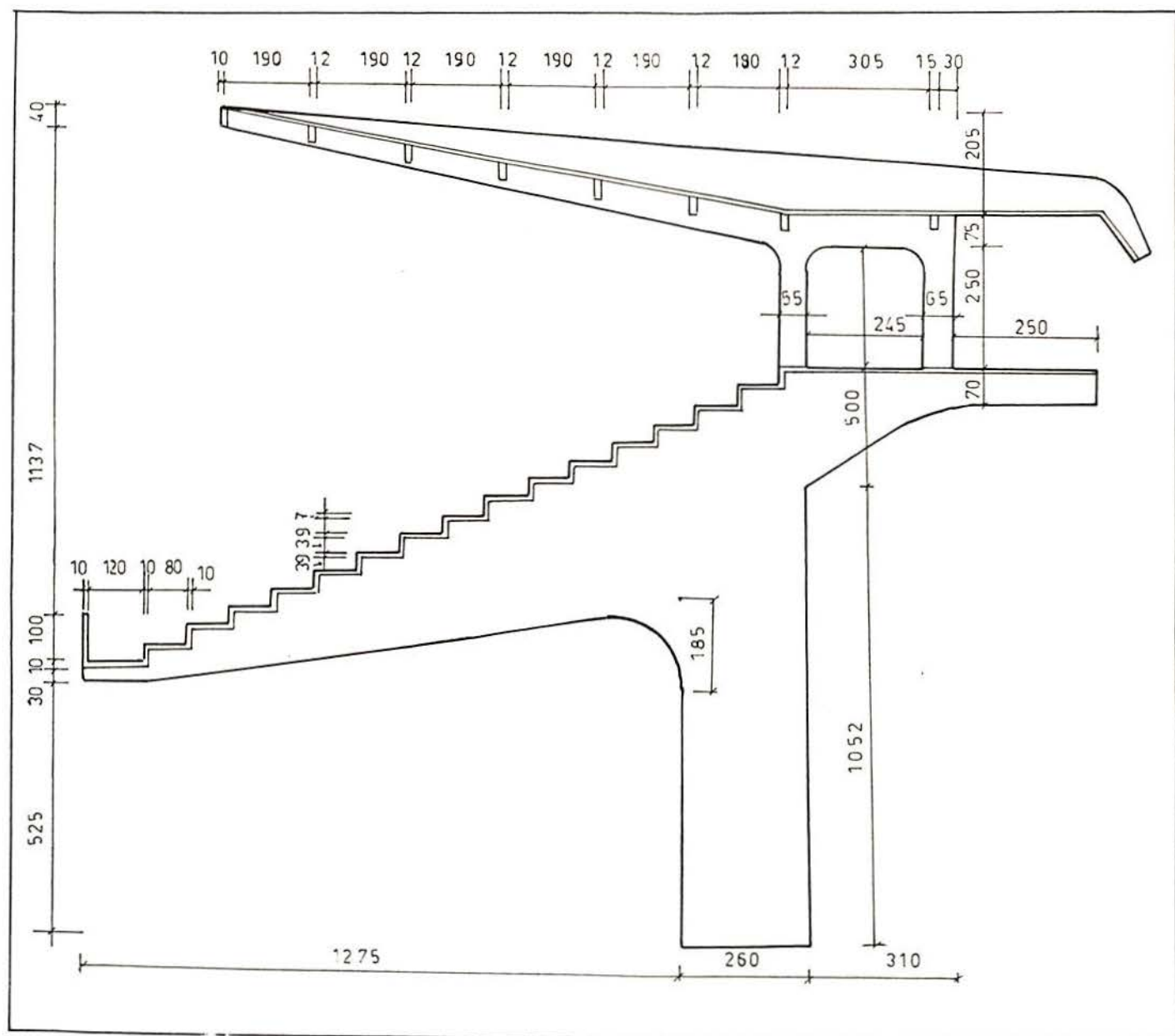


Figura 3.4: Esquema da geometria dos pórticos ensaiados.

3.2-FATORES QUE INFLUENCIARAM NA ESCOLHA DA ESCALA GEOMÉTRICA

A escolha da escala a usar para a confecção do modelo foi influenciada por uma série de fatores de diferentes pesos, indicados a seguir:

- a) Experiência prévia sobre o comportamento de outros modelos realizados em micro-concreto.
- b) Espaço físico disponível para a concretagem, cura, construção da base de fundação e execução dos ensaios.
- c) Razoabilidade das cargas a serem aplicadas com as condições de segurança, disponibilidade de dispositivos para a sua aplicação, etc.
- d) Disponibilidade comercial dos arames para a simulação da armadura.

Dos anteriormente mencionados, os fatores b e d foram os principais para a escolha da escala. Com efeito, para a simulação da armadura da estrutura real, ABDIAS (1976) estuda o uso de materiais como o cobre e o latão, chegando à conclusão de que este último é o mais adequado para o caso em estudo.

Posteriormente, WILLRICH (1992), emprega arame galvanizado para simular o comportamento do aço liso em uma estrutura de treliça.

Neste trabalho empregou-se também arame galvanizado, devido ao bom comportamento demonstrado por este material para simular o comportamento do aço CA 50 e CA 60 existentes na estrutura real.

Na tabela 3.1 apresenta-se a relação dos arames de aço galvanizado existentes no mercado.

Tabela 3.1: Relação de arames de aço galvanizado encontrados no comércio de Porto Alegre (1993).

ARAME (BWG)	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
DIÂMETRO (mm)	4,22	3,4	2,8	2,1	1,65	1,25	0,89	0,71	0,56	0,46

Com o objetivo de encontrar uma relação de escala entre a armadura empregada na estrutura real e no modelo, foi montada uma tabela auxiliar (tabela 3.2). Nela, dados os diâmetros das barras

de aço e várias relações de escala geométrica, encontram-se os respectivos diâmetros que poderiam ser utilizados em um modelo estrutural.

Tabela 3.2: Tabela auxiliar para a escolha de uma relação de escala.

BARRAS DE AÇO EXISTENTES		DIÂMETROS ENCONTRADOS A PARTIR DAS RELAÇÕES DE ESCALA INDICADAS (Valores em mm)									
DIÂMETRO		RELAÇÕES DE ESCALA									
(pol.)	mm	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	1/10	1/12.5	1/15	1/20	
1	25.4	5.08	4.23	3.63	3.18	2.82	2.54	2.03	1.69	1.27	
7/8	22.25	4.45	3.71	3.18	2.78	2.47	2.23	1.78	1.48	1.11	
3/4	19.05	3.81	3.18	2.72	2.38	2.12	1.91	1.52	1.27	0.95	
5/8	15.87	3.17	2.65	2.27	1.98	1.76	1.59	1.27	1.06	0.79	
1/2	12.7	2.54	2.12	1.81	1.59	1.41	1.27	1.02	0.85	0.64	
3/8	9.52	1.90	1.59	1.36	1.19	1.06	0.95	0.76	0.63	0.48	
5/16	7.94	1.59	1.32	1.13	0.99	0.88	0.79	0.64	0.53	0.40	
1/4	6.35	1.27	1.06	0.91	0.79	0.71	0.64	0.51	0.42	0.32	
3/16	4.76	0.95	0.79	0.68	0.60	0.53	0.48	0.38	0.32	0.24	

A escala adotada de acordo aos critérios anteriores foi 1:12,5.

3.3 COMPOSIÇÃO DOS MICROCONCRETOS

3.3.1 - INTRODUÇÃO

Para modelos que representem estruturas de concreto armado ou protendido muitas vezes não é possível o emprego de concreto comum na sua fabricação, porque são necessários agregados de menor tamanho. Nestes casos recorre-se ao emprego dos microconcretos.

Uma argamassa produzida sem critério, simplesmente pela mistura de areia e cimento, terá propriedades muito afastadas das do concreto real, e os resultados que serão obtidos não o representarão adequadamente.

Assim surge a necessidade de produzir um concreto de pequeno módulo de finura, mas que tenha características tais como

resistência à compressão e tração, módulo de elasticidade, retração, etc; semelhante aos concretos normais.

3.3.2 - CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS CONSTITUINTES DO MICROCONCRETO.

3.3.2.1 - CIMENTO

Foi empregado cimento comum, do tipo 320. Suas características são:

- Finura: 5,42%
- Início da pega: 2h 25 min
- Massa específica absoluta: 3,15 Kg/m³

3.3.2.2 - AGREGADOS

Como agregados foram utilizadas as frações resultantes do peneiramento (através da série de peneiras Tyler) da areia normal ou média, proveniente do Rio Guaíba. A massa específica da mesma foi de 2,62 kg/dm³.

3.3.2.3 - CLASSIFICAÇÃO DOS AGREGADOS PARA OS MICROCONCRETOS.

O microconcreto passou a ser identificado através da dimensão da malha da peneira imediatamente superior ao tamanho do maior agregado retido. Assim micro-concreto D= 1.2 mm é o que tem, como agregado, o composto pelas frações retidas nas peneiras 0.6 - 0.3 - 0.15 mm.

3.3 - DOSAGEM DOS MICROCONCRETOS.

Devido a que o microconcreto pode ser considerado como um concreto de módulo de finura reduzido, sua composição pode ser estudada pela mesma teoria adotada para concretos normais.

As formulações mais usuais na fixação dos parâmetros iniciais, visando a produção de um concreto são:

$$c = \frac{1000}{x + \frac{1}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a}} \quad (3.1)$$

$$1+a = 100 \frac{x}{H} \quad (3.2)$$

onde:

c - consumo de cimento por metro cúbico de mistura (kg/m³)

x - fator água-cimento;

a - traço em peso de agregado na mistura

H - quantidade de água na mistura em relação aos materiais secos (%)

γ_a e γ_c - massas específicas absolutas do cimento e do agregado, respectivamente (kg/dm³)

A chamada "Lei de Lyse" ou da constância da quantidade total de água no concreto, foi adotada como melhor forma de simplificar a determinação do traço do microconcreto. Uma vez que todo o material é de pequena granulometria, força evidentemente, os materiais secos combinados a terem uma alta superfície específica, em relação ao concreto comum.

O valor H foi adotado de acordo a trabalhos anteriores que levam em conta a resistência à compressão, a trabalhabilidade, visando uma fácil concretagem de microestruturas, bem como o tipo de adensamento a ser utilizado.

Tem-se assim a tabela 3.3

D (mm)	H (%)
4,8	10,00
2,4	10,90
1,2	13,00

3.4.1- DESDOBRAMENTO DO TRAÇO:

Uma vez conhecido o traço em peso (cimento/agregado) é necessário desdobrar os agregados nas diversas frações granulométricas, de modo que se tenha uma combinação de maior

compacidade possível. A superfície total dos grãos dos agregados deve ter o menor valor, portanto todos eles deverão ser envolvidos por uma partícula de cimento cuja quantidade diminui com a referida superfície.

Para os concretos normais, a dosagem ótima é obtida através de granulometrias recomendadas por ABRAMS, FULLER, LOBO CARNEIRO e outros. Para haver uma boa compacidade, essas curvas foram feitas de forma que os vazios entre os maiores agregados fossem preenchidos pelos menores, e destes por menores ainda, continuando o processo até chegar ao envolvimento dos menores agregados pelo cimento. Nota-se que, para microconcretos a diferença entre maior e menor material seco é relativamente pequena. Isto significa que, aplicando-se as curvas granulométricas do concreto normal, não se terá um microconcreto compacto. Os traços determinados através das curvas granulométricas normais conduziram a um microconcreto com alto fator água/materiais secos, e conseqüentemente, baixas resistências mecânicas, porque o seu fator água-cimento aumenta.

Baseados nos conceitos anteriores determina-se um ponto A, que ao ser ligado à origem da curva granulométrica, intercepta as colunas das aberturas das peneiras, determinando os percentuais de cada fração de areia, como na figura 3.5

$$X = D/2 \quad , \quad Y = 50 - \sqrt{D} + K$$

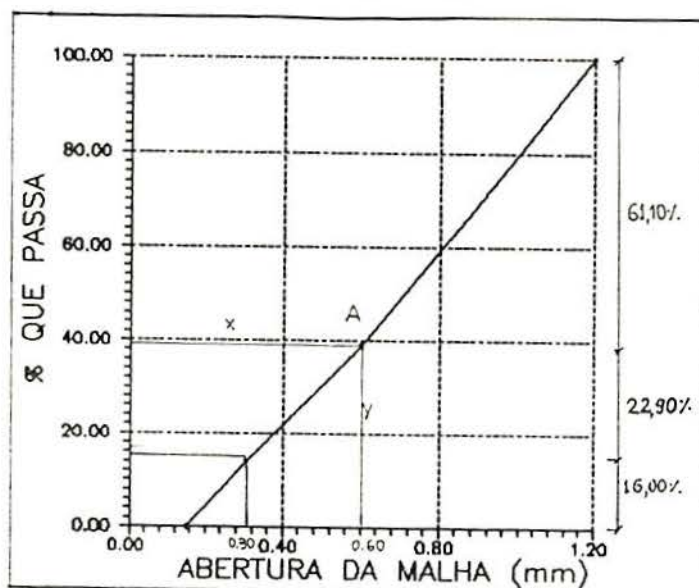


Figura 3.5: Localização do ponto A.

Tabela 3.4: Fator K em função do consumo de cimento.

CONSUMO DE CIMENTO (Kg/m ³)	K
600	-10
550	-8
500	-6
450	-4
400	-2
350	0
300	+2

ONDE:

D- tipo do microconcreto

k- parâmetro fornecido pela tabela 3.4 em função do tipo de agregado e do consumo de cimento.

3.4- CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO ADOTADO

Para a determinação das características do microconcreto a ser empregado, foi necessário determinar a resistência à compressão do concreto da estrutura real. Com esse objetivo foram realizados ensaios "in situ" com Esclerômetro; para o mesmo foram seguidas as indicações da NBR7584 (1982).

Os resultados dos índices esclerométricos obtidos encontram-se detalhados na tabela 3.5. Segundo a mesma, a segunda média dos índices esclerométricos é 46,25; a qual corresponde, de acordo com a calibração do esclerômetro, a uma tensão média $f_{cj}=400$ kg/cm². A resistência à compressão média obtida anteriormente foi empregada para a dosificação do microconcreto.

De acordo ao processo recomendado por Klein (1985) corresponde o emprego de uma relação água-cimento $x= 0.40$.

Dentro dos tipos de microconcretos utilizados no meio,

adotou-se o $D = 1.2$ mm, a fim de confeccionar um microconcreto cujos agregados possam cobrir os espaços existentes entre os arames. O diâmetro 1.2 mm corresponde a agregados de até aproximadamente 2 cm na escala natural.

Tabela 3.5: Índices esclerométricos obtidos na estrutura real.

MÓDULO	PORTICO: LADO	ÍNDICES ESCLEROMÉTRICOS									1ª MED.	2ª MED.	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
4	3	1	40	40	42	44	40	40	42	38	41	40.77	40.77
4	3	2	44	52	46	40	50	48	46	45	40	40.77	44.84
5	3	1	42	43	46	44	43	43	42	41	43	43	43
5	3	2	41	43	41	49	46	48	46	46	50	45.55	45.55
6	2	1	46	50	56	48	56	52	42	56	50	50.66	51.75
6	2	2	42	46	41	40	42	44	52	42	52	45.66	42.83
7	1	1	50	50	46	48	51	44	48	51	46	48.22	48.22
7	2	1	52	54	56	50	59	49	52	52	53	52.22	52.22
7	2	1	44	52	44	42	52	50	40	52	52	47.55	49.43
9	5	1	48	50	54	52	52	45	53	50	45	48.89	48.89
9	5	2	53	52	51	52	53	54	52	53	54	52.66	52.66
10	6	1	38	36	40	40	38	40	38	40	41	39	39
10	6	2	41	42	40	38	39	41	36	39	44	40	40
												1ª MED.	46.55
												2ª MED.	46.25

A areia empregada foi obtida pelo peneiramento de areia do rio Guaíba; e o cimento foi o portland normal.

O processo para a dosificação foi o seguinte:

- Cálculo do traço (a):

De acordo à tabela 3.2 foi adotado $H = 13\%$

$$a = \frac{100X}{H} - 1 \quad (3.3)$$

$$a = 2,08$$

logo o traço adotado foi 1:2,08

- Cálculo do consumo de cimento:

$$C = \frac{100}{1+a} \quad (3.4)$$

$$C = 32,42\%$$

o que corresponde a:

$$C = 660,25 \text{ Kg/cm}^3 \text{ .Da fórmula (3.1)}$$

- Cálculo do consumo de agregado:

$$a = 67,53\%$$

- Determinação da granulometria:

O ponto A mencionado anteriormente tem como coordenadas:

$$X = 1,2/2 = 0,6 \text{ mm e } Y = 50 - \sqrt{1,2} - 10 = 38,90\%$$

De acordo com a figura 3.5, tem-se:

de 1,2mm a 0,6mm...61,10%

de 0,6mm a 0,3mm...22,90%

de 0,3mm a 0,15mm...16,00%

A tabela 3.6 mostra as proporções em que intervêm cada uma das frações granulométricas da areia, do cimento e da quantidade de água necessária.

Tabela 3.6: Composição do microconcreto adotado.

MATERIAIS	TRAÇO (PESO)	TRAÇO (%)	CONSUMO
Cimento	1	32,47	660,25
Agreg.0,6mm	1,270	41,25	838,52
Agreg.0,3mm	0,434	14,11	286,55
Agreg.0,15mm	0,374	12,16	247,28
Água	0,40	13	264,1

Com o objetivo de verificar se o microconcreto atingiu a resistência média requerida, foram moldados 5 corpos de prova para cada um dos pórticos concretados, os quais foram curados em câmara úmida durante 28 dias e logo ensaiados.

A tabela 3.7 mostra os resultados obtidos.

3.5 - ARMADURA

Para o presente trabalho, realizou-se um estudo através de ensaios à tração de arames de aço galvanizado para determinar se as tensões de escoamento e ruptura são aproximadamente as mesmas do que as do aço C50-C60, empregados para a construção da estrutura real.

A tabela 3.8 mostra os resultados dos ensaios de tração. Os dados para calibre 16 e 18 correspondem a ensaios efetuados para o presente trabalho, sendo os restantes tirados do trabalho de Willrich.(1993)

Tabela 3.7: Resultados dos ensaios nos corpos de prova.

PÓRTICO	Número	Carga (N)	Tensão
1	1	87000	443,42
1	2	91000	463,81
1	3	85000	433,01
1	4	79000	402,44
1	5	90000	458,48
		Tensão média	440,23
2	1	82300	419,15
2	2	88000	448,18
2	3	63000	320,86
2	4	73000	371,79
2	5	78000	397,25
		Tensão média	391,44

Tabela 3.8: Resultados de ensaios de tração dos arames.

BWG	Φ (mm)	Área (mm ²)	Pe(N)	Pr(N)	σ_e (dN/cm ²)	σ_r (dN/cm ²)
12	2.80	6.16	2900	3250	4707.7	5275.9
12			3000	3300	4870.1	5357.1
14	2.10	3.46	1500	1670	4777.1	5318.5
14			1300	1650	4140.1	5254.7
16	1.65	2.14	900	1240	4205.6	5794.4
16			880	1200	4112.5	5607.4
18	1.25	1.25	540	680	4320	5440
18			560	730	4480	5840

De acordo com a escala escolhida, os diâmetros necessários e adotados encontram-se detalhados na tabela 3.9.

Para a simulação das barras de 4,2mm e 7,2mm, devido à inexistência de diâmetros comerciais, foi necessário fazer considerações que incluam o diâmetro e a separação dos arames.

Os arames foram soldados com estanho a fim de mantê-los unidos em suas respectivas posições.

Foram efetuados ensaios de tração para determinar se a solda com estanho influencia nas tensões dos arames, detectando-se que não há nenhuma modificação.

Tabela 3.9: Diâmetros dos arames adotados.

Diam.(pol)	Diam.(mm)	$\phi_{nec. Esc1:7.5}$	$\phi_{disp.}$	BWG disp.
3/4	19.05	1.56	1.65	16
5/8	15.87	1.27	1.25	18
1/4	6.35	0.48	0.46	26
3/16	4.76			

As figuras 3.6, 3.7, 3.8 e 3.9 mostram alguns detalhes da armadura realizada em arame galvanizado com soldas de estanho.

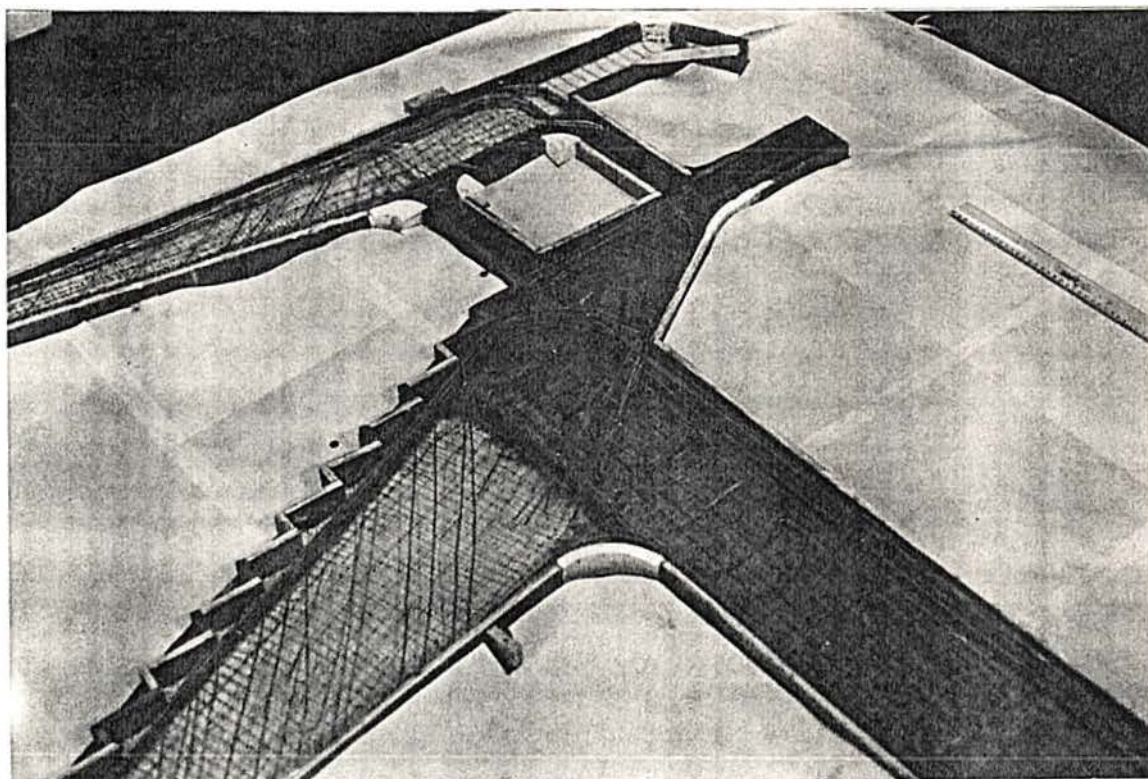


Figura 3.6: vista da armadura do modelo.

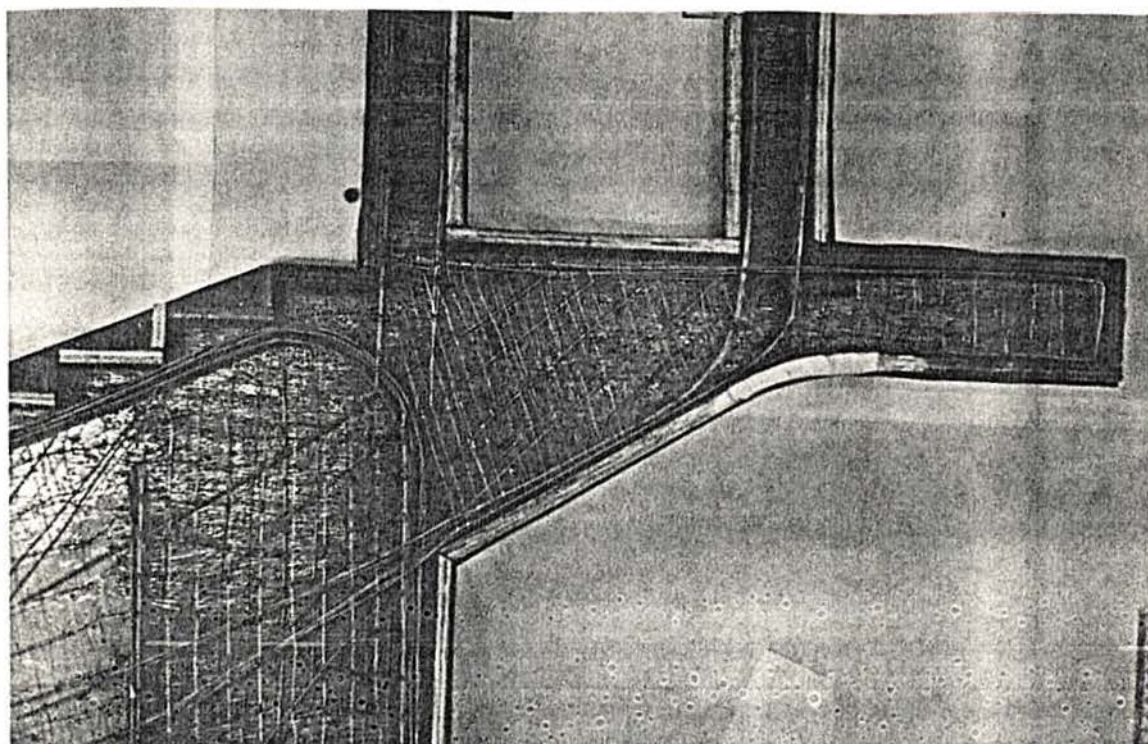


Figura 3.7: Armadura de encontro da marquise com as colunas.

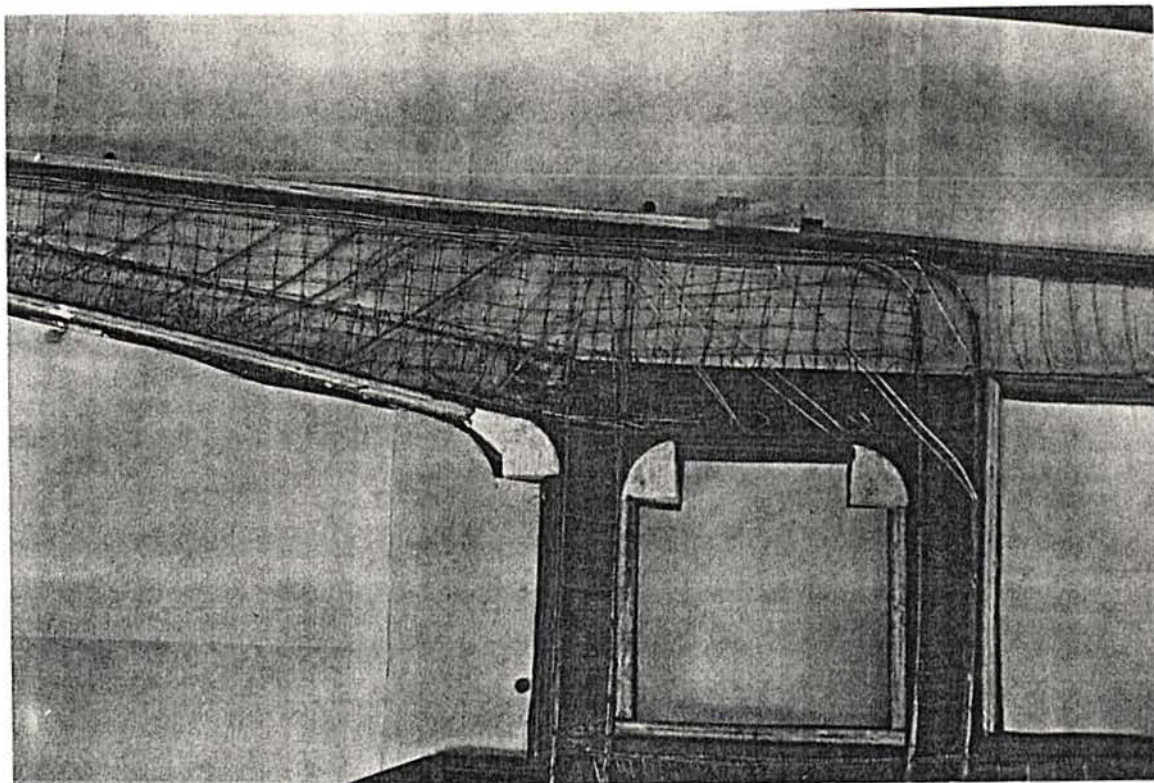


Figura 3.8: Detalhe da armadura do modelo.

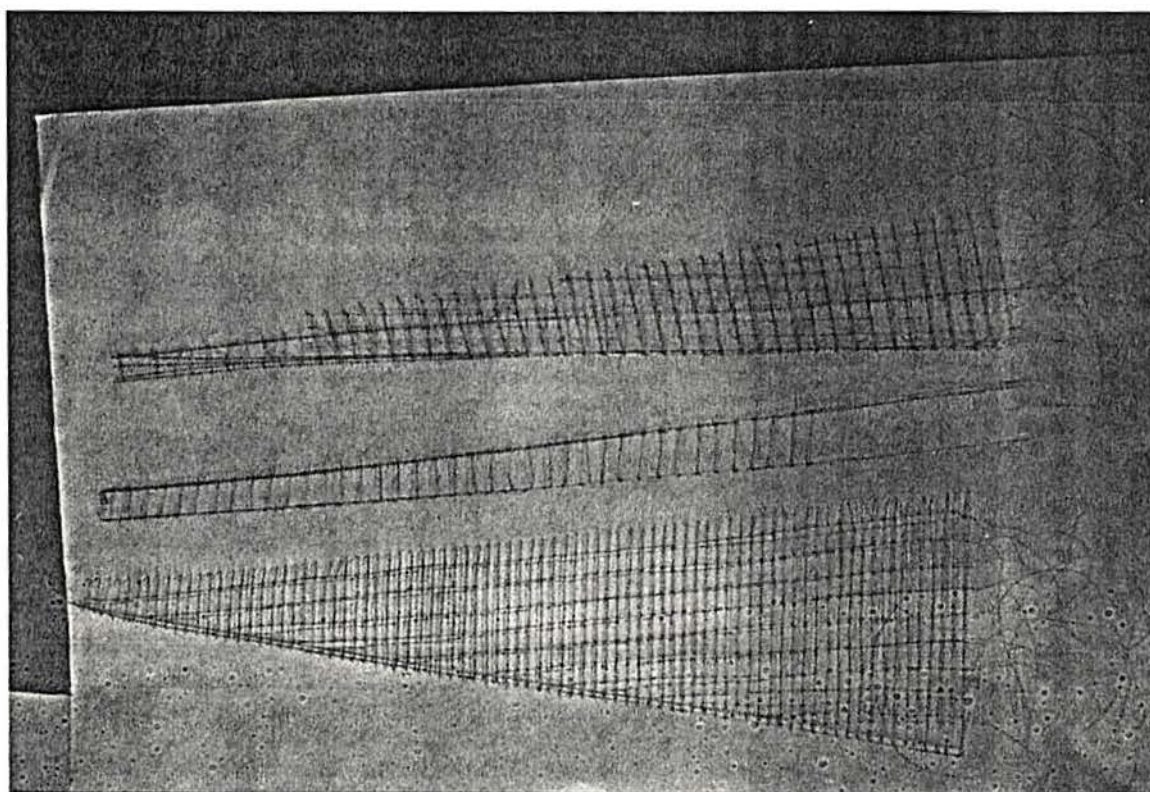


Figura 3.9: Armadura empregada como estribos.

3.6 - FORMAS

As formas dos dois pórticos, assim como também as das lajes da arquibancada e da marquise foram realizadas em compensado resinado de 10 mm de espessura.

Para modelar as partes curvas e os desníveis que mantêm a simetria do pórtico, foi empregado gesso.

Como material impermeabilizante e desmoldante foi usado verniz marinho em três camadas.

3.7 - CONCRETAGEM

A concretagem foi realizada em várias etapas. Primeiro um pórtico, depois de 30 dias o segundo, a fim de poder empregar a mesma forma. A figura 3.10 mostra o processo de concretagem de um dos pórticos.

Posteriormente foram levantados os dois pórticos e colocados no lugar de ensaio, onde foram fixados a uma base rígida que tinha as dimensões indicadas na figura 3.11.

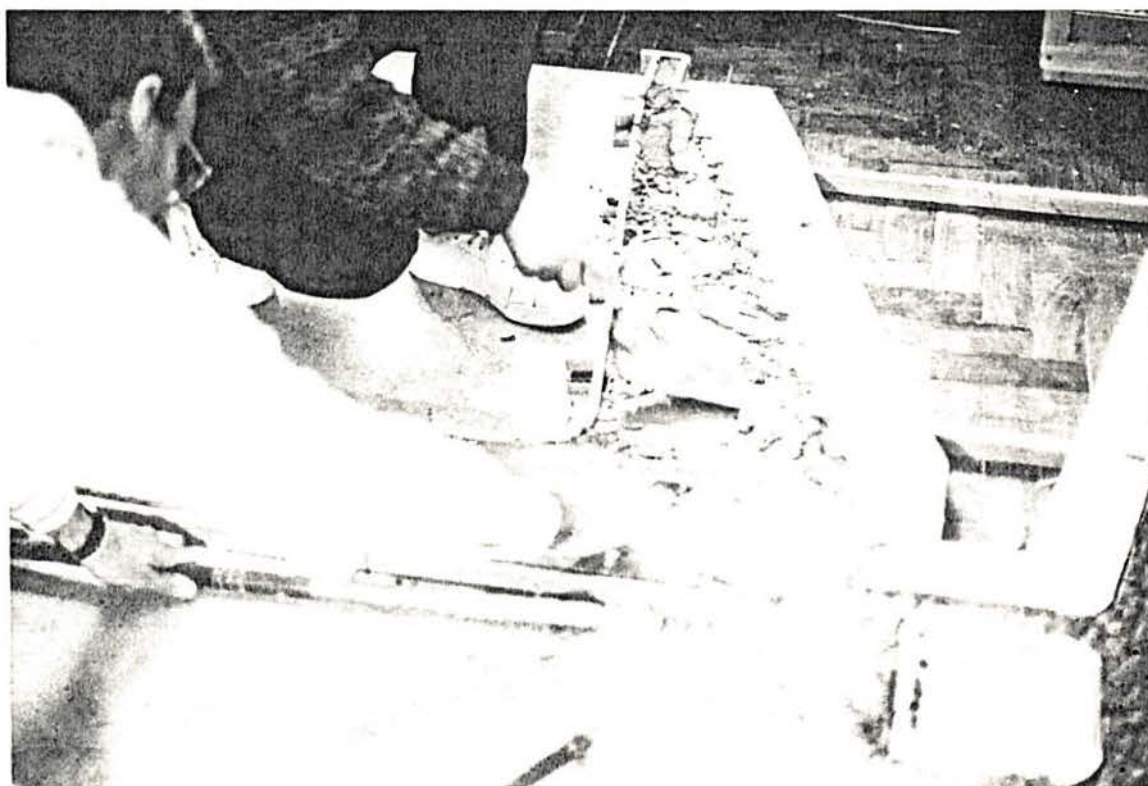


Figura 3.10: Concretagem de um dos pórticos do modelo.

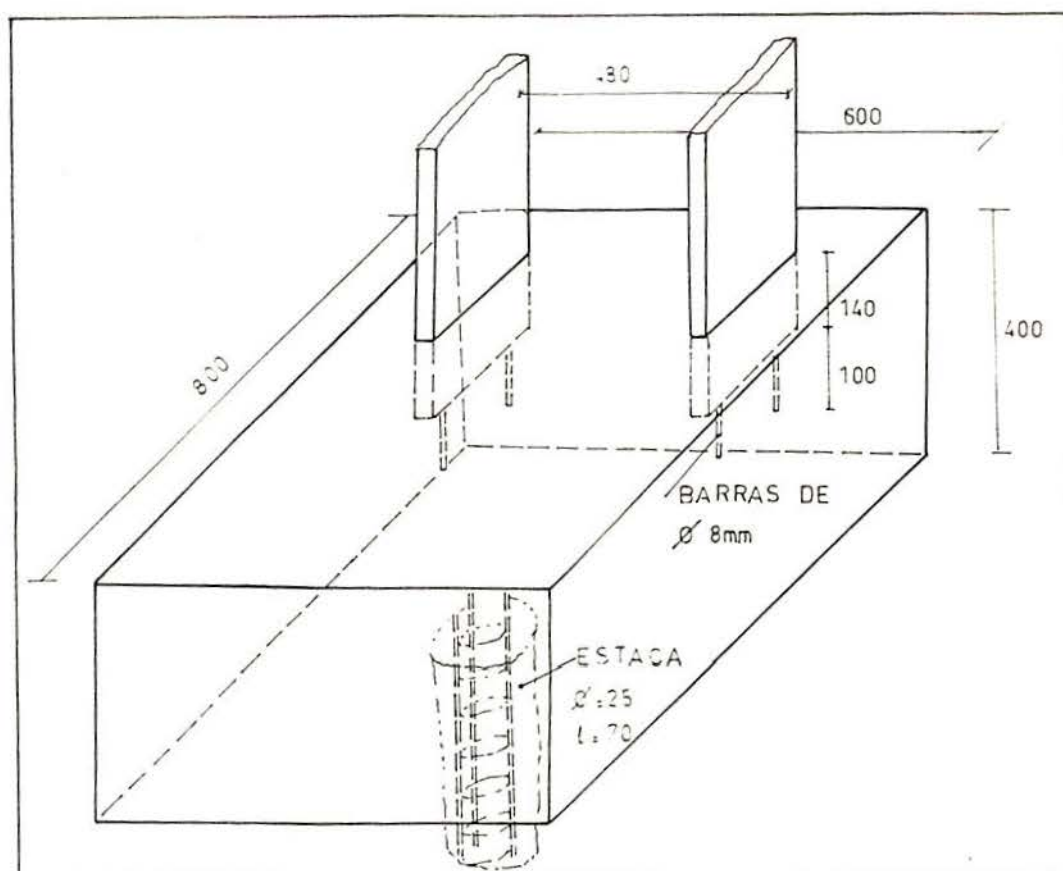


Figura 3.11: Esquema da base de fundação do modelo.

O pórtico de carga foi adequadamente ancorado no bloco de fundação dos pórticos.

As figuras 3.12 e 3.13 mostram os dois pórticos fundados na sua base, assim como também o pórtico de carga.

A laje da arquibancada foi concretada em tramos de dois ou três degraus e a laje da marquise em tramos de aproximadamente 20 cm, e posteriormente, foram coladas aos pórticos mediante o emprego de ARALDITE ultra-rápido.

Somente nos pórticos foi empregado vibrador mecânico. Para as outras partes (base e lajes) foi empregada a compactação através de uma barra de aço.

3.8 - CURA

O processo de cura de ambos os pórticos, assim como também das lajes da arquibancada e da marquise foi realizado através do umedecimento contínuo mediante o emprego de panos molhados. Este procedimento foi aplicado por 25 dias nos pórticos e aproximadamente uma semana para as lajes e vigas.

As figuras 3.14 e 3.15 mostram o modelo com as lajes já coladas e o pórtico para a aplicação da carga.

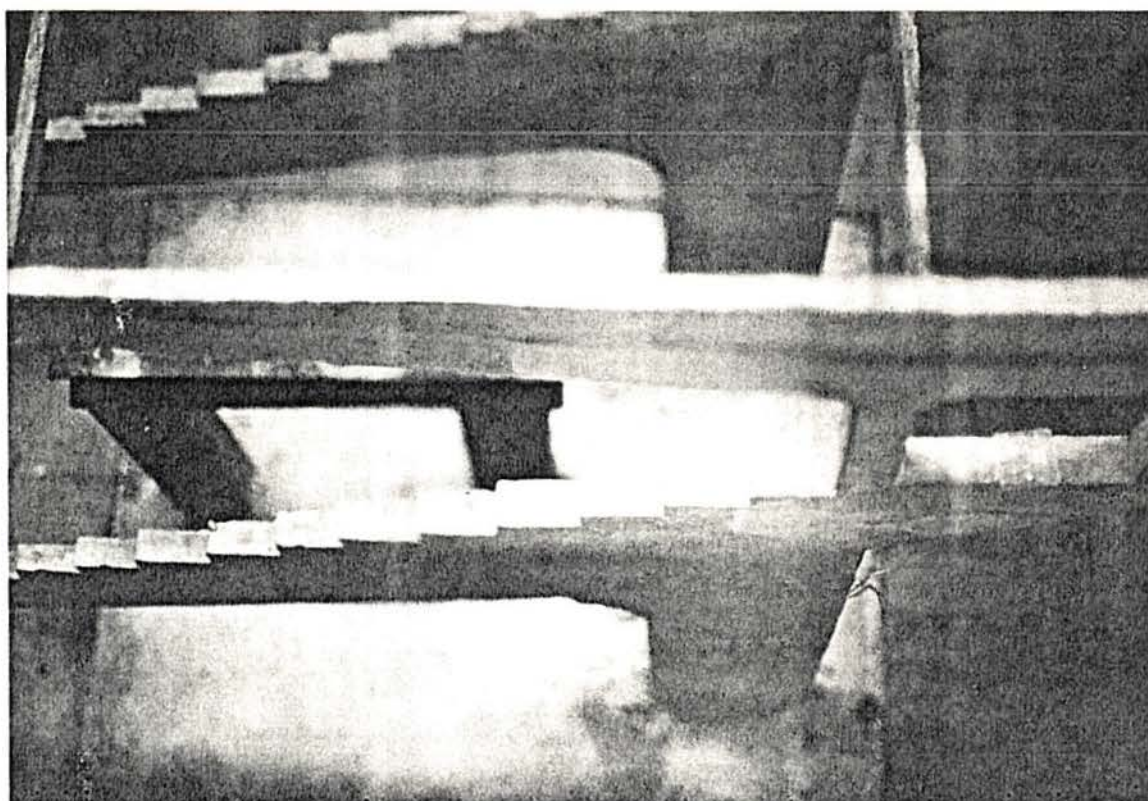


Figura 3.12: Vista superior dos pórticos

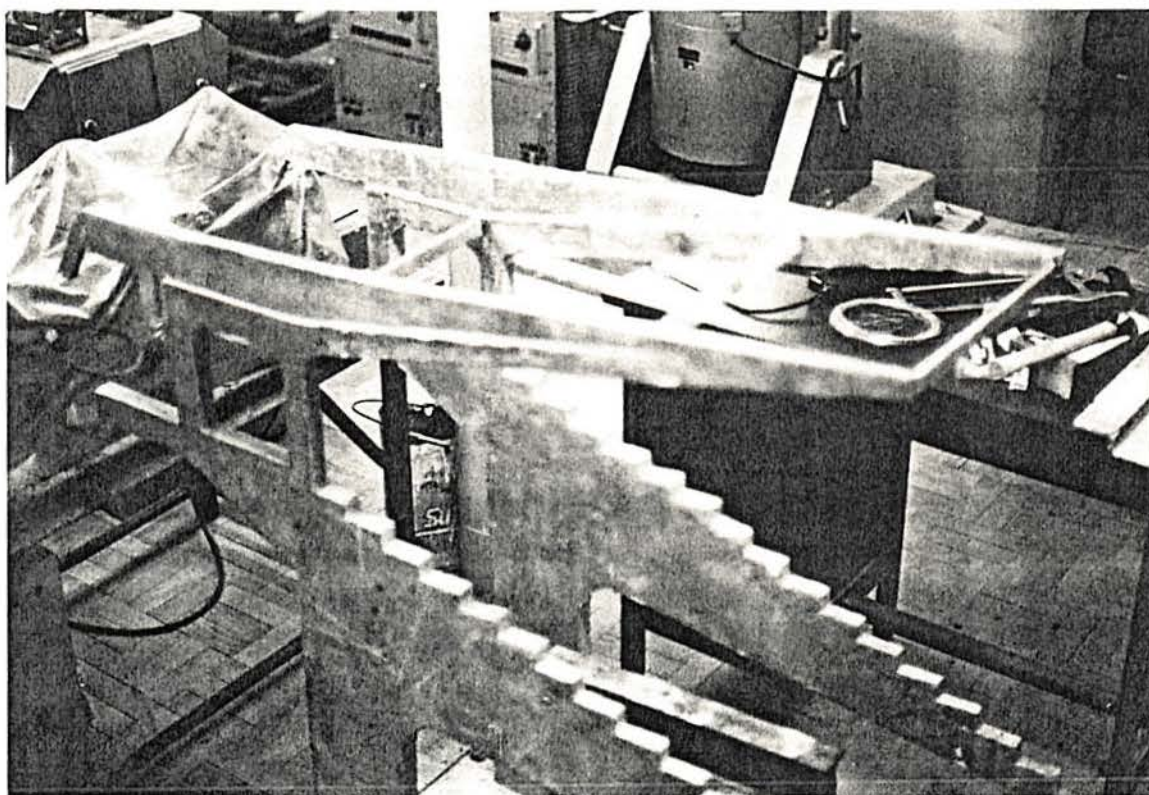


Figura 3.13: Vista dos pórticos.

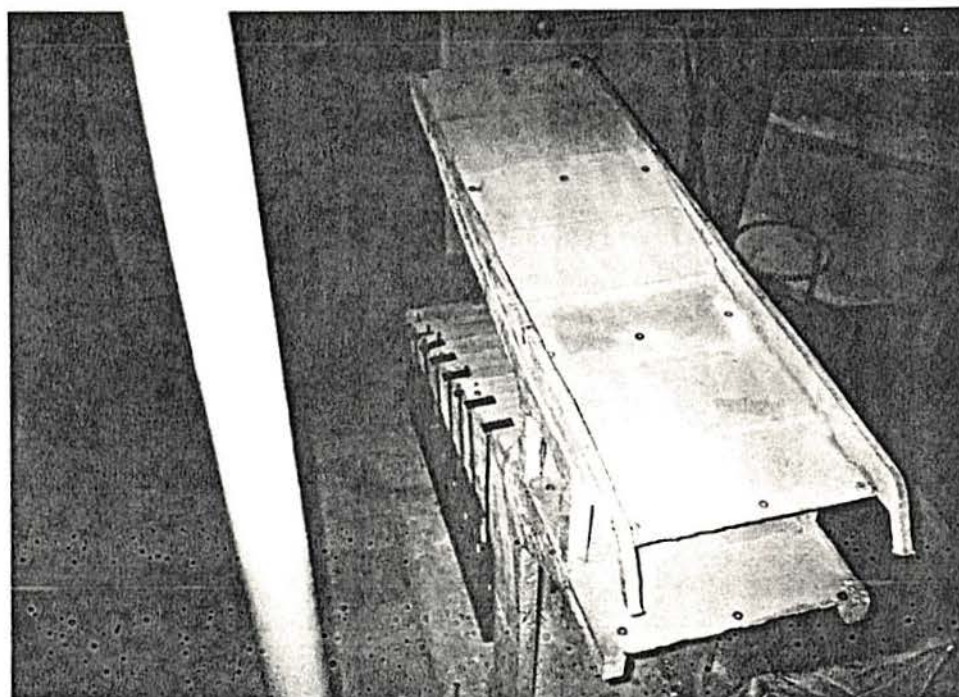


Figura 3.14: Vista superior do modelo completo.

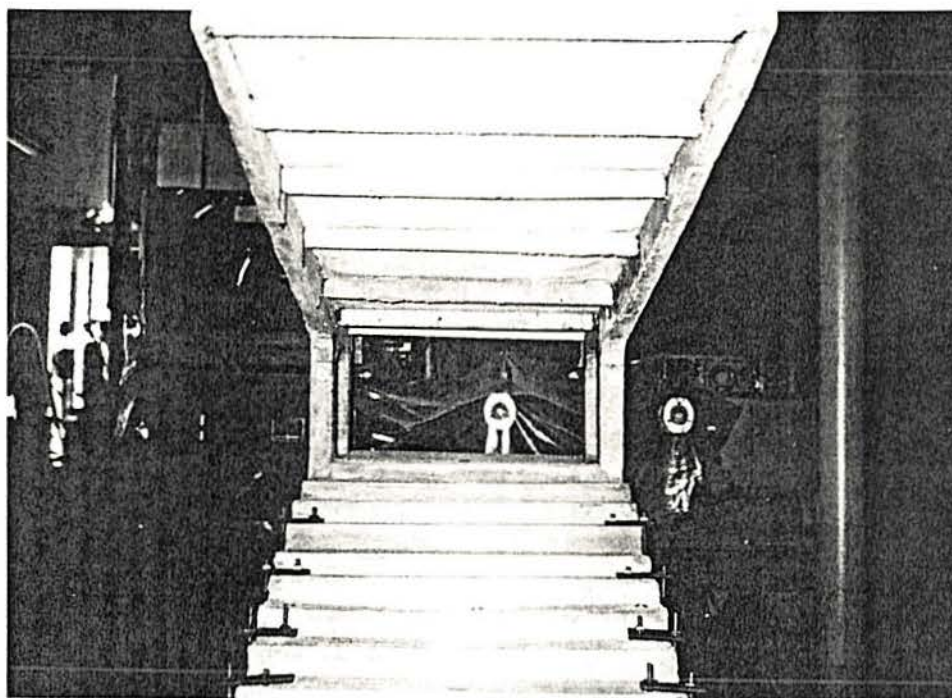


Figura 3.15: Vista frontal do modelo completo.

4 - INSTRUMENTAÇÃO E ENSAIOS

4.1 - INSTRUMENTAÇÃO:

No estudo de vibrações existe uma ampla variedade de transdutores aplicáveis. Estes transdutores podem ser vibráteis ou oscilatórios, elétricos, mecânicos, óticos ou de análise de imagens.

De acordo à disponibilidade de espaço, condições ambientais, tipo de dados necessários, etc., podem-se empregar LVDTs (Linear Variable Differential Transformer), sensores de deformação (Strain Gages) e acelerômetros, entre outros. Estes transdutores podem ser empregados isoladamente ou em conjunto, para dar maior nível de detalhe das medições.

No caso dos modelos reduzidos deve-se ter muito cuidado na escolha de transdutores adequados, e fundamentalmente, o seu tamanho para que a sua massa não interfira significativamente no comportamento estrutural do sistema.

A tabela 5.1 mostra os tipos de transdutores e instrumentos de registro e análise de dados.

Tabela 4.1: Descrição dos instrumentos empregados nos ensaios.

DESCRIÇÃO	QUANT.	MARCA	MODELO
Acelerômetro	02	Brüel & Kjær	4339
Acelerômetro	01	Brüel & Kjær	4332
Analisador de ondas	01	Brüel & Kjær	2034
Gravador Digital	01	Brüel & Kjær	7400
Registrador XY	01	HP	7045A

No presente trabalho foram empregados *Acelerômetros*, que consistem em sensores piezoelétricos para a medição de acelerações, os quais têm a vantagem de serem fáceis de fixar na

superfície do modelo permitindo maior rapidez de execução do ensaio escolhido, comparado com outros instrumentos que poderiam ser utilizados.

O acelerômetro tipo 4339 possui massa de 16 g e o 4332 de 30 g, as quais podem ser consideradas desprezíveis frente à massa do pórtico de aproximadamente 100 Kg. Deste modo consegue-se manter reduzido o erro provocado pela massa adicional dos acelerômetros.

4.2 - METODOLOGIA DO ENSAIO SEM CARREGAMENTO

No modelo, o pórtico foi ancorado em uma base de fixação de aproximadamente 650 Kg de massa, que foi considerada adequada como base de inércia.

O objetivo do ensaio sem carregamento foi de determinar as características dinâmicas do modelo de microconcreto, sem nenhum tipo de carga diferente do peso próprio do mesmo.

Devido a grande massa do modelo, não foi possível ensaiá-lo sobre a mesa vibratória disponível no Laboratório de Vibrações e Acústica (LVA), por isso, optou-se pelo método de excitação através de impacto. Dito impacto foi aplicado por meio de um martelo de borracha de 100g de massa em diferentes pontos, de acordo com os tipos de modos que se queria obter.

Assim a principal vantagem do método é a ampla faixa de frequências que podem ser excitadas, permitindo assim a obtenção de vários modos de vibração. Os impactos devem ser aplicados em pontos onde não existem nodos (pontos de deslocamento nulo), para ter certeza de que não se impedirá a obtenção de um dos modos.

Na figura 4.1 mostram-se os pontos escolhidos para as medições da aceleração na direção vertical; na figura 4.2 os pontos correspondentes à direção horizontal normal ao eixo da estrutura e na figura 4.3 os correspondentes à direção horizontal coincidente com o eixo da estrutura. Nestas figuras mostram-se os pontos que foram tomados como de referência e os de varredura.

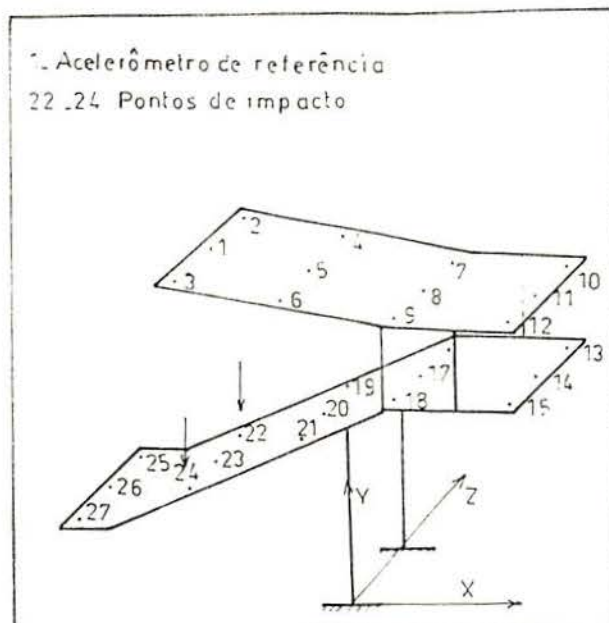


Figura 4.1: Posição dos acelerômetros para a direção vertical.

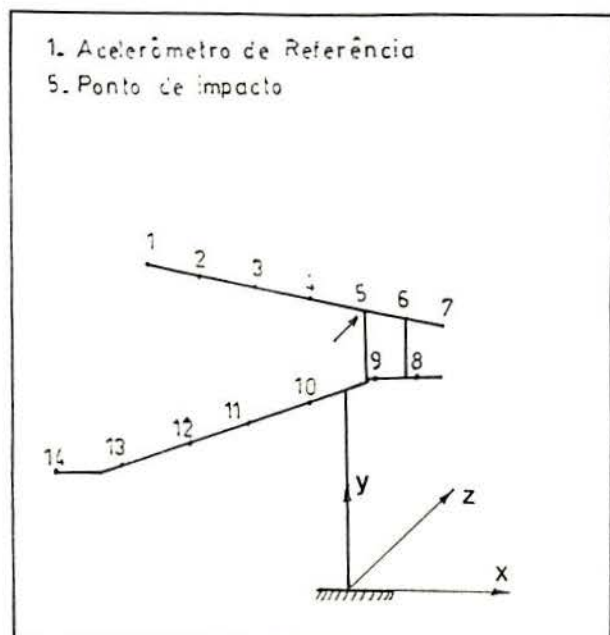


Figura 4.2: Pontos na direção horizontal normal.

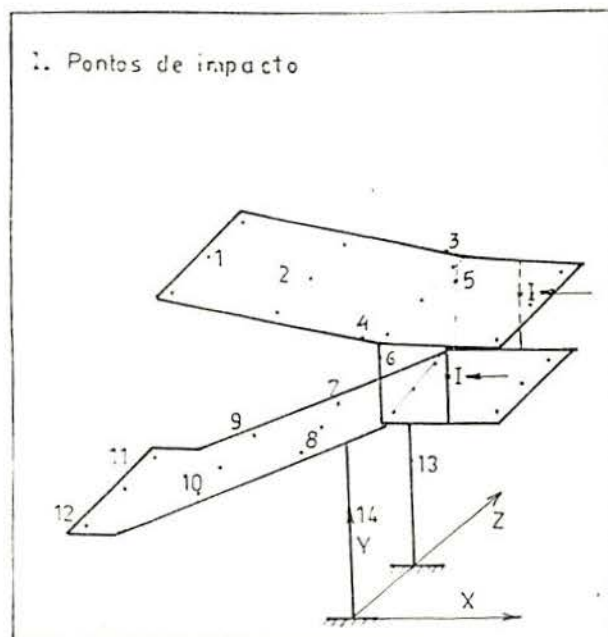


Figura 4.3: Pontos na direção horizontal.

Faz-se necessário definir alguns conceitos de funções utilizadas no ANALISADOR DE FOURIER para a determinação das propriedades dinâmicas do modelo e conseqüentemente da estrutura real.

* Espectro Instantâneo (INST. SPEC. CH.A or CH.B): Esta função é a transformada de Fourier do sinal no tempo levando-o para o domínio da freqüência. Dentro desta função o analisador de Fourier permite desenhar diferentes partes como por exemplo: fase, magnitude, parte real, parte imaginária, etc., das quais foram usadas a magnitude e a fase.

A magnitude da função Espectro Instantâneo pode ser plotada com escala vertical em decibéis (dB) ou linear.

A escala vertical linear é empregada para extrair as freqüências naturais do modelo e a amplitude de cada uma das ondas associadas a ditas freqüências. As freqüências naturais correspondem aos picos do diagrama.

A figura 4.4 mostra um esquema do espectro instantâneo para os canais A (acelerômetro de referência) e B (acelerômetro de varredura).

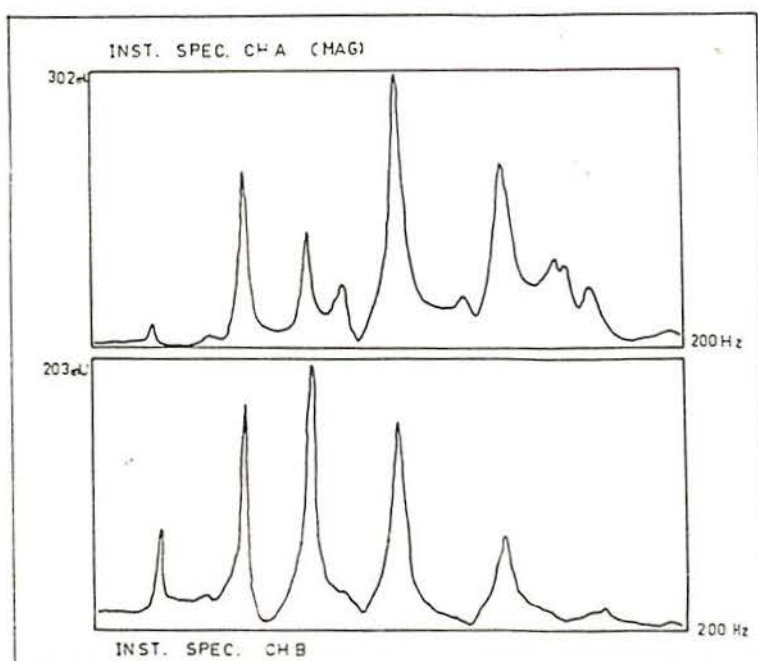


Figura 4.4: Espectro Instantâneo Canais A e B (Magnitude)

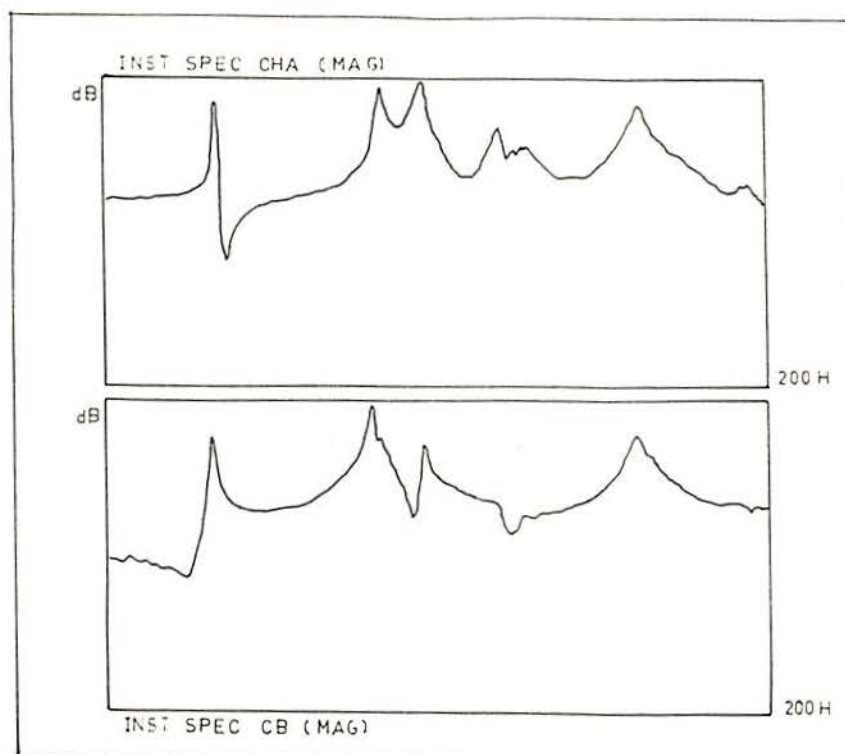


Figura 4.5: Espectro Instantâneo Canais A e B (decibéis).

A escala vertical em decibéis é empregada para obter a largura de faixa a meia altura de um determinado pico, associado à frequência natural de um dado modo de vibração, aqui representada como a largura de faixa a três decibéis abaixo do mesmo. O decibel é definido como:

$$N(\text{dB}) = 20 \log_{10} (a/a_{\text{ref}}), \quad \text{onde } a_{\text{ref}} = 10^{-06} \text{ m/s}^2$$

A figura 4.5 mostra o espectro instantâneo com a escala vertical em decibéis dos canais A e B, e a figura 4.6 a largura de faixa de um pico associado à frequência natural de um modo de vibração qualquer.

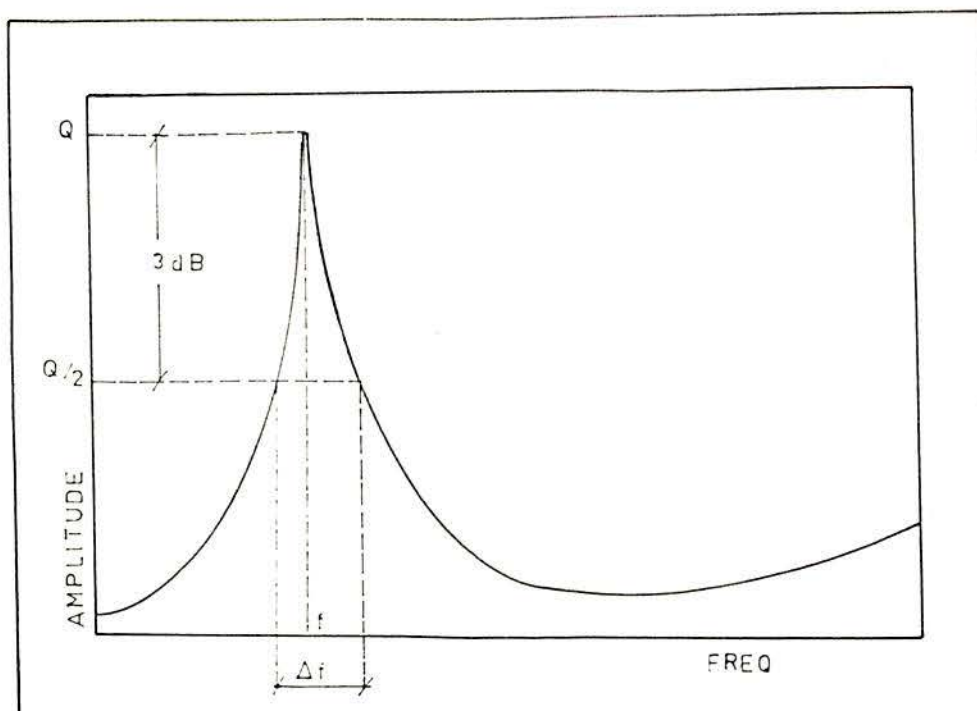


Figura 4.6: Largura de faixa a 3 dB.

O espectro instantâneo de fase é empregado para saber se duas ondas associadas a uma mesma frequência encontram-se em fase (0° , mesmo sentido de deslocamento) ou fora de fase (180° , sentido de deslocamento oposto).

A metodologia de ensaio empregada para a obtenção dos dados do modelo é a seguinte:

Mediante o emprego de cera de abelha e/ou cola cianocrilato colou-se o acelerômetro de referência nos pontos indicados nas figuras 4.1, 4.2 e 4.3 segundo a direção em estudo. Dito acelerômetro foi conectado ao canal A do Analisador de Fourier. Da mesma forma, colou-se o acelerômetro de varredura nas posições indicadas nas figuras antes mencionadas. O mesmo foi conectado no canal B do analisador.

Uma vez feita a verificação de todo o sistema, procedeu-se a dar um impacto segundo a direção respectiva e nos pontos indicados nas figuras 4.1, 4.2 e 4.3. A excitação provocada pelo impacto foi transmitida pelos acelerômetros para o analisador na

forma de sinal elétrico que foi digitalizado e armazenado na memória do mesmo.

No Analisador de Fourier com as funções anteriormente definidas podem ser geradas informações necessárias para cada ensaio, tais como: a) Freqüências naturais do modelo, b) a amplitude da onda associada a cada uma dessas freqüências, a qual é definida por picos nos espectros instantâneos de ambos canais, c) a largura dos picos a meia altura destes, d) o ângulo de fase dos sinais para ambos canais.

Feita a medição para um dos pontos de varredura, continuou-se com os outros. Completados todos os pontos de um sentido, colocou-se novamente o acelerômetro de referência em outro sentido e iniciou-se novamente o processo de impacto e registro.

Os dados obtidos foram levados a planilhas, nas quais foram organizados de acordo ao ponto considerado e à freqüência. Esses dados são a amplitude da onda e a fase para os dois canais e as amplitudes dos picos de acelerações a meia altura, definidas como uma diferença de freqüências a três decibéis abaixo do pico analisado (Δf 3db). Na última coluna destas planilhas encontra-se o vetor de deslocamentos nodais (relativos) dos pontos de medição que definem a forma modal para cada uma das freqüências analisadas.

Tabela 4.2: Planilha para registro dos dados do ensaio.

PONTO	FREQUÊNCIA	YA	ϕ_A	YB	ϕ_B	$\Delta 3 \text{ dB}$	\vec{q}_1
1.2	11.75	88.70	-166.10	89.50	-164.70	0.50	1.122
1.3	11.50	88.70	-35.80	113.00	-34.80	1.25	1.145
1.4	11.50	117.00	106.50	141.00	106.70	1.00	1.205
1.5	11.25	16.40	160.20	20.80	158.80	1.25	1.268
1.6	11.75	81.40	-17.40	100.00	-17.60	1.25	1.228
1.7	11.75	50.80	-87.80	63.10	-86.50	1.75	1.243
1.8	11.75	17.20	155.80	13.80	160.80	1.15	0.802
1.9	11.50	87.20	145.10	82.20	147.10	1.75	0.846
1.10	11.50	100.00	24.80	80.40	25.40	1.25	0.804
1.11	11.50	25.60	12.80	18.80	15.30	0.75	0.734
1.12	11.75	118.00	-87.10	89.90	-85.80	1.15	0.755
1.13	11.50	162.00	-112.20	118.00	-111.80	0.75	0.735
1.14	11.75	124.00	158.40	82.40	158.80	1.00	0.745
	11.80					1.14	

4.2.1 - FREQUÊNCIAS E MODOS DE VIBRAÇÃO:

Como já foi mencionado anteriormente, as frequências naturais de vibração da estrutura foram extraídas dos Espectros Instantâneos fornecidos pelo analisador de ondas B&K, através da análise do sinal emitido pelos acelerômetros em resposta a uma excitação externa aplicada sobre a estrutura do modelo. Os picos de ditos espectros representam cada uma das frequências naturais do sistema estrutural, no sentido em que foram dispostos os acelerômetros. No modelo analisado foram dispostos acelerômetros em três direções de medição diferentes: A) vertical: o acelerômetro de referência foi colocado no extremo da marquise e o de varredura em diferentes pontos (26) sobre as lajes da marquise e arquibancada, B) horizontal normal: corresponde neste caso o acelerômetro de referência na direção normal ao eixo da estrutura localizado no extremo da marquise, aqui o de varredura foi colocado em 13 pontos do pórtico 1, e C) horizontal: os acelerômetros foram colados na direção horizontal coincidente com o eixo de simetria do modelo.

Os modos de vibração do modelo são obtidos mediante uma relação entre os sinais dos canais A e B. Assim por exemplo cada um dos modos de vibração do modelo pode ser obtido dividindo-se a amplitude do espectro correspondente ao acelerômetro de varredura pelo valor do espectro do acelerômetro de referência, isto para cada uma das localizações do acelerômetro de varredura. O valor do espectro deve ser medido no pico correspondente na frequência cujo modo se quer determinar. Genericamente podemos estabelecer a seguinte expressão para tal fim:

$$q_{ij} = \frac{y^B_{ij}}{y^A_{ij}} \quad (4.1)$$

onde q_{ij} representa o deslocamento correspondente ao j -ésimo ponto de tomada da medição relativo ao i -ésimo modo de vibração, os termos Y^A_{ij} e Y^B_{ij} correspondem às amplitudes dos picos da i -ésima frequência natural no j -ésimo ponto de medição nos espectros instantâneos A e B, respectivamente. Os vetores de

deslocamentos que definem as formas modais estão compostos por deslocamentos relativos, correspondendo ao ponto de referência o deslocamento unitário.

No referente ao sentido do deslocamento relativo, este é obtido através da análise do valor e sinal da fase. Dito ângulo de fase é obtido do espectro instantâneo de acelerações na sua parte "phase". Foi atribuído um sinal positivo (+) ao deslocamento do ponto que tiver um ângulo de fase entre o sinal do canal A (acelerômetro de referência) e o sinal do canal B (acelerômetro de varredura) na frequência analisada de $0^\circ \pm 70^\circ$. Da mesma maneira foi considerado um sinal negativo para o deslocamento relativo do ponto, quando apresenta um ângulo de fase entre os dois acelerômetros de $180^\circ \pm 70^\circ$. As condições antes mencionadas podem ser resumidas da seguinte forma:

$$\phi_{ij} = \phi_{i1}^A - \phi_{ij}^B \quad (4.2)$$

onde ϕ_{i1}^A e ϕ_{ij}^B são os ângulos de fase na i -ésima frequência natural no j -ésimo ponto de medição dos respectivos canais A e B, e ϕ_{ij} é a diferença dos anteriores para dita frequência e respectivo ponto de medição.

4.2.2 - RAZÃO DE AMORTECIMENTO:

Como foi dito anteriormente, uma das formas de determinar a razão de amortecimento associada a cada modo de vibração é através do emprego da largura de faixa a meia altura do pico correspondente à frequência natural do modo de vibração em análise. A diferença de frequências a três decibéis (meia altura) do pico referente a um modo em particular é a informação necessária para determinar esta propriedade estrutural. Empregou-se o valor médio dos resultados reunidos em cada planilha para cada modo de vibração correspondente ao espectro instantâneo de acelerações, com sua escala vertical em decibéis. O procedimento é aplicável para modos caracterizados por frequências não próximas entre elas.

$$\xi_i = \frac{(\Delta f_3 \text{ dB.})_i}{2 \cdot f_i} \quad (4.3)$$

onde $(\Delta f_3 \text{ dB.})_i$ é a largura de faixa na i -ésima frequência natural de vibração a três decibéis do pico que a define no espectro instantâneo, e f_i a referida frequência, resultando assim para a razão de amortecimento uma quantia adimensional que pode ser representada em valores percentuais (%).

4.3 - METODOLOGIA DO ENSAIO COM CARREGAMENTO:

Após efetuadas as determinações das frequências, os respectivos modos de vibração e razões de amortecimento para cada um dos pórticos isolados e o pórtico com as lajes de arquibancada e marquise, procedeu-se a colocar cargas no modelo, com o objetivo de simular o peso próprio do mesmo.

Baseados na formação dos termos adimensionais (π) mencionados no capítulo 2, chegou-se às seguintes relações modelo-protótipo:

$$M_p = S_e \cdot S_1^3 \cdot M_m \quad (4.4)$$

$$P_p = S_e \cdot S_1^2 \cdot P_m \quad (4.5)$$

$$\sigma_p = S_e \cdot \sigma_m \quad (4.6)$$

$$A_p = S_1^2 \cdot A_m \quad (4.7)$$

$$Q_p = S_e \cdot S_1 \cdot Q_m \quad (4.8)$$

$$V_p = S_e \cdot \frac{1}{S_1} \cdot V_m \quad (4.9)$$

$$f_p = S_1 \cdot f_m \quad (4.10)$$

$$\epsilon_p = \epsilon_m \quad (4.11)$$

Ditas relações permitiram determinar o valor da carga de peso próprio, que foi distribuída de acordo à possibilidade de espaço no modelo, da maneira mais uniforme possível.

Para poder atingir tal carga, empregaram-se pesos de chumbo, barras e placas de aço.

Devido à dificuldade prática de dar incrementos de cargas em todas as partes do modelo, adotou-se o esquema de carregar somente a arquibancada com cargas crescentes em degraus de 4 KN, ficando as outras partes com a carga correspondente ao peso próprio.

Para a aplicação das ditas cargas na arquibancada, foi construído uma árvore de carga, onde a carga gerada por um macaco hidráulico foi distribuída em 16 pontos.

A figura 4.7 é um esquema do pórtico e sistema de carregamento empregado, também as figuras 4.8 e 4.9 mostram o pórtico com o sistema de carga da arquibancada.

Assim, para cada um dos degraus antes mencionados (4 KN) foi realizada a determinação dos parâmetros dinâmicos do modelo. Com o objetivo de não modificar a massa do modelo depois da aplicação da carga, o sistema de carga e os pesos foram retirados antes da colocação dos acelerômetros.

As características geométricas do pórtico de cargas empregado no carregamento da arquibancada encontram-se detalhadas na figura 4.7. Dito sistema é totalmente desmontável devido a suas uniões roscadas.

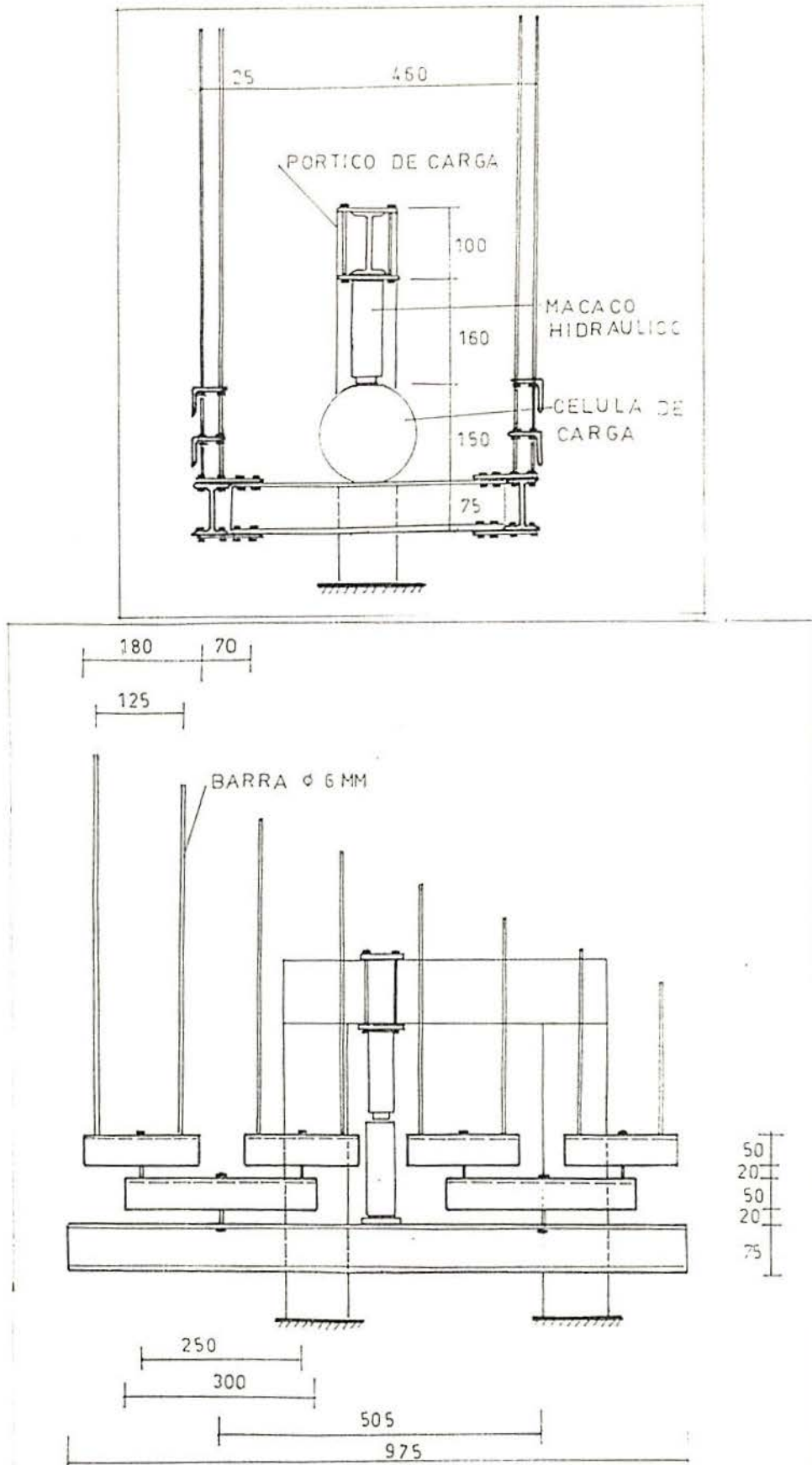


Figura 4.7: Esquemas do pórtico de cargas empregado.

De forma paralela, determinou-se as características das fissuras que foram aparecendo (comprimento, localização, espessura), confeccionando-se mapas de fissuras do modelo para cada degrau de carga. Este trabalho foi feito com a ajuda de um fissurômetro.

O emprego de relógios comparadores, localizados nos pontos indicados na figura 4.10, permitiu obter curvas "carga-deslocamento" para carga e descarga, efetuando-se leituras de deslocamentos a cada 1 KN de carga fornecida pelo macaco hidráulico.

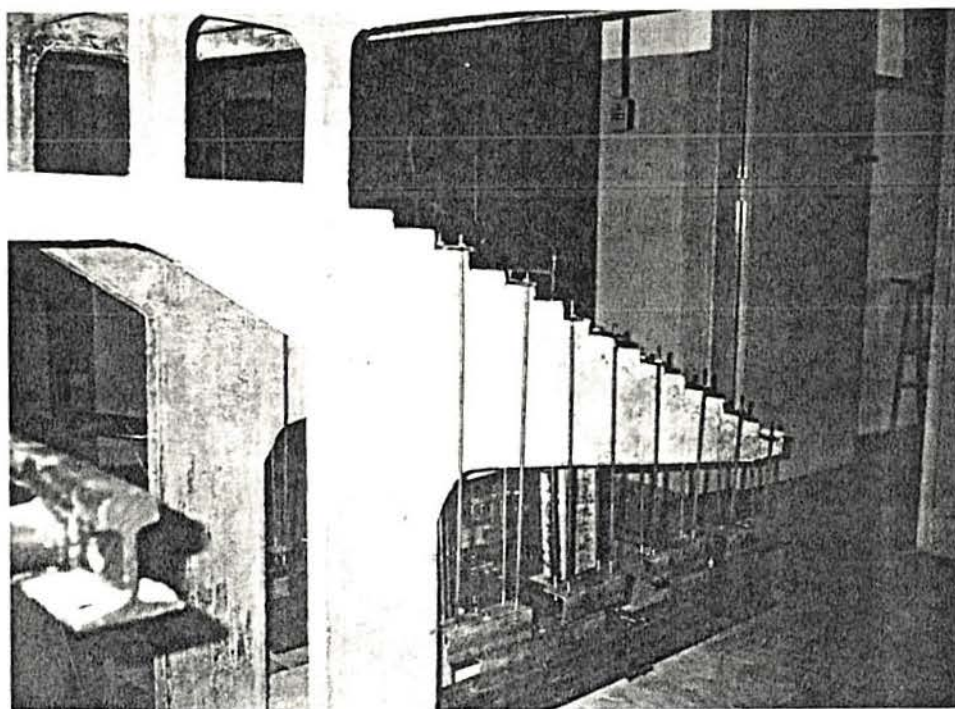


Figura 4.8: Pórtico de carga. (Vista lateral)

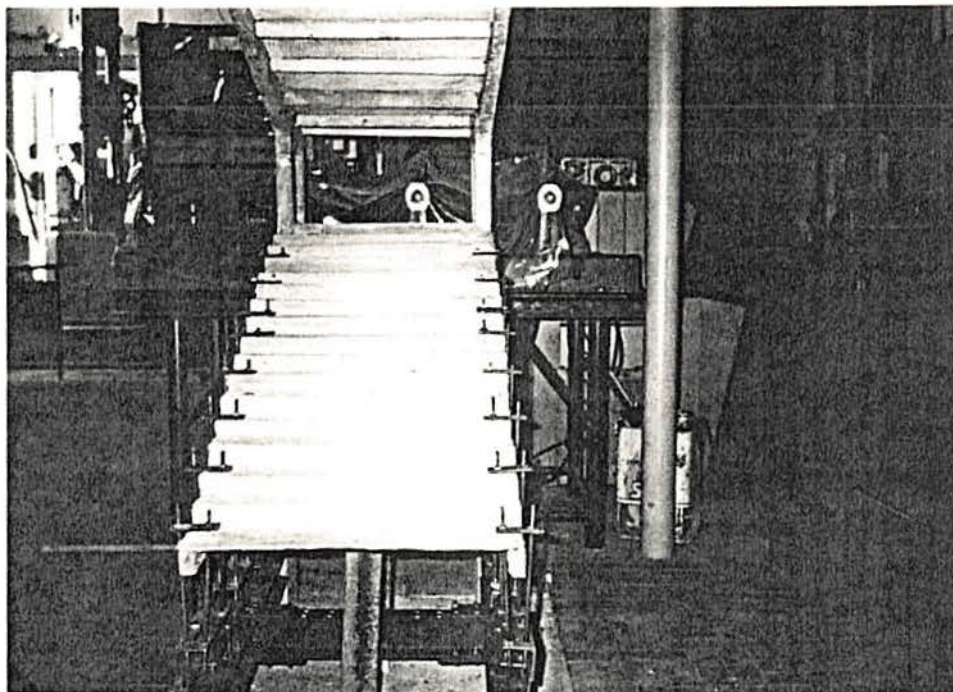


Figura 4.9: Pórtico de carga. (Vista frontal)

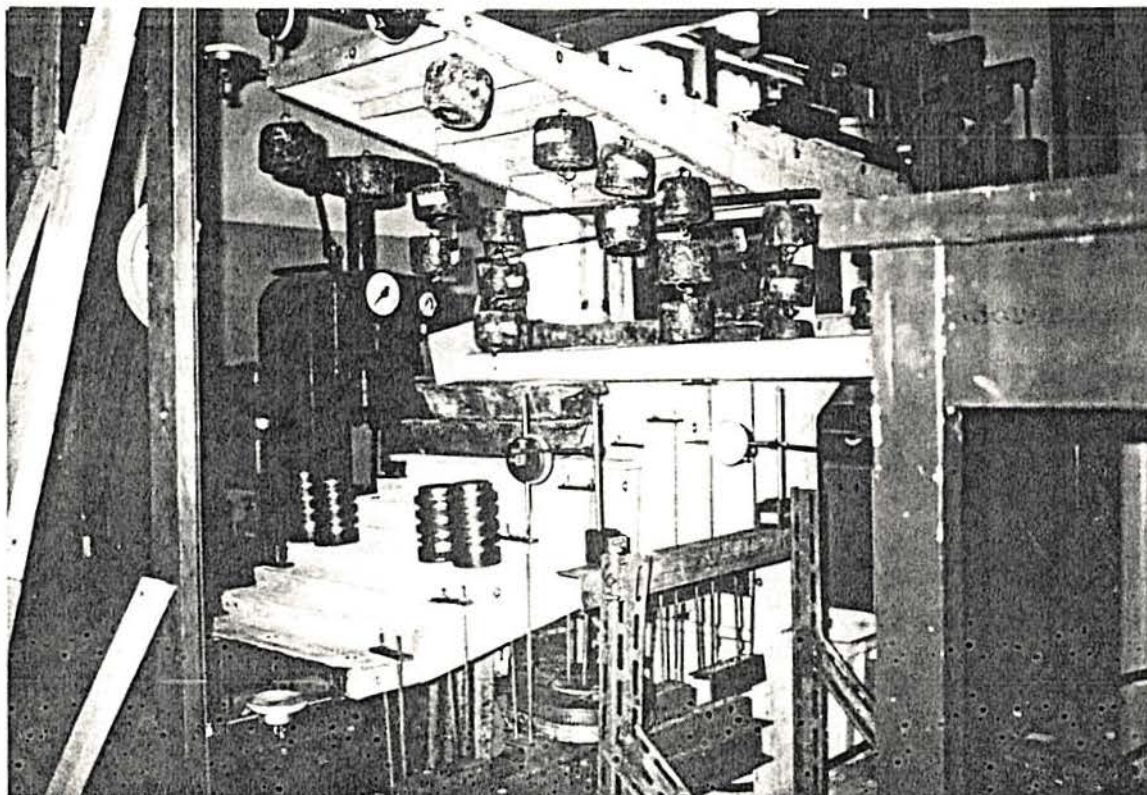


Figura 4.10: Localização dos relógios comparadores empregados para a determinação dos deslocamentos.

5- RESULTADOS OBTIDOS:

5.1-INTRODUÇÃO

No presente capítulo são apresentados os resultados dos testes realizados sobre o modelo, assim como os valores correspondentes à estrutura real, através da aplicação dos fatores de escala. Na tabela 2.1 foram indicadas algumas relações entre a estrutura real e o seu modelo. As mesmas foram obtidas a partir da consideração dos requisitos de semelhança que governam os modelos dinâmicos. De acordo à mencionada tabela tem-se:

$$f_i^r = \left(\frac{S_e}{S_p} \right)^{0.5} * \frac{f_i^m}{S_l} \quad (5.1)$$

onde:

f_i^r - frequência natural do i-ésimo modo de vibração da estrutura real.

f_i^m - frequência natural do i-ésimo modo de vibração do modelo.

S_e - fator de escala de módulo de elasticidade, obtido como a relação (E_p/E_m).

S_p - fator de escala da densidade de massa, obtido como a relação (ρ_p/ρ_m), entre as densidades da estrutura real e do modelo.

S_l - fator de escala geométrica, definido no capítulo 3.

O valor do módulo de elasticidade do concreto da estrutura real foi estimado indiretamente das indicações da norma DIN 1045 sendo $E_p = 36$ GPa. Para o microconcreto foi empregada a fórmula 5.2 que emprega a resistência à compressão avaliada mediante ensaios nos corpos de prova.

$$E = 60000 * [\sigma_{med}^{\frac{1}{3}} - 1.5 + 1.2 \log D] \quad (5.2)$$

De acordo com a fórmula anterior tem-se: $E_m = 36,5$ GPa.
Com os módulos de elasticidade anteriores, determinou-se: $S_e = 0.986$. A densidade de massa do modelo foi considerada igual à da estrutura real, tendo-se assim: $S_p = 1.00$

Então a equação (5.1) resulta, para os valores dados:

$$f_{1r} = 0.0795 * f_{1m} \quad (5.3)$$

No modelo analisado pretendia-se determinar até o quinto modo de vibração. Com tal objetivo, trabalhou-se na faixa de frequências de 0 a 100 Hz, e como já foi mencionado no capítulo 4, foram analisadas três direções (vertical, horizontal coincidente com o eixo de simetria do modelo e horizontal normal ao eixo). Essas mesmas direções de ensaio foram consideradas em cada um dos degraus de carga, assim como para a estrutura sem carregamento e os pórticos isolados.

5.2- PORTICOS ISOLADOS

Tabela 5.1: Valores das frequências para o modelo e a estrutura real, para ambos os pórticos ensaiados.

PÓRTICO	MODO	DESCRIÇÃO	f_{1m} (Hz)	f_{1r} (Hz)	ξ_1 (%)
1	1	Flexão lateral	9.00	0.72	5.55
1	2	Flexo torção lateral	17.04	1.35	1.47
1	3	Flex. vert. e horiz.	41.19	3.27	2.43
1	4	Flexo torção lateral	56.57	4.49	0.44
1	5	Flexão vertical	95.15	7.55	3.28
2	1	Flexão lateral	9.54	0.76	5.24
2	2	Flexo torção lateral	18.15	1.44	1.37
2	3	Flex. vert. e horiz.	44.05	3.49	2.30
2	4	Flexo torção lateral	57.61	4.57	0.40
2	5	Flexão vertical	97.26	7.72	3.09

Cada um dos pórticos foi ensaiado inicialmente de forma isolada depois de serem fixados à base, visando o estabelecimento de valores de referência do erro experimental conjuntamente com variabilidade intrínseca do sistema.

As figuras 5.1 a 5.10 mostram os modos de vibração de ambos os pórticos. Observa-se que, com pequenas variações nas ordenadas, os modos análogos são idênticos.

Sendo que só foram determinados dois valores de frequência para cada modo, considerando uma distribuição normal, podem ser determinados os valores esperados de X_1 e X_2 mediante as expressões :

$$E [X_{(2)}] = X + 0.57 \sigma_x \quad (5.4)$$

$$E [X_{(1)}] = X - 0.57 \sigma_x \quad (5.5)$$

e o coeficiente de variação (CV_x) para valores normais com apenas duas observações:

$$CV_x = 1.74 \{ E[X_{(2)}] - E[X_{(1)}] / E[X_{(2)}] + E[X_{(1)}] \} \quad (5.6)$$

Dando um coeficiente de variação de 2,19%

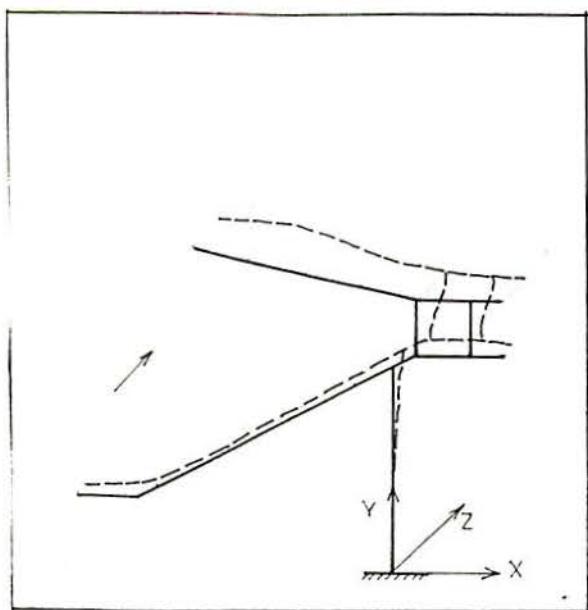


Figura 5.1: Primeiro modo de vibração do pórtico 2.

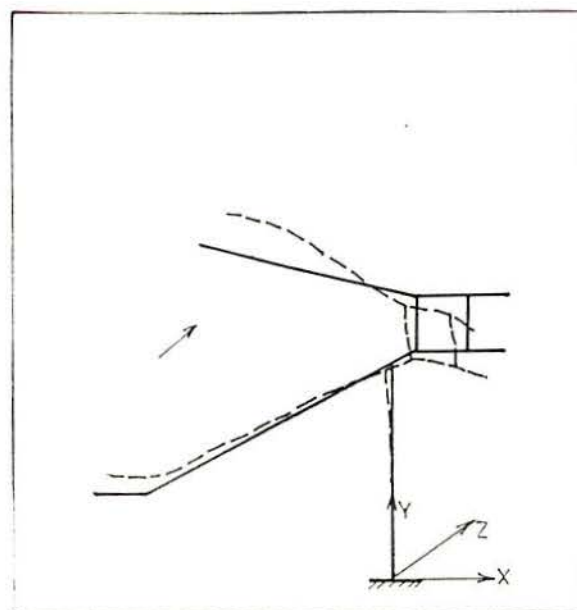


Figura 5.2: Segundo modo de vibração do pórtico 2.

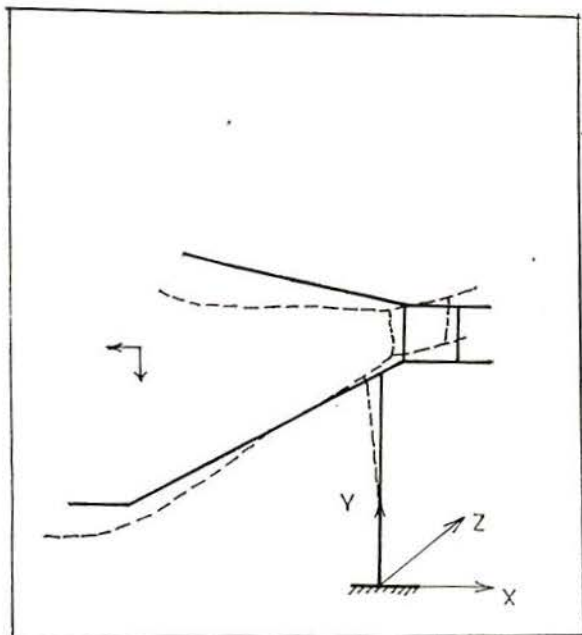


Figura 5.3: Terceiro modo de vibração do pórtico 2.

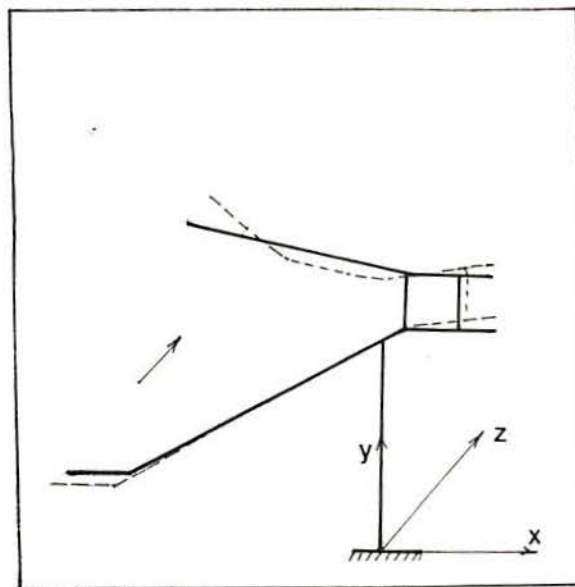


Figura 5.4: Quarto modo de vibração do pórtico 2.

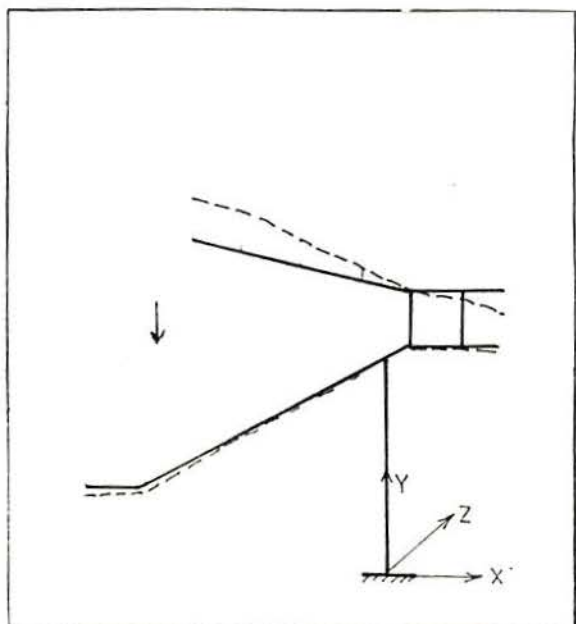


Figura 5.5: Quinto modo de vibração do pórtico 2.

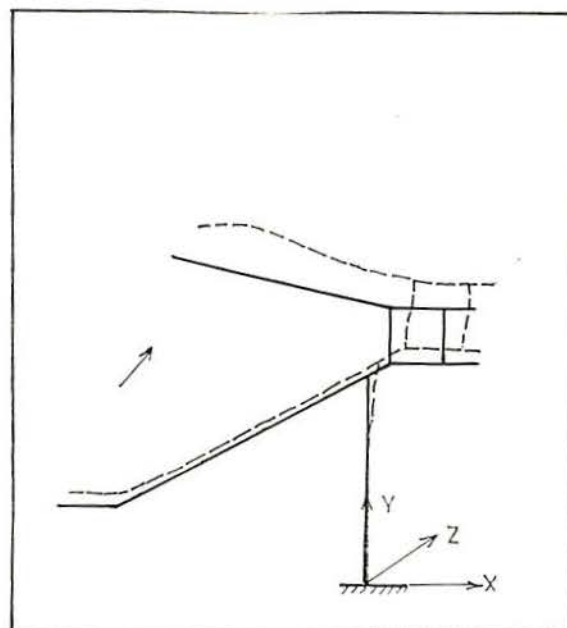


Figura 5.6: Primeiro modo de vibração do pórtico 3.

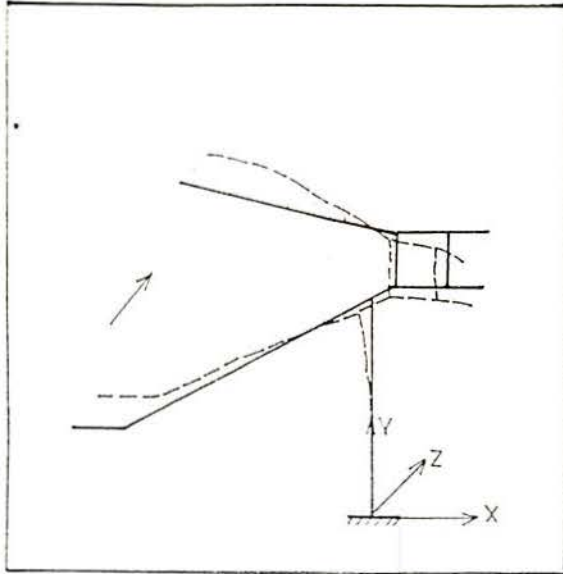


Figura 5.7: Segundo modo de vibração do pórtico 3.

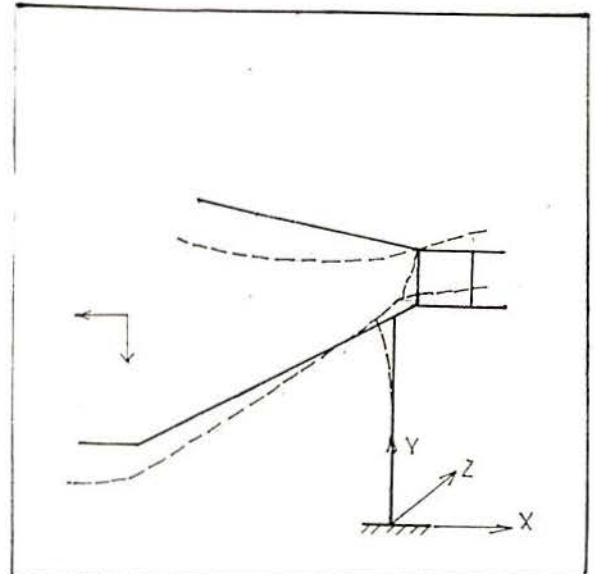


Figura 5.8: Terceiro modo de vibração do pórtico 3.

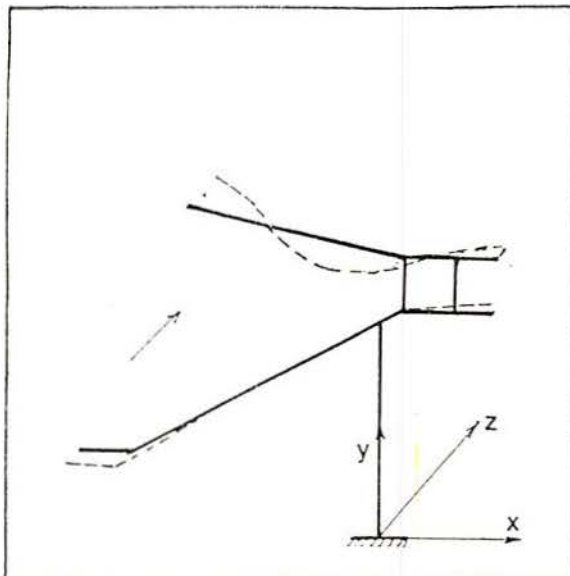


Figura 5.9: Quarto modo de vibração do pórtico 3.

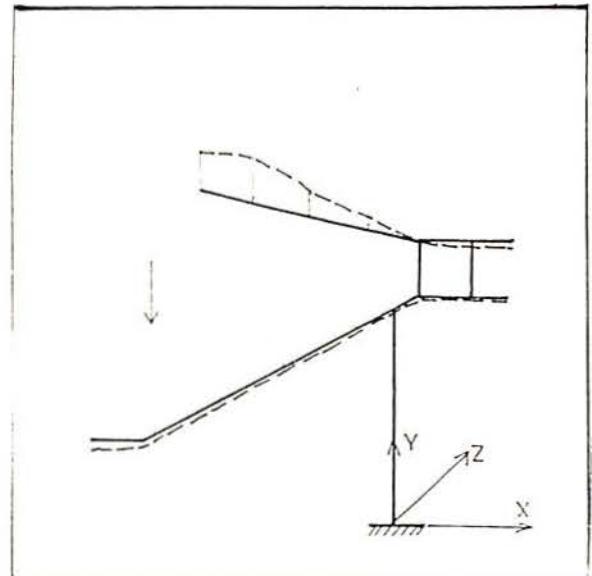


Figura 5.10: Quinto modo de vibração do pórtico 3.

5.3- PÓRTICO COMPLETO SEM CARREGAMENTO

Para o modelo completo (incluídas as lajes e vigas da arquibancada e da marquise) a tabela 5.2 apresenta as respectivas frequências e amortecimentos registrados.

Tabela 5.2: valores das frequências e amortecimento registradas, correspondentes ao modelo sem carregamento.

MODO	DESCRIÇÃO	f_{1m} (Hz)	f_{1r} (Hz)	ξ_1 (%)
1	Flexão lateral normal ao eixo de simetria.	11.60	0.92	5.03
2	Flexo-torção (torção vertical)	23.98	1.90	2.08
3	Flexão vertical, arq. e marq. em fase.	31.25	2.48	1.86
4	Flexão na marq. e flexo-torção na arq.	45.44	3.61	2.15
5	Flexão vertical, arq. e marq. fora de fase.	56.02	4.45	1.64

Para este caso as figuras 5.11 a 5.15 mostram os modos de vibração correspondentes às frequências acima mencionadas. Os valores dos deslocamentos relativos podem ser vistos nas tabelas A.7 a A.9 do anexo I.

5.4- PÓRTICO COMPLETO COM CARGAS

Como foi mencionado no capítulo 4, foram determinadas as características dinâmicas do modelo após a aplicação de cargas crescentes em intervalos de 4 KN em forma uniforme sobre os pórticos da arquibancada, ficando o resto do modelo com carga fixa correspondente a simulação do peso próprio do mesmo.

As cargas crescentes aplicadas através do macaco hidráulico foram retiradas, junto com as cargas fixas, antes das medições com acelerômetros, com o objetivo de não modificar as características do sistema.

A tabela 5.3 mostra a variação da frequência com a história das cargas aplicadas.

Tabela 5.3 : Valores de frequência obtidos no modelo e suas correspondentes à estrutura real para diferentes estados de carregamento.

CARGAS (KN)	MODO	DESCRIÇÃO	f_1^m (Hz)	f_1^r (Hz)	ξ
4	1	Flexão lateral	10.65	0.85	4.46
4	2	Flexo-torção lateral	23.08	1.83	2.82
4	3	Flexão vertical e horiz.	30.80	2.45	1.31
4	4	Flexão lateral	38.08	3.02	7.86
4	5	Flexão vertical	53.57	4.25	1.87
8	1	Flexão lateral	9.65	0.77	4.32
8	2	Flexo torção lateral	21.34	1.68	3.80
8	3	Flexão vertical e horiz.	29.88	2.30	2.50
8	4	Flexão lateral	36.58	2.80	5.81
8	5	Flexão veertical	52.39	4.16	2.18
12	1	Flexão lateral	8.13	0.72	5.14
12	2	Flexo-torção lateral	21.08	1.67	2.86
12	3	Flexão vertical e horiz.	28.18	2.24	1.72
12	4	Flexão lateral	34.84	2.77	6.71
12	5	Flexão vertical	51.85	4.12	2.08
16	1	Flexão lateral	7.58	0.60	7.63
16	2	Flexão-torção lateral	18.08	1.44	3.28
16	3	Flexão vertical e horiz.	23.74	1.88	2.63
16	4	Flexão lateral	32.67	2.58	3.78
16	5	Flexão vertical	51.08	4.05	2.33

Os modos de vibração do modelo antes e após o carregamento não apresentaram muita variação.

As figuras 5.16 a 5.20 mostram os modos de vibração da estrutura para a carga de 4 KN aplicados na arquibancada. As figuras 5.20 a 5.25 mostram os modos correspondentes para o caso de carga 8 KN. As figuras 5.26 a 5.30 os correspondentes a 12 KN, e finalmente, as figuras 5.31 a 5.35 os modos correspondentes a 16 KN. Após a primeiro ciclo, começou-se novamente o carregamento do modelo em degraus de 4 KN a partir de 8 KN.

Os resultados obtidos nas frequências para esta nova situação encontram-se detalhados na tabela 5.4, e os modos de vibração associados nas figuras 5.36 a 5.55.

Tabela 5.4: Valores das frequências e amortecimentos para distintos estados de carga para o segundo ciclo de cargas

CARGAS (KN)	MODO	DESCRIÇÃO	$f1^M$ (Hz)	$f1^F$ (Hz)	ξ
8	1	Flexão lateral	7.13	0.57	8.32
8	2	Flexo torção lateral	17.68	1.40	3.31
8	3	Flexão vertical e horiz.	23.08	1.83	2.71
8	4	Flexão lateral	31.08	2.47	3.38
8	5	Flexão veertical	48.84	3.87	2.24
12	1	Flexão lateral	8.84	0.55	8.06
12	2	Flexo-torção lateral	17.44	1.38	3.41
12	3	Flexão vertical e horiz.	22.82	1.81	2.32
12	4	Flexão lateral	30.40	2.41	4.48
12	5	Flexão vertical	48.82	3.86	1.54
16	1	Flexão lateral	8.80	0.52	10.80
16	2	Flexão-torção lateral	16.80	1.34	4.43
16	3	Flexão vertical e horiz.	22.38	1.78	3.51
16	4	Flexão lateral	28.64	2.30	6.72
16	5	Flexão vertical	48.38	3.84	3.51

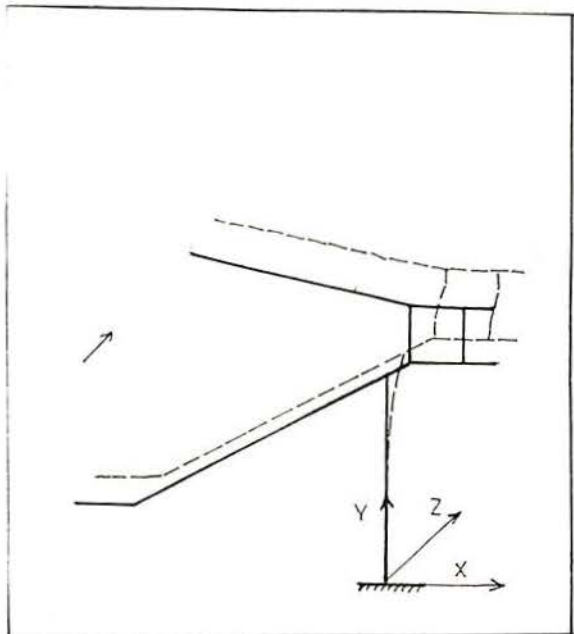


Figura 5.11: Primeiro modo de vibração do modelo sem carregamento.

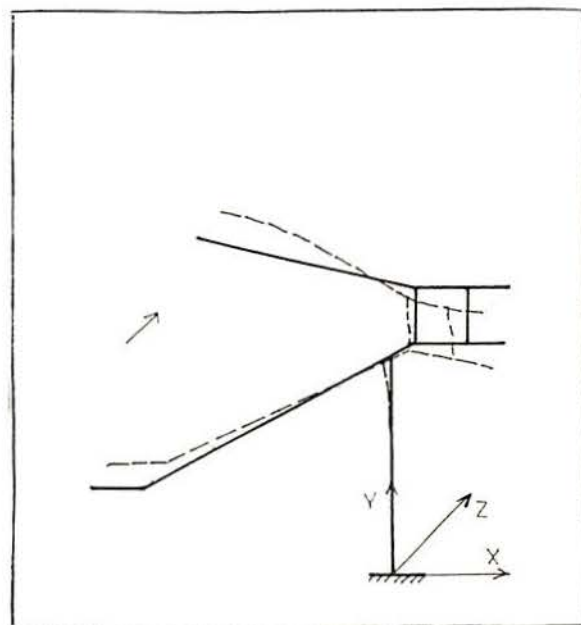


Figura 5.12: Segundo modo de vibração do modelo sem carregamento.

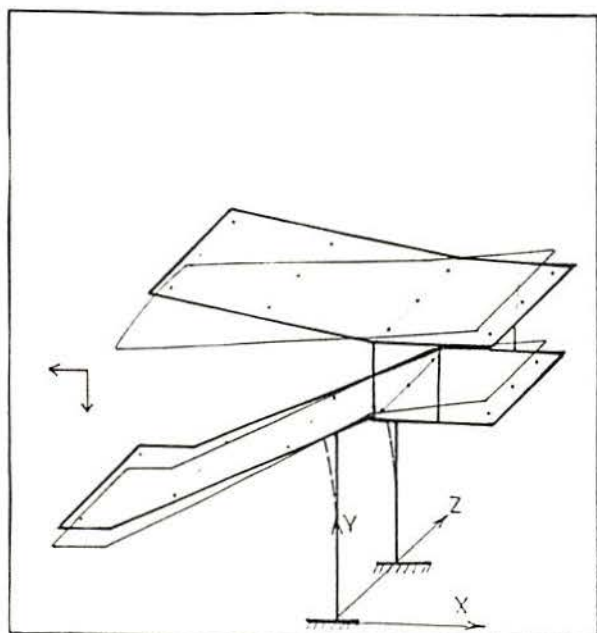


Figura 5.13: Terceiro modo de vibração do modelo sem carregamento.

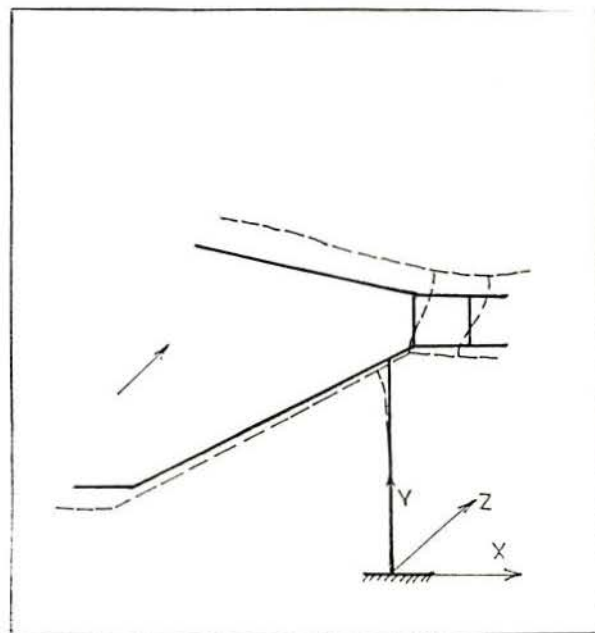


Figura 5.14: Quarto modo de vibração do modelo sem carregamento.

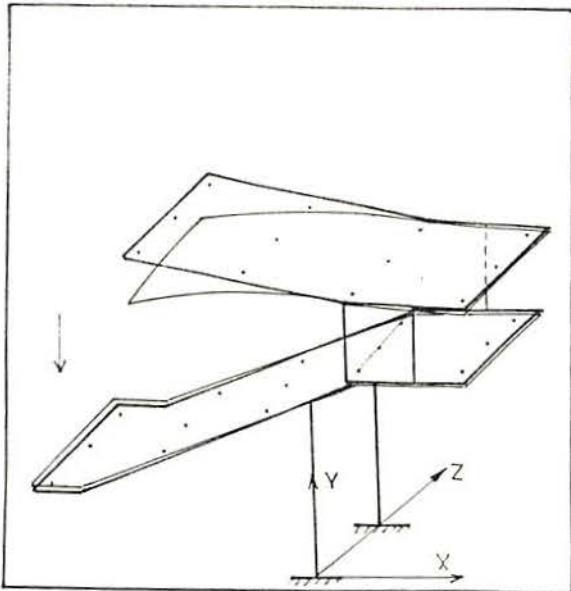


Figura 5.15: Quinto modo de vibração do modelo sem carregamento.

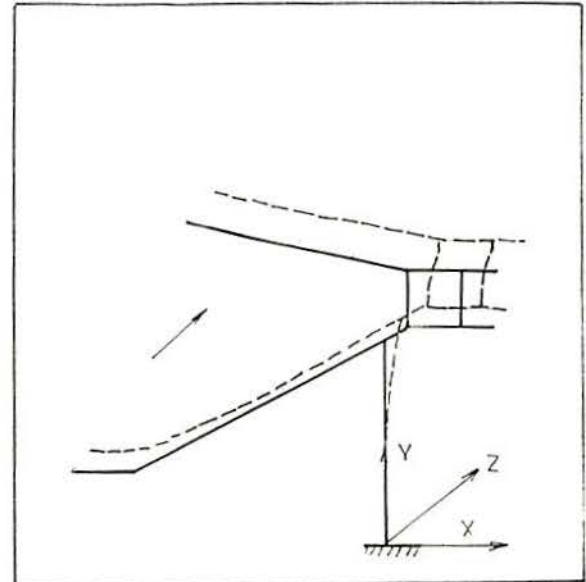


Figura 5.16: Primeiro modo de vibração depois de aplicados 4 kN.

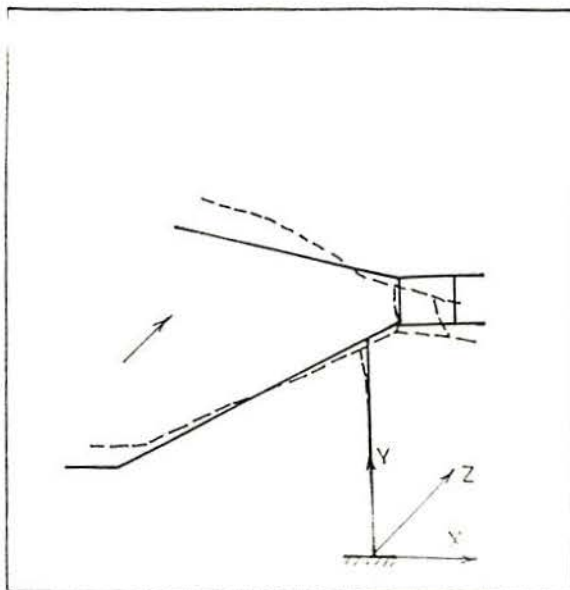


Figura 5.17: Segundo modo de vibração depois de aplicados 4 kN.

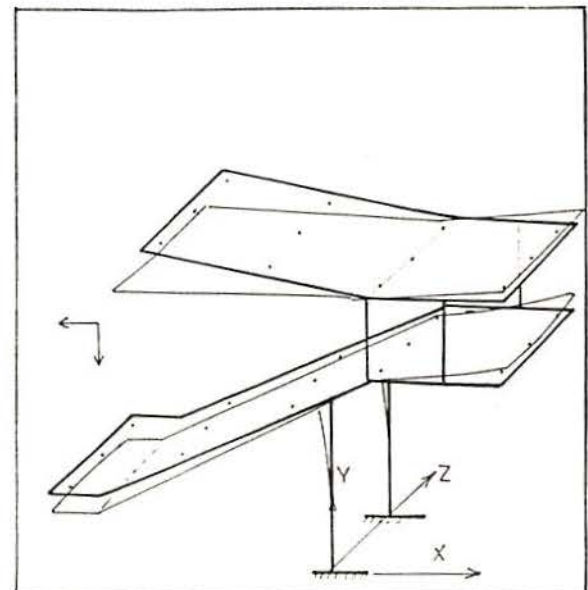


Figura 5.18: Terceiro modo de vibração depois de aplicados 4 kN.

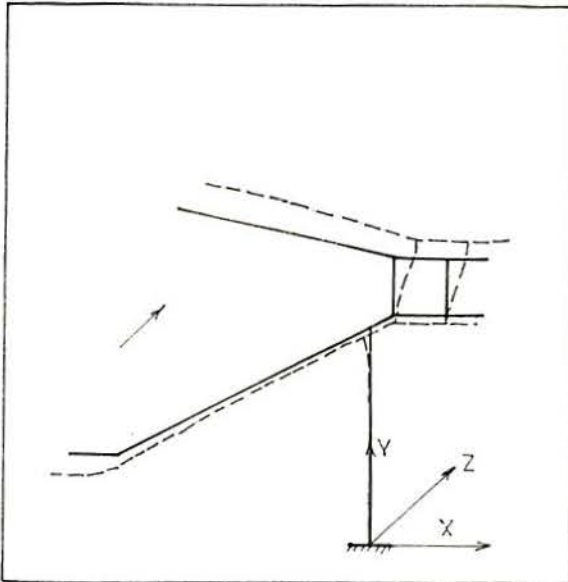


Figura 5.19: Quarto modo de vibração depois de aplicados 4 kN.

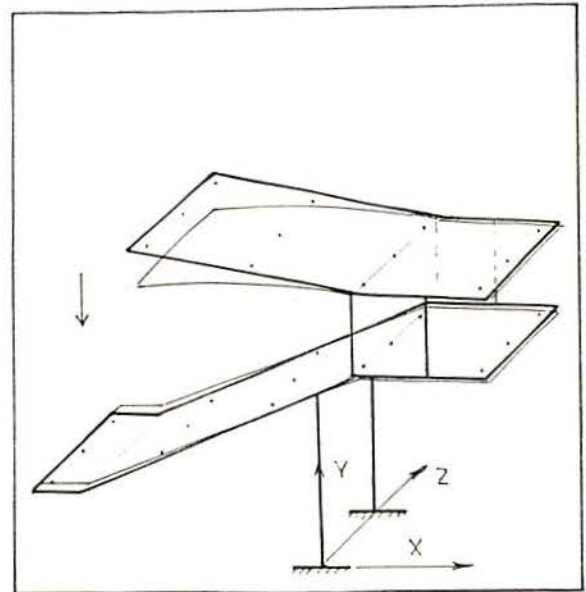


Figura 5.20: Quinto modo de vibração depois de aplicados 4 kN.

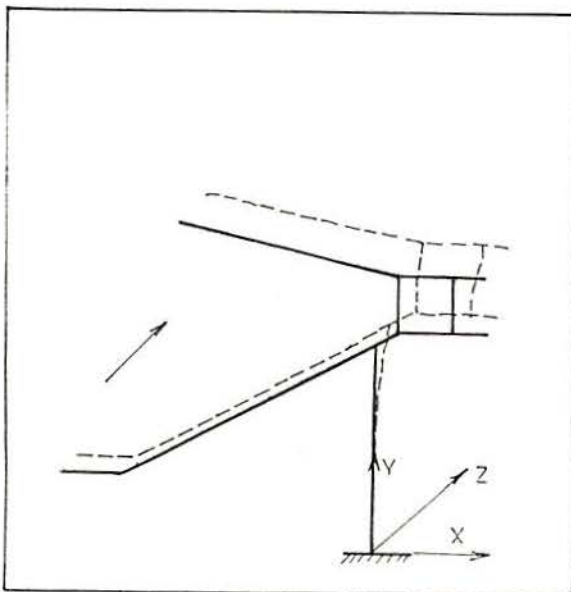


Figura 5.21: Primeiro modo de vibração depois de aplicados 8 kN.

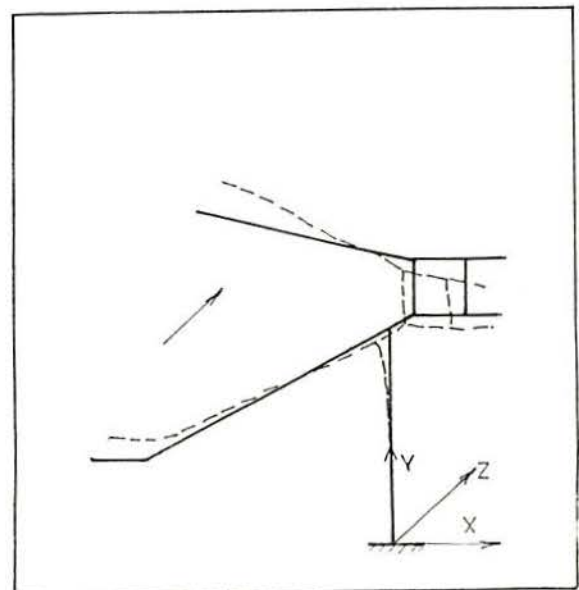


Figura 5.22: Segundo modo de vibração depois de aplicados 8 kN.

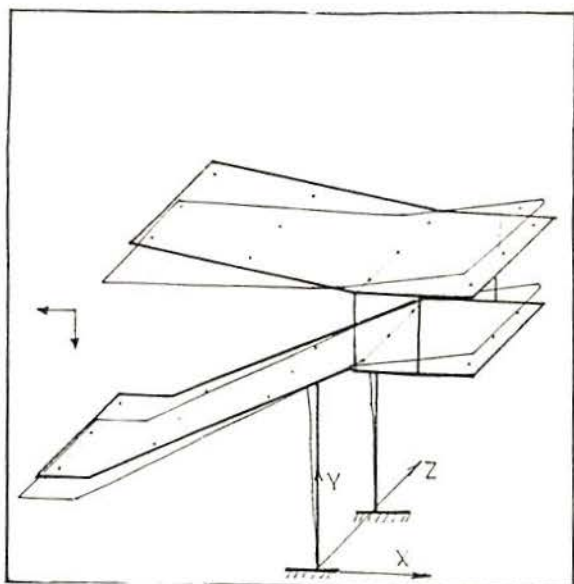


Figura 5.23: Terceiro modo de vibração depois de aplicados 8 KN.

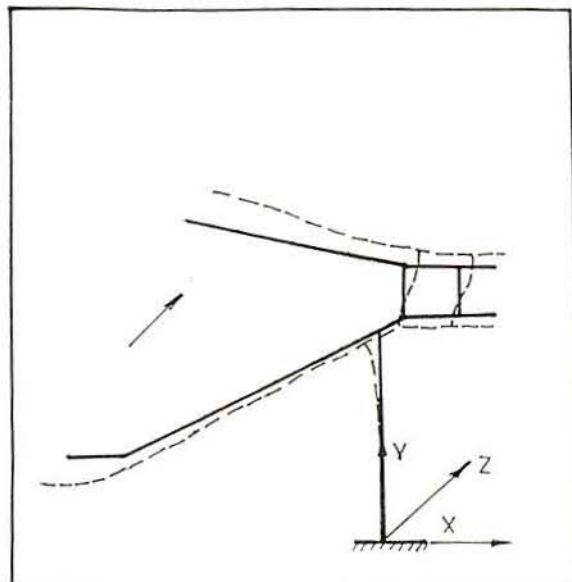


Figura 5.24: Quarto modo de vibração depois de aplicados 8 KN.

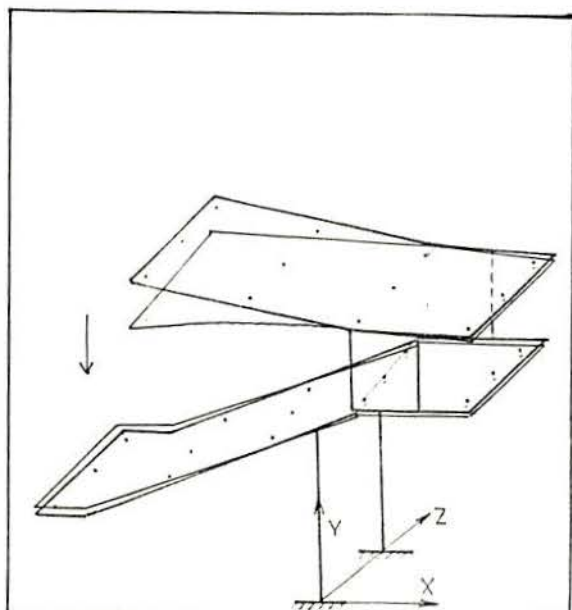


Figura 5.25: Quinto modo de vibração depois de aplicados 8 KN.

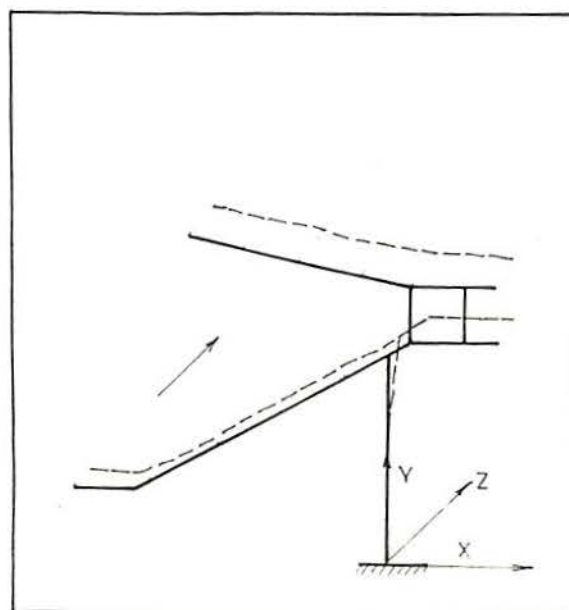


Figura 5.26: Primeiro modo de vibração depois de aplicados 12 KN.

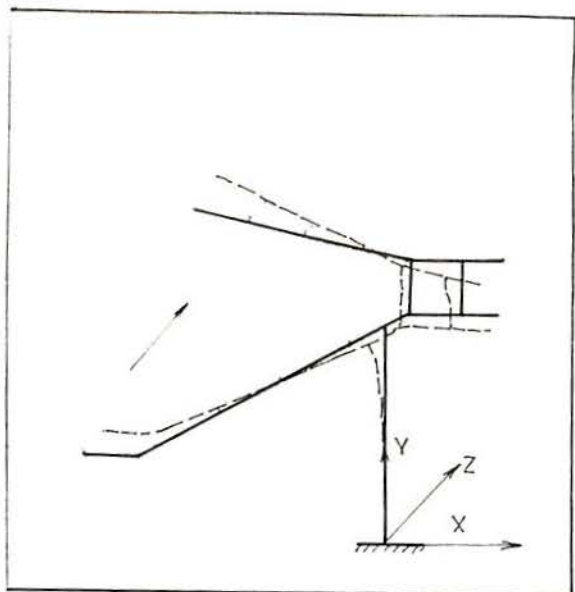


Figura 5.27: Segundo modo de vibração depois de aplicados 12 KN.

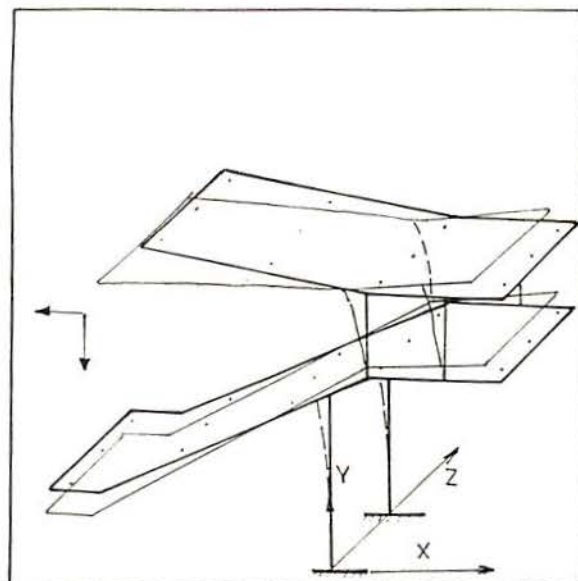


Figura 5.28: Terceiro modo de vibração depois de aplicados 12 KN.

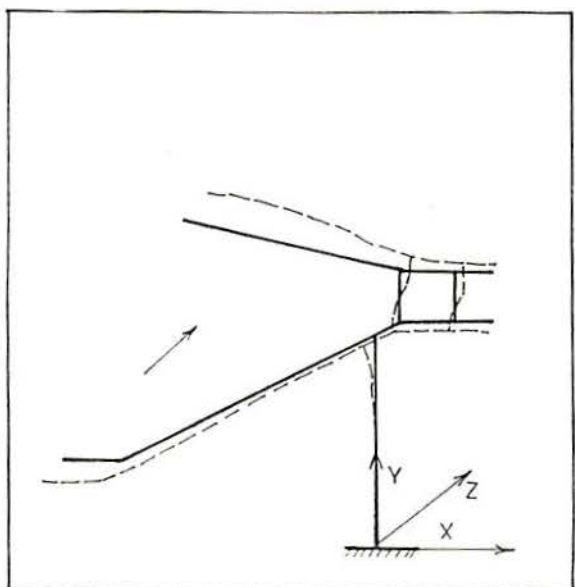


Figura 5.29: Quarto modo de vibração depois de aplicados 12 KN.

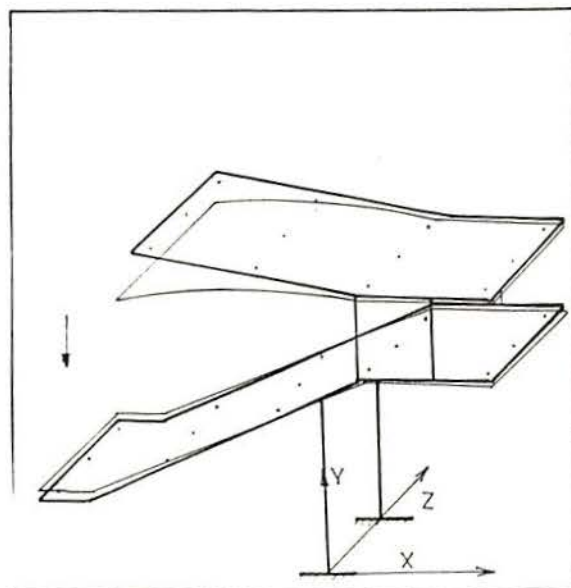


Figura 5.30: Quinto modo de vibração depois de aplicados 12 KN.

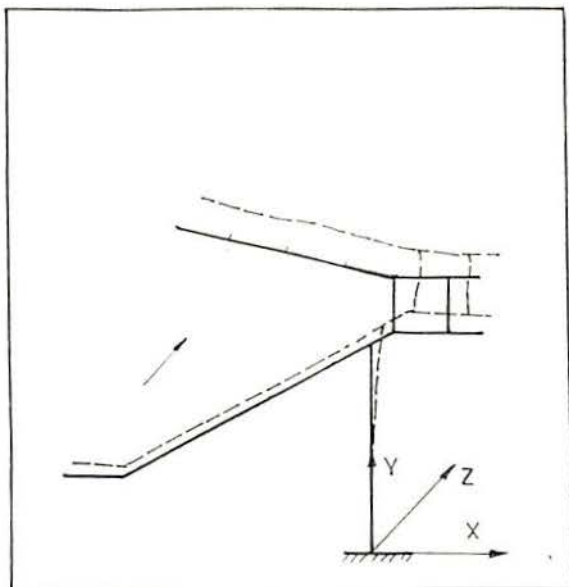


Figura 5.31: Primeiro modo de vibração depois de aplicados 16 KN. (No primeiro ciclo)

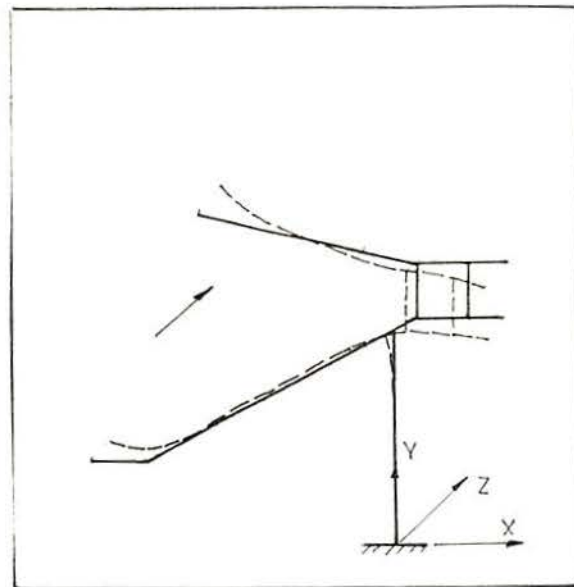


Figura 5.32: Segundo modo de vibração depois de aplicados 16 KN. (No primeiro ciclo)

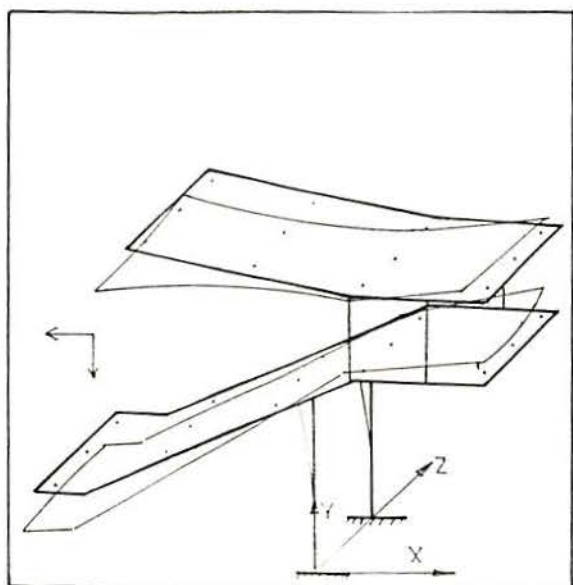


Figura 5.33: Terceiro modo de vibração depois de aplicados 16 KN. (No primeiro ciclo)

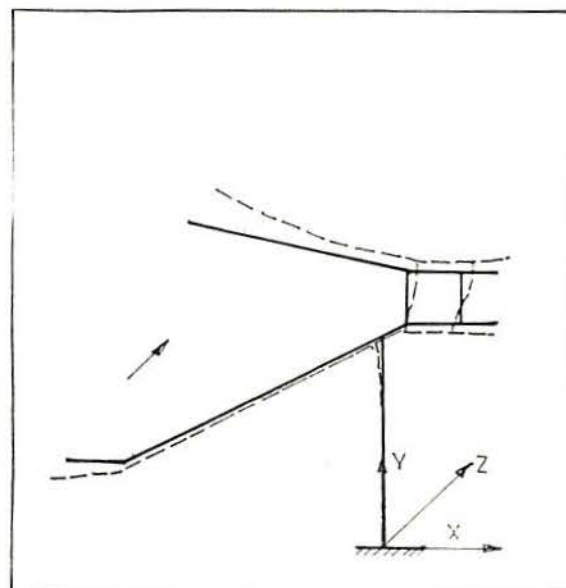


Figura 5.34: Quarto modo de vibração depois de aplicadso 16 KN. (No primeiro ciclo)

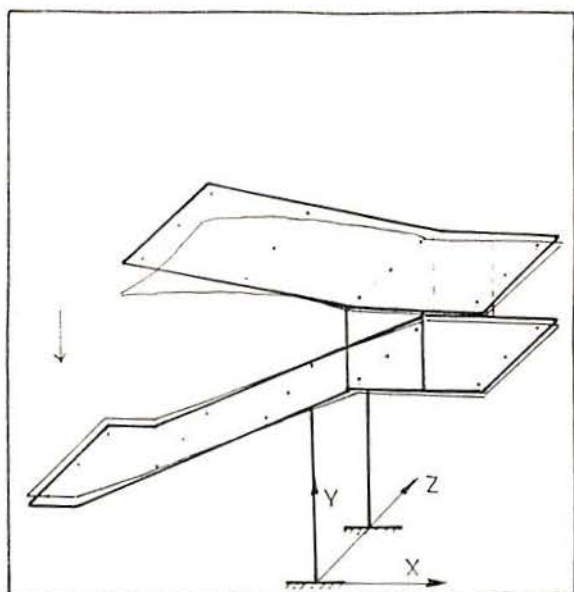


Figura 5.35: Quinto modo de vibração depois de aplicados 16 KN. (No primeiro ciclo)

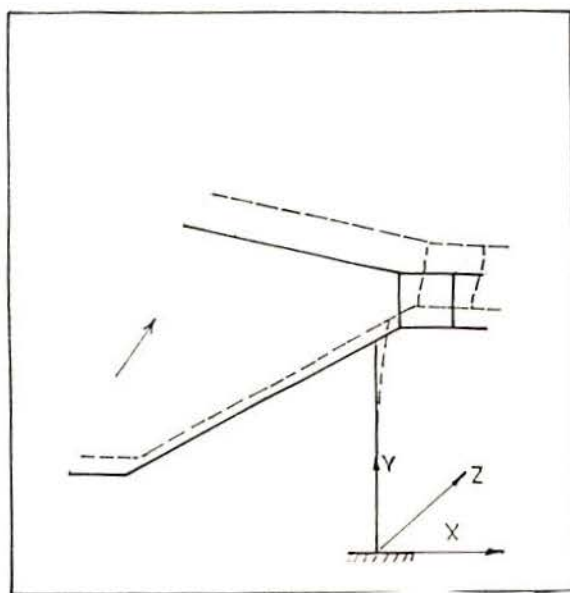


Figura 5.36: Primeiro modo de vibração depois de aplicados 8 KN. (No segundo ciclo)

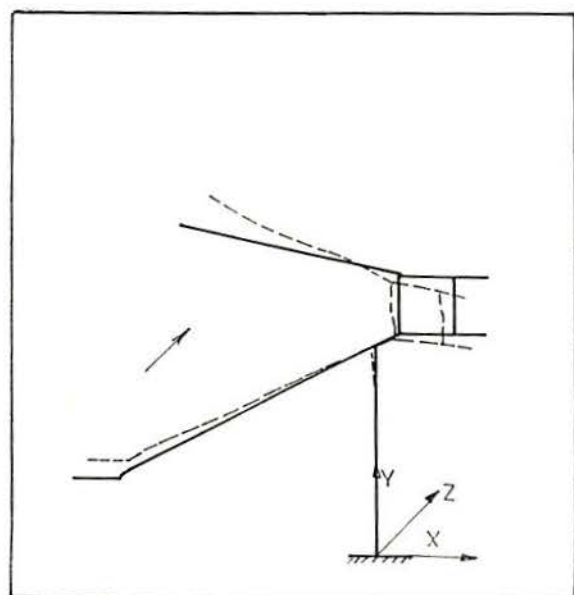


Figura 5.37: Segundo modo de vibração depois de aplicados 8 KN. (No segundo ciclo).

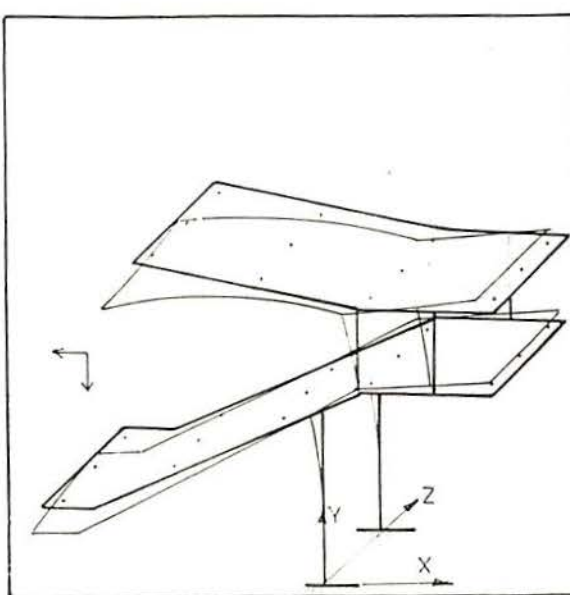


Figura 5.38: Terceiro modo de vibração depois de aplicados 8 KN. (No segundo ciclo)

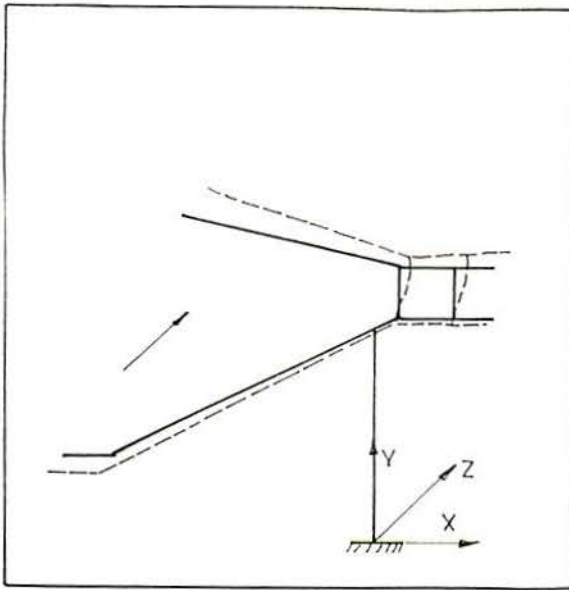


Figura 5.39: Quarto modo de vibração depois de aplicados 8 KN. (No segundo ciclo)

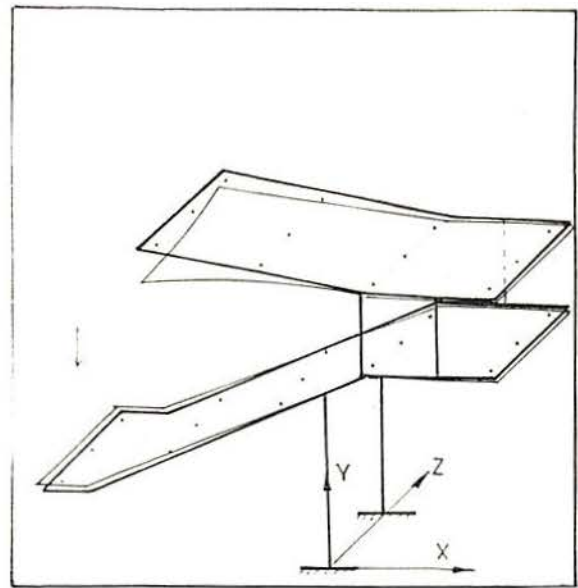


Figura 5.40: Quinto modo de vibração depois de aplicados 8 KN. (No segundo ciclo)

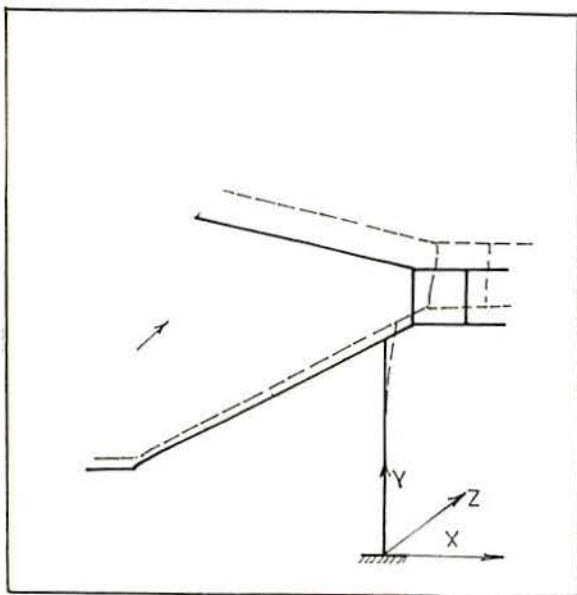


Figura 5.41: Primeiro modo de vibração depois de aplicados 12 KN. (No segundo ciclo)

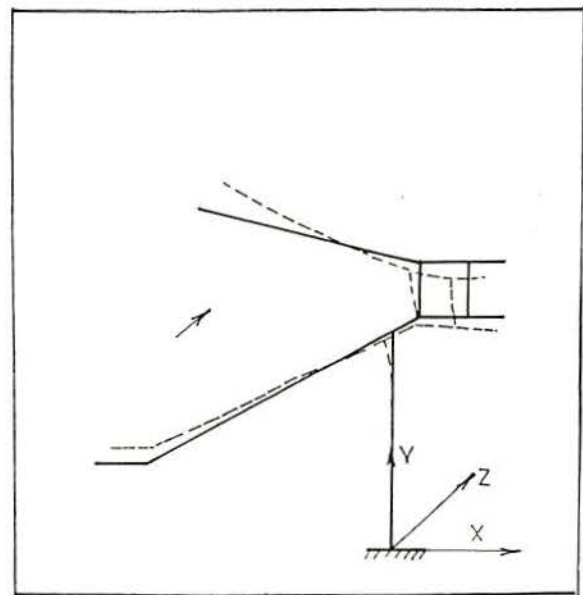


Figura 5.42: Segundo modo de vibração depois de aplicados 12 KN. (No segundo ciclo)

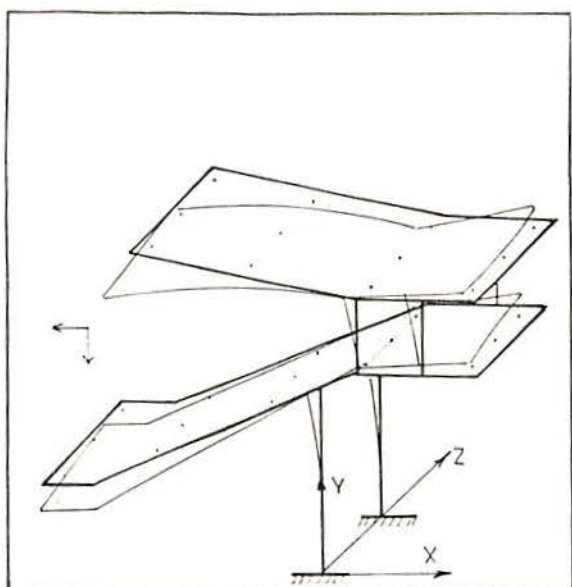


Figura 5.43: Terceiro modo de vibração depois de aplicados 12 KN. (No segundo ciclo)

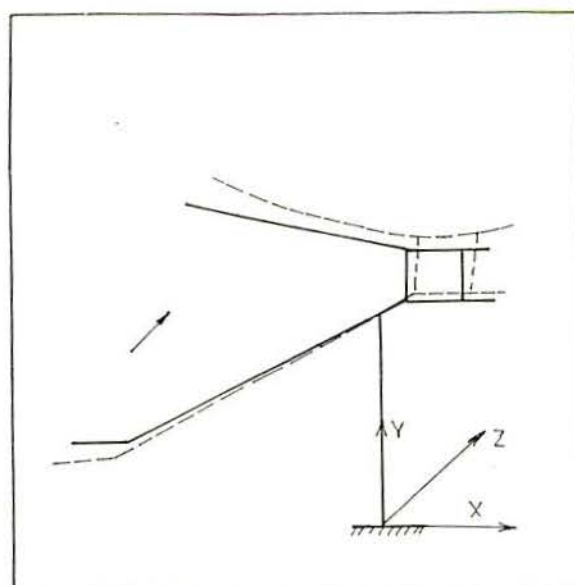


Figura 5.44: Quarto modo de vibração depois de aplicados 12 KN. (No segundo ciclo)

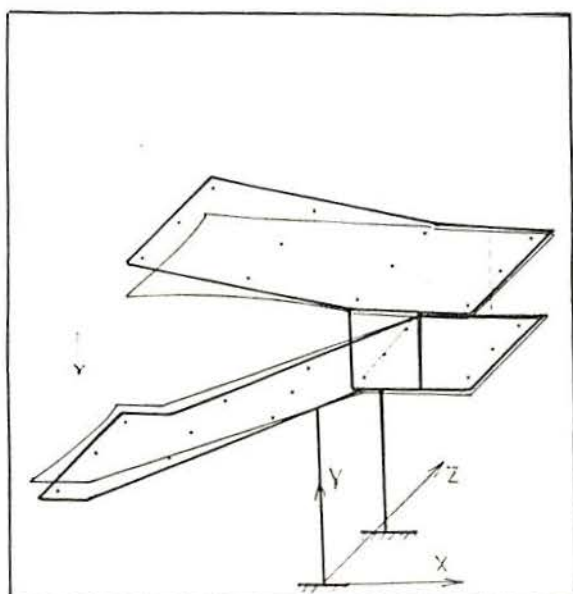


Figura 5.45: Quinto modo de vibração depois de aplicados 12 KN. (No segundo ciclo)

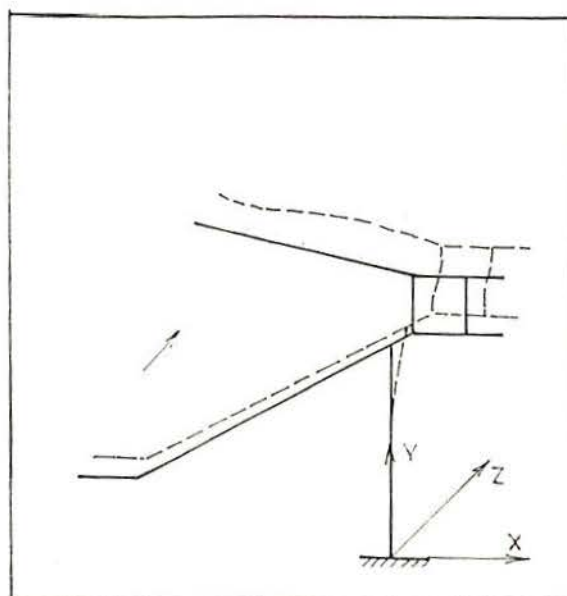


Figura 5.46: Primeiro modo de vibração depois de aplicados 16 KN. (No segundo ciclo)

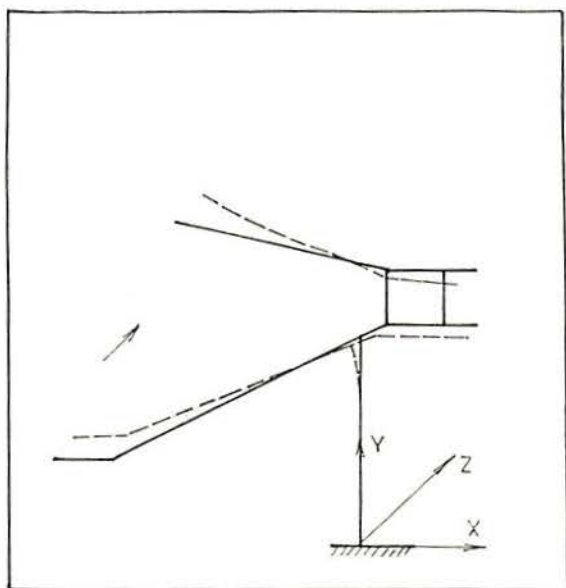


Figura 5.47: Segundo modo de vibração depois de aplicados 16 KN. (No segundo ciclo)

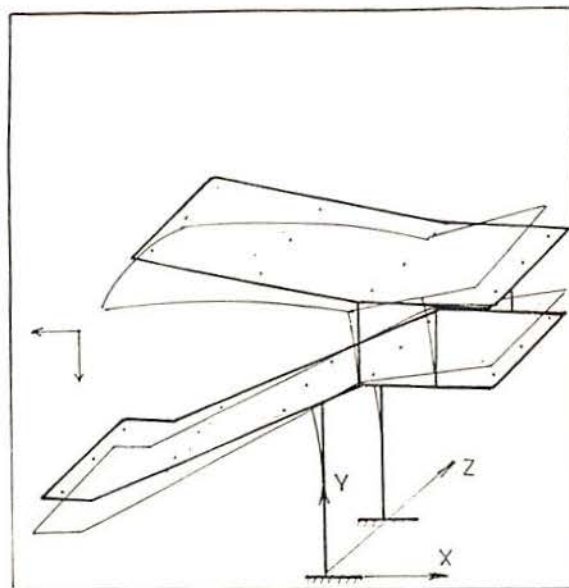


Figura 5.48: Terceiro modo de vibração depois de aplicados 16 KN. (No segundo ciclo)

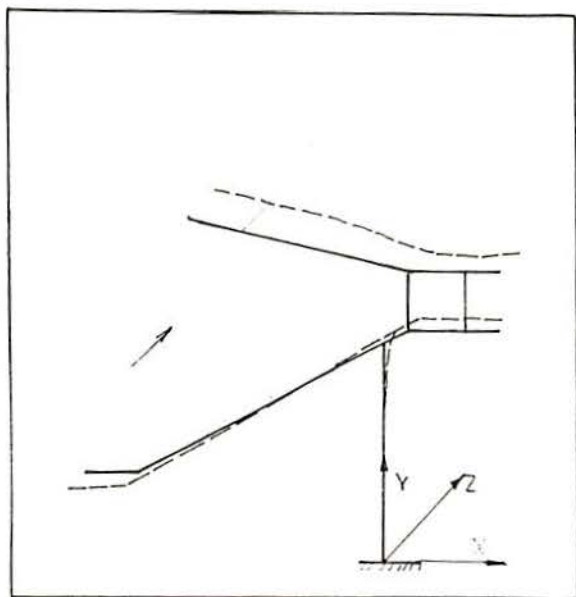


Figura 5.49: Quarto modo de vibração depois de aplicados 16 KN. (No segundo ciclo)

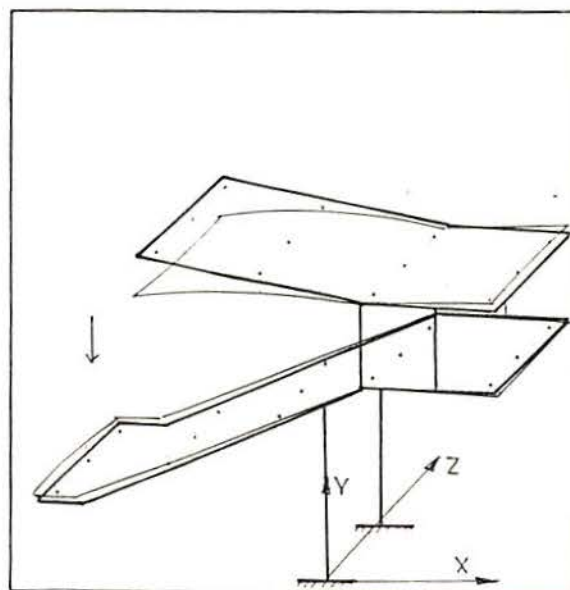


Figura 5.50: Quinto modo de vibração depois de aplicados 16 KN. (No segundo ciclo)

Depois de aplicadas as cargas pela segunda vez procedeu-se ao carregamento contínuo até a carga de ruptura, chegando-se a um valor de 14,3 KN aplicados através do macaco hidráulico. O valor anteriormente mencionado é menor que a carga de 16 KN que tinha sido aplicada tanto no primeiro ciclo de carga como no segundo.

Tabela 5.5: Valores das freqüências naturais depois de aplicada a carga última.

MODOS	1	2	3	4	5
FREQÜÊNCIAS (Hz)	5.96	16.29	21.25	25.9	45.60

5.5 - CURVAS CARGA-FREQÜÊNCIA

Com os dados registrados para cada degrau de carga foi possível confeccionar gráficos que mostram a variação das freqüências naturais à medida que a estrutura é danificada pelas cargas aplicadas. Assim tem-se as figuras 5.56 a 5.60 para o primeiro ao quinto modo de vibração do modelo.

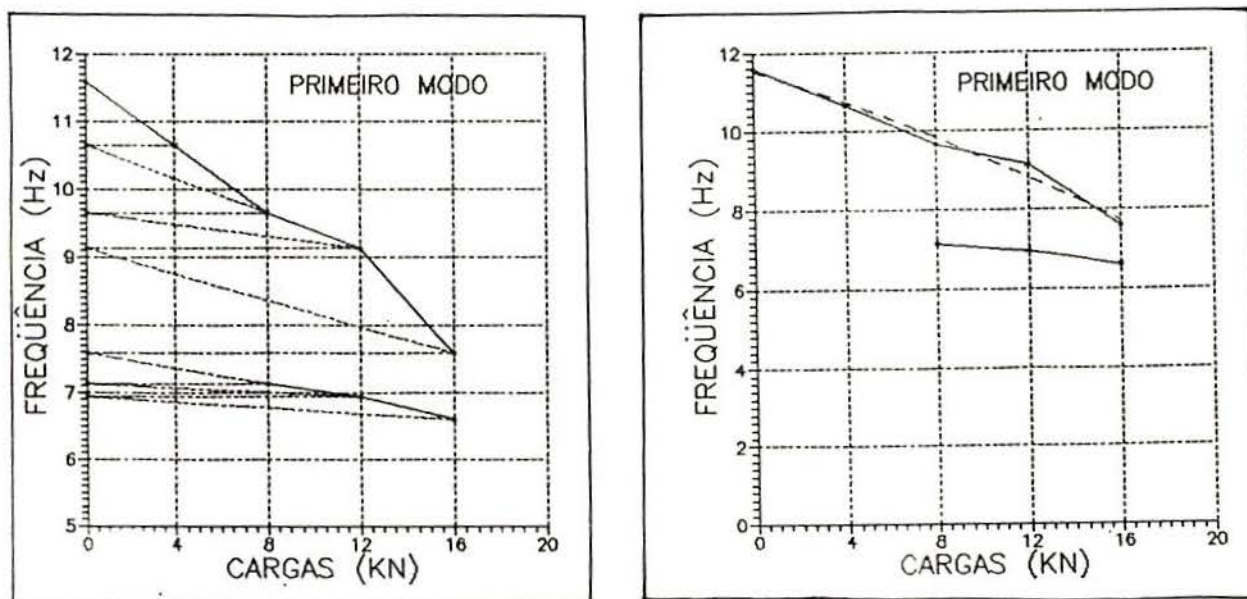


Figura 5.51: Curva Carga-Freqüência para o primeiro modo de vibração do modelo.

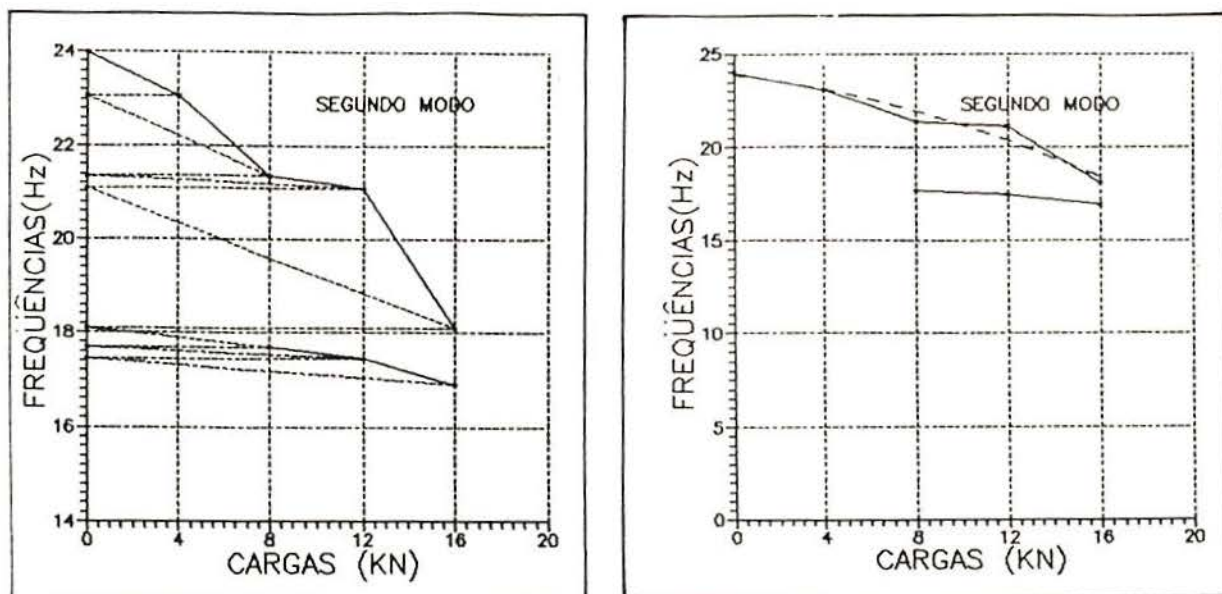


Figura 5.52: Curva Carga-Frequência para o segundo modo de vibração do modelo.

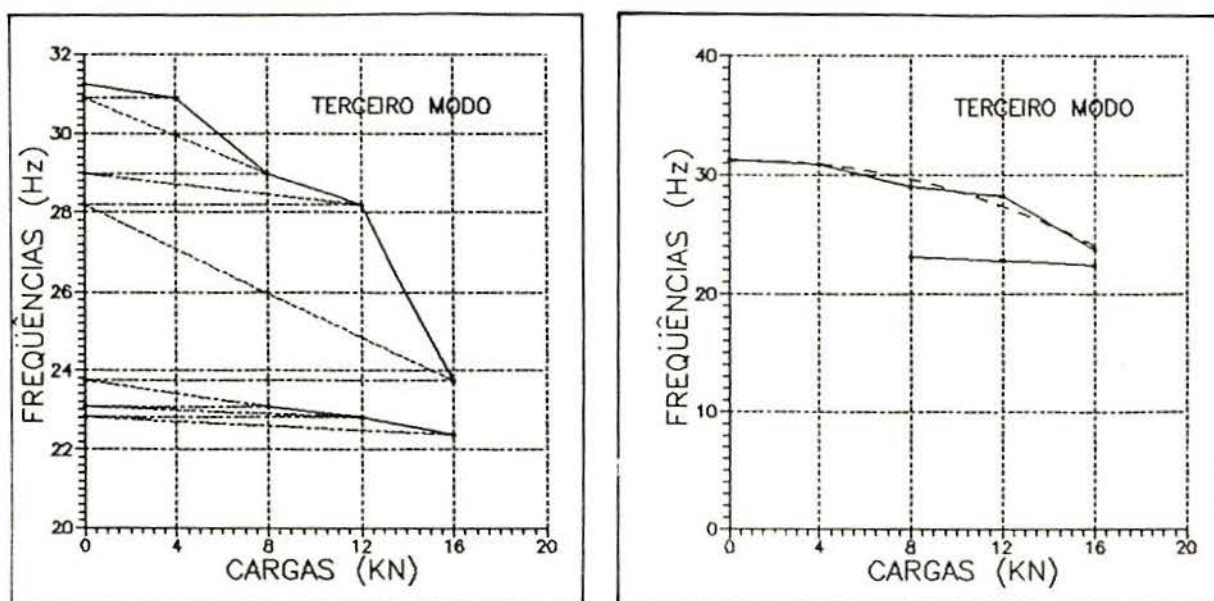


Figura 5.53: Curva Carga-Frequência para o segundo modo de vibração do modelo.

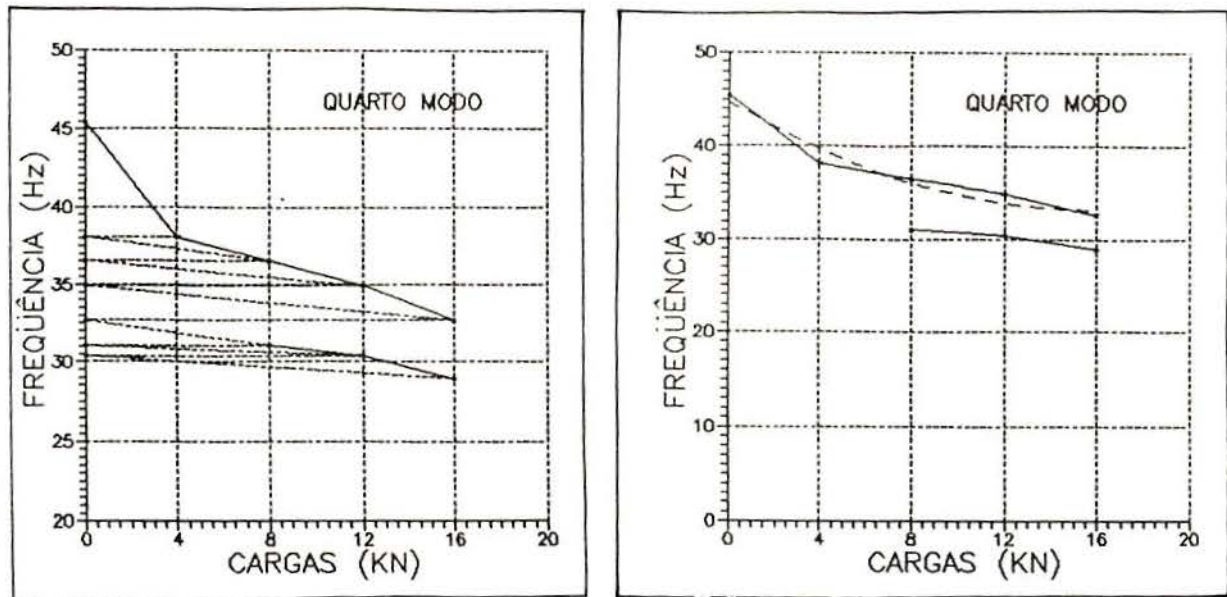


Figura 5.54: Curva Carga-Frequência para o quarto modo de vibração do modelo.

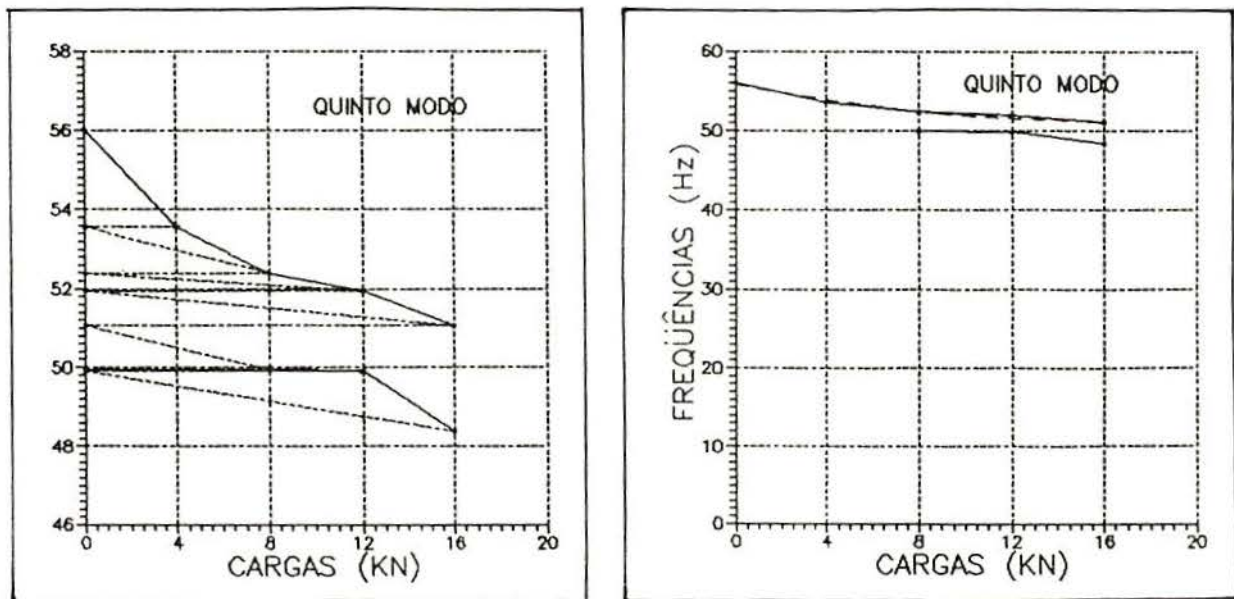


Figura 5.55: Curva Carga-Frequência para o quinto modo de vibração do modelo.

5.6- MEDIÇÕES DE DESLOCAMENTOS ESTÁTICOS

Como foi mencionado no capítulo 4, foram também empregados relógios comparadores para poder determinar os deslocamentos estáticos no modelo para diferentes pontos e cargas aplicadas.

Com o objetivo de assegurar uma boa superfície de contato entre o modelo e os relógios comparadores, foram coladas com araldite umas pequenas chapas de alumínio adequadamente lisas.

No total foram colocados seis relógios para a medição de deslocamentos verticais e horizontais. Ditos relógios foram fixados a uma base metálica através de bases magnéticas. A figura 5.61 mostra os pontos escolhidos para a medição de tais deslocamentos.

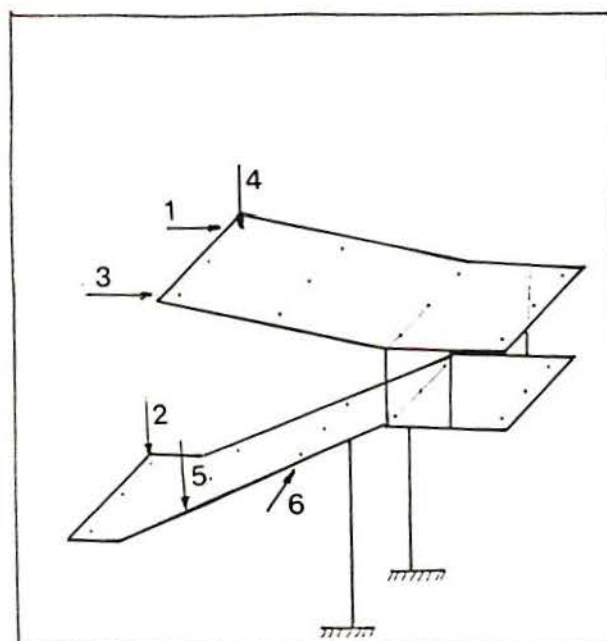


Figura 5.56: Pontos escolhidos para a fixação dos relógios comparadores.

Na tabela 5.6 apresentam-se os deslocamentos medidos em cada um dos pontos escolhidos em correspondência com a carga. Detalham-se aqui também os valores de deslocamentos que corresponderiam à estrutura real mediante a aplicação das relações de pertinência entre o modelo e a mesma.

Tabela 5.6: Resumo dos resultados obtidos na medição dos deslocamentos estáticos.

RELÓGIOS	CARGAS		DESL. INICIAL (MM)		DESL. MÁXIMO (MM)		DESL. RESIDUAL (MM)	
	MOD. (KN)	E. real (KN/m ²)	MODELO	EST. REAL	MODELO	EST. REAL	MODELO	EST. REAL
1	8	7.8	1.10	13.75	7.00	87.50	1.90	23.75
	12	11.7	1.90	23.75	11.40	142.50	3.50	43.75
	16	15.5	3.50	43.75	16.75	209.38		
2	8	7.8	1.25	15.63	7.00	87.50	2.60	32.50
	12	11.7	2.60	32.50	10.50	131.25	6.50	81.25
	16	15.5	6.50	81.25	19.00	237.50	9.00	112.50
3	8	7.8	1.10	13.75	6.40	80.00	1.70	21.25
	12	11.7	1.70	21.25	10.75	134.38	3.75	46.88
	16	15.5	3.75	46.88	18.00	225.00	9.40	117.50
4	8	7.8	1.00	12.50	9.40	117.50	2.00	25.00
	12	11.7	2.00	25.00	14.00	175.00	3.90	48.75
	16	15.5	3.90	48.75	19.00	237.50	10.00	125.00
5	8	7.8	1.00	12.50	5.80	72.50	2.00	25.00
	12	11.7	2.00	25.00	10.50	131.25	4.10	51.25
	16	15.5	4.10	51.25	14.40	180.00	8.00	100.00
6	8	7.8	0.25	3.13	1.50	18.75	0.64	8.00
	12	11.7	0.64	8.00	2.70	33.75	0.98	12.25
	16	15.5	0.98	12.25	3.98	49.75	2.50	31.25

Com o registro dos deslocamentos a cada 1 KN de carga proporcionada pelo sistema de carregamento, foi possível a construção de curvas de carga e descarga para os distintos pontos de localização dos relógios comparadores. Para cada ponto de observação foram registradas curvas com 8, 12 e 16 KN e as curvas de carga e descarga correspondentes a 2 e 4 KN foram aproximadas por interpolação das pendentes das curvas de 8 KN.

As figuras 5.57 a 5.62 correspondem às curvas de carga e descarga para os seis pontos de medição mostrados na figura 5.56.

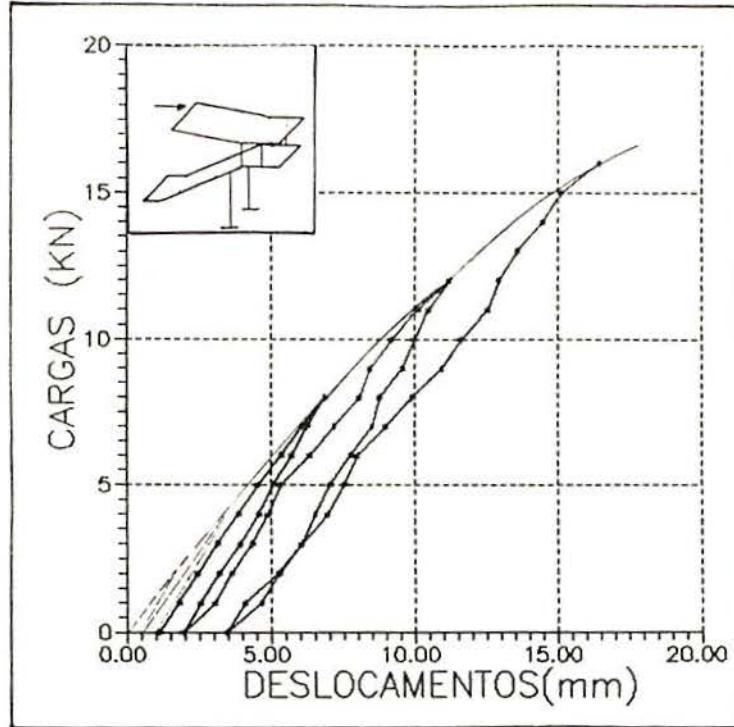


Figura 5.57: Curva Carga-Deslocamento para o relógio comparador Nº1.

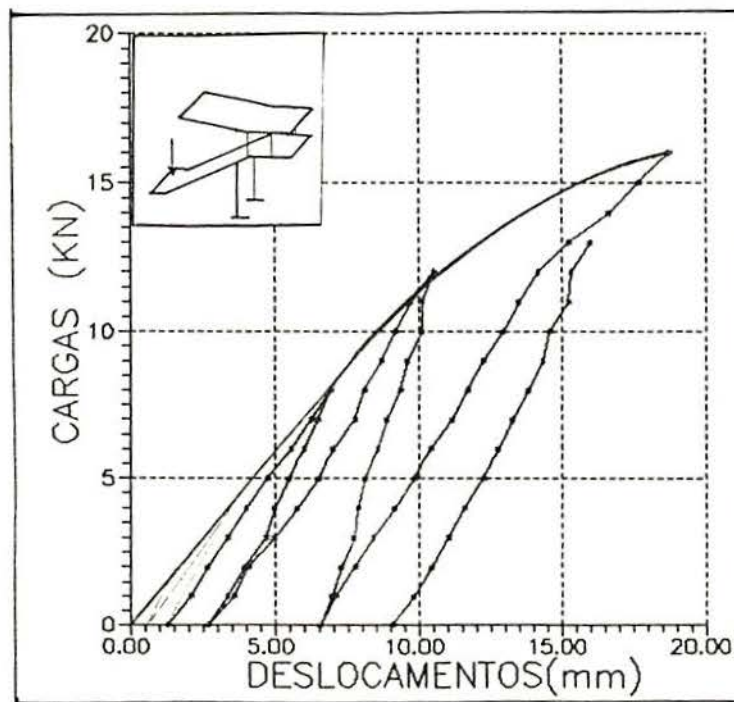


Figura 5.58: Curva Carga-Deslocamento para o relógio comparador Nº2.

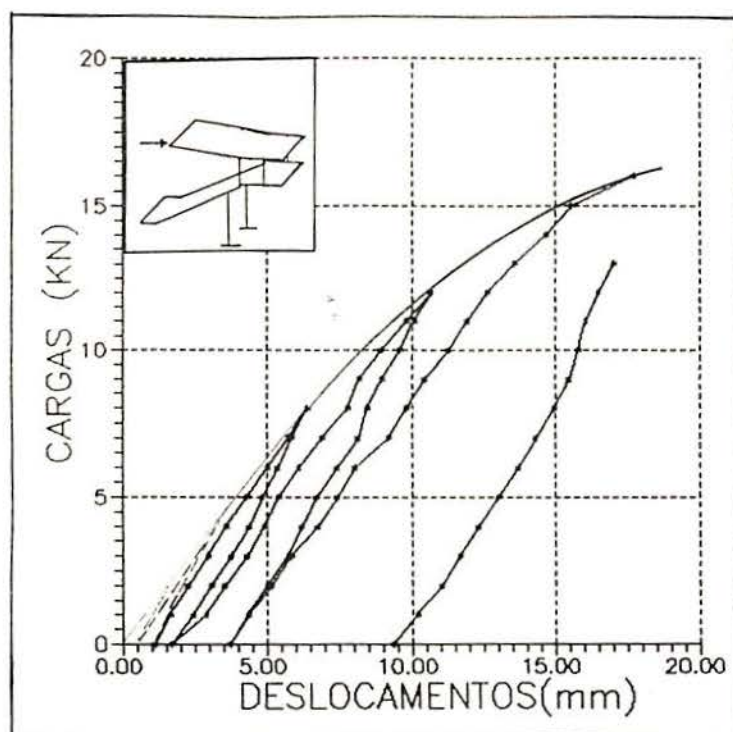


Figura 5.59: Curva Carga-Deslocamento para o relógio comparador Nº3.

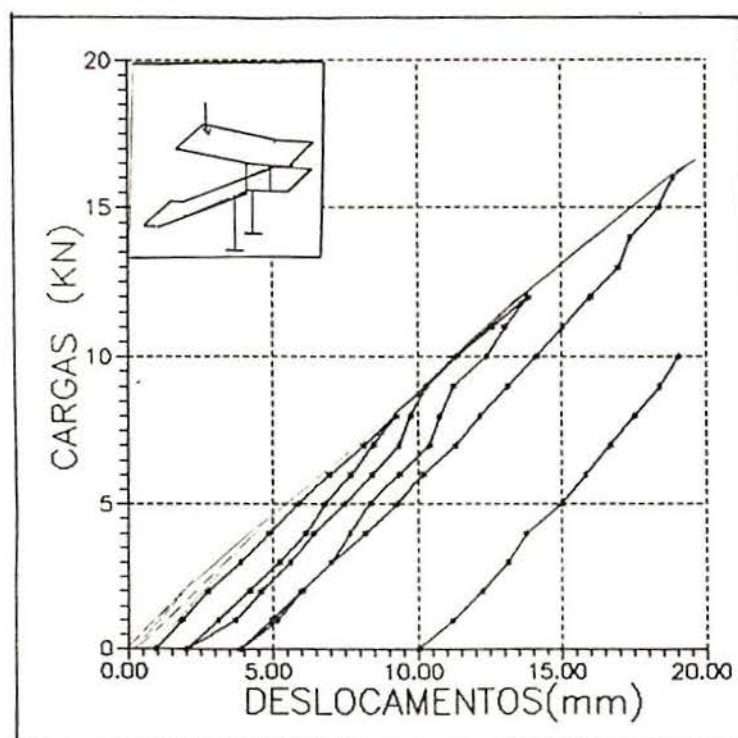


Figura 5.60: Curva Carga-Deslocamento para o relógio comparador Nº4.

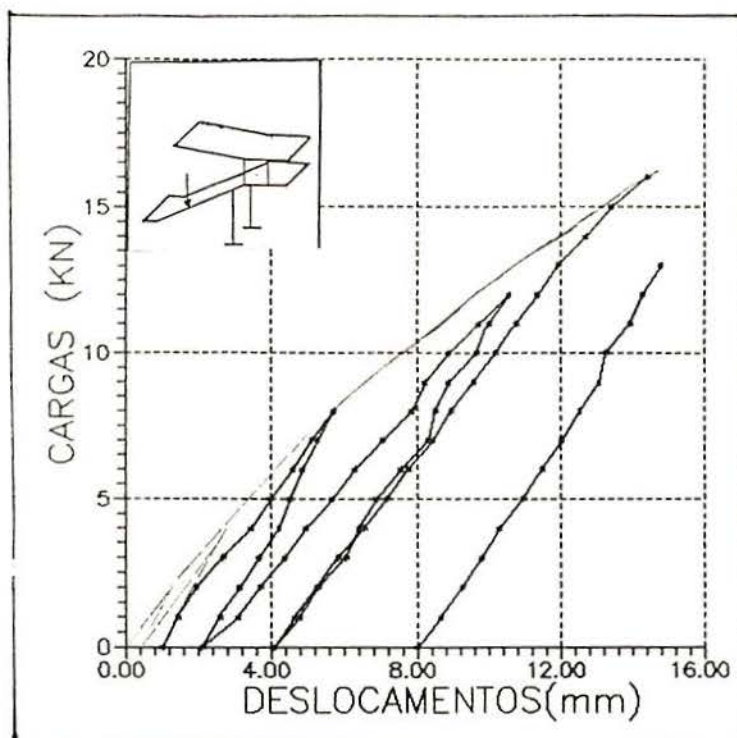


Figura 5.61: Curva Carga-Deslocamento para o relógio comparador Nº5.

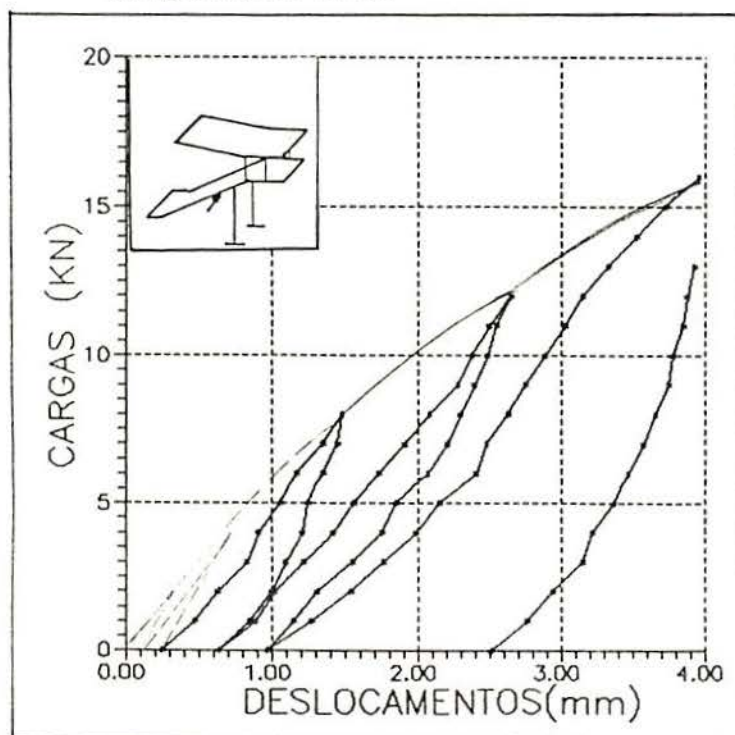


Figura 5.62: Curva Carga-Deslocamento para o relógio comparador Nº6.

Através das curvas carga-freqüência, foram confeccionados gráficos carga-freqüência adimensional obtidos através da divisão dos valores pela freqüência inicial. (figuras 5.63 a 5.67)

Com o emprego da tangente à curva carga-deslocamento, realizaram-se gráficos carga- (E/E_0) .(figuras 5.68 a 5.73). Nos mesmos gráficos representa-se a curva correspondente a f/E_0 .

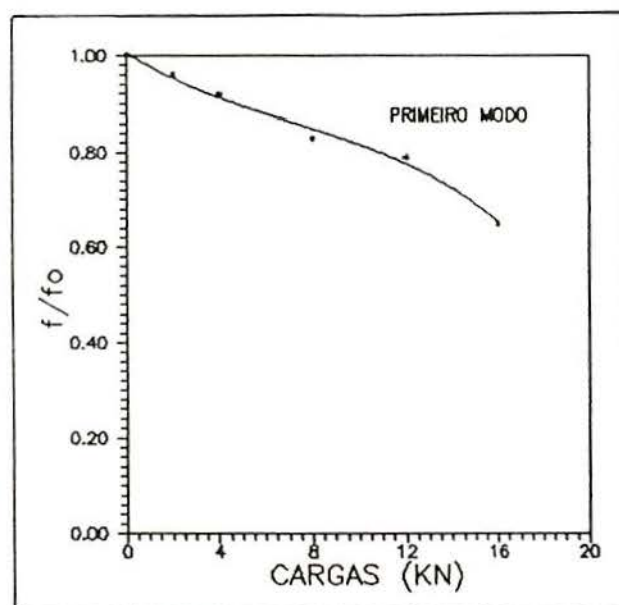


Figura 5.63: Curva carga- (f/f_0) para o primeiro modo de vibração

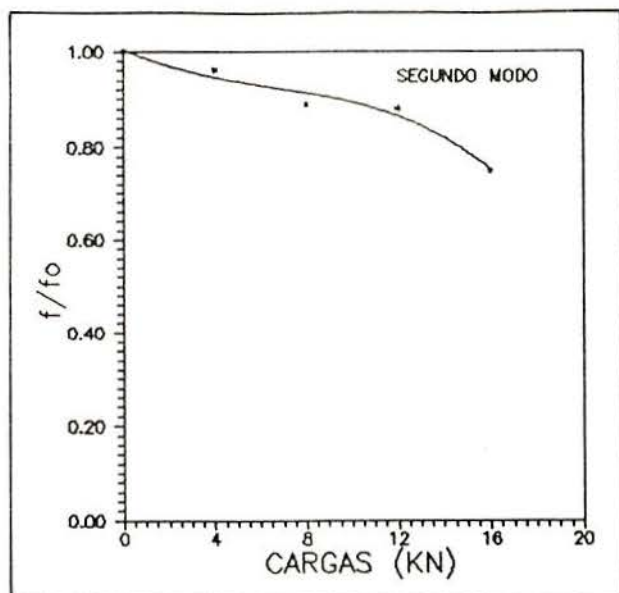


Figura 5.64: Curva carga- (f/f_0) para o segundo modo de vibração.

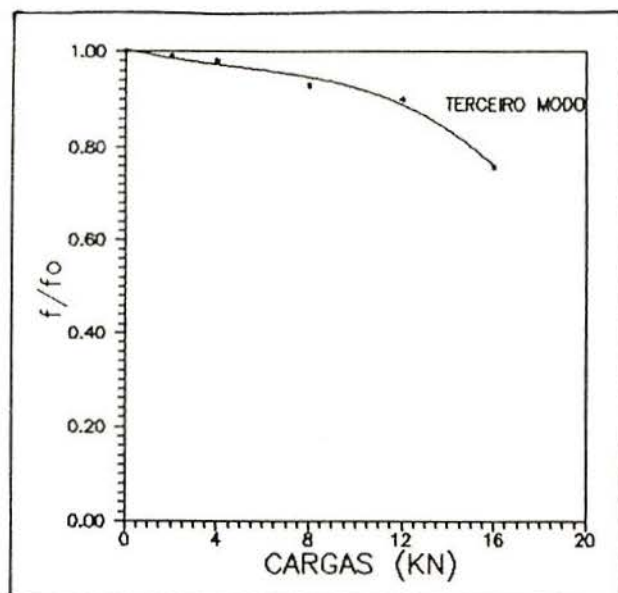


Figura 5.65: Curva carga- (f/f_0) para o terceiro modo de vibração.

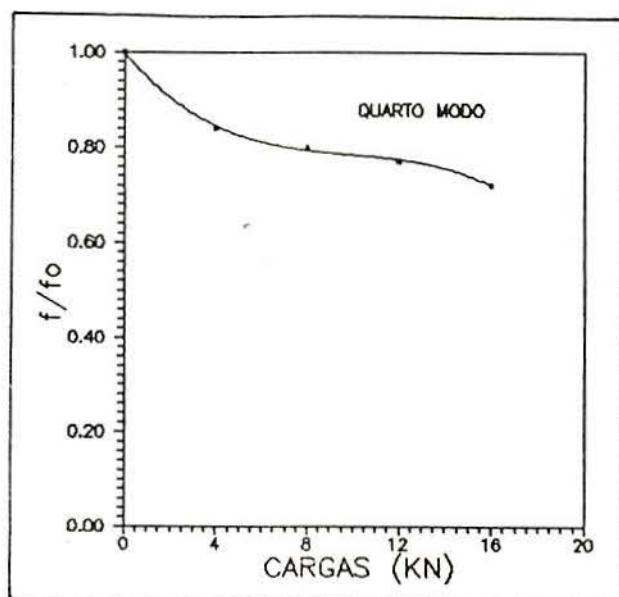


Figura 5.66: Curva carga- (f/f_0) para o quarto modo de vibração.

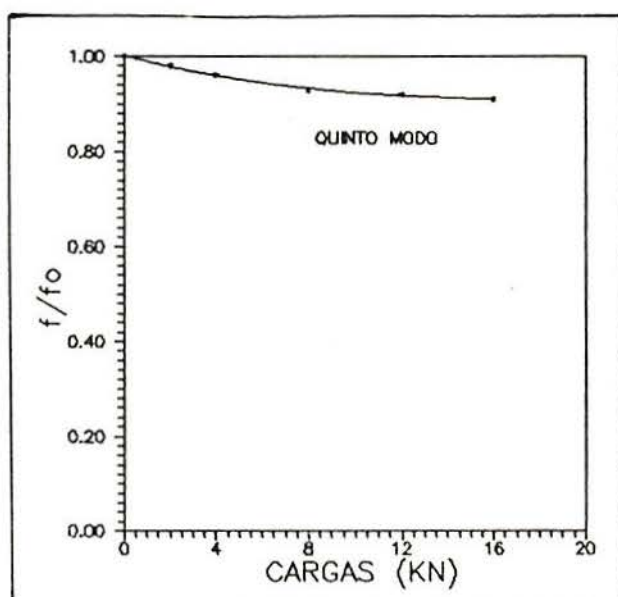


Figura 5.67: Curva carga- (f/f_0) para o quinto modo de vibração.

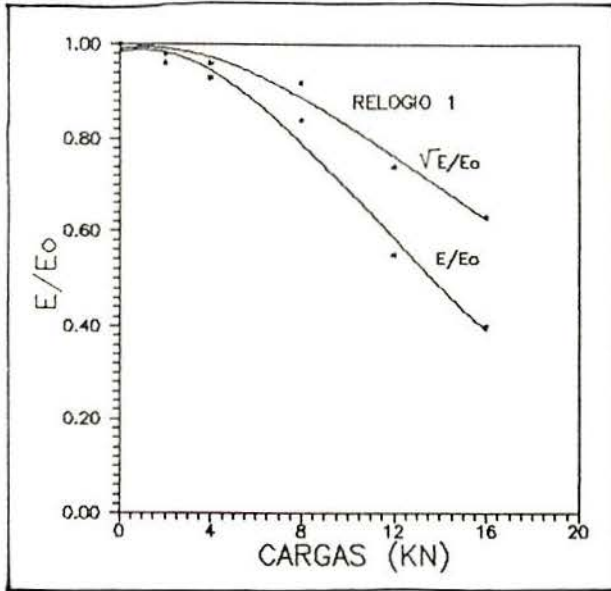


Figura 5.66: Curva carga- (E/E_0) para o relógio comp. N^o1

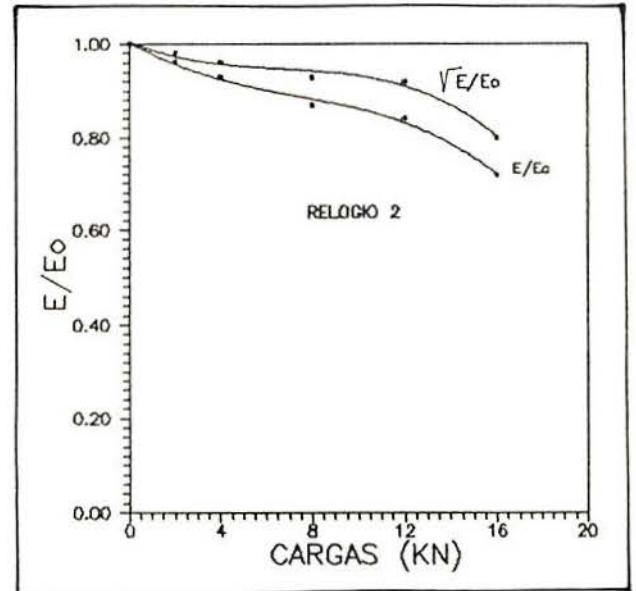


Figura 5.67: Curva carga- (E/E_0) para o relógio comp. N^o2

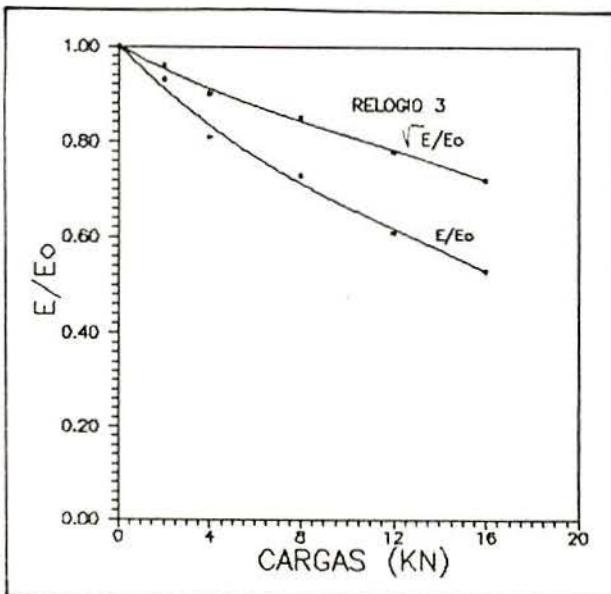


Figura 5.70: Curva carga- (E/E_0) para o relógio comp. N^o3

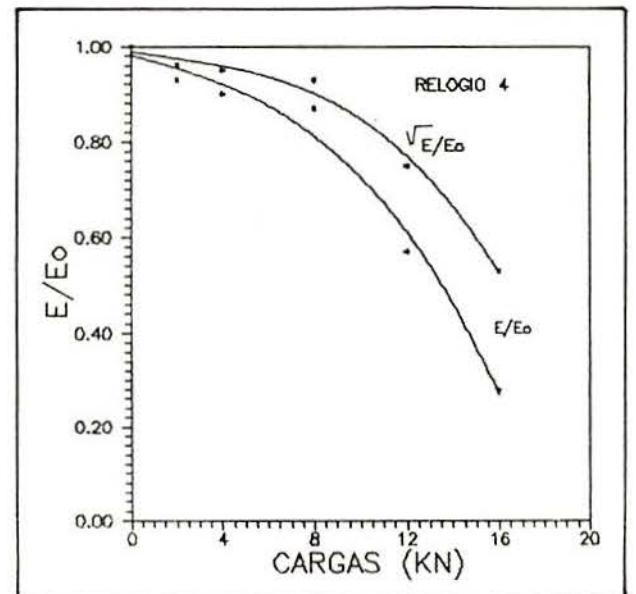


Figura 5.71: Curva carga- (E/E_0) para o relógio comp. N^o4

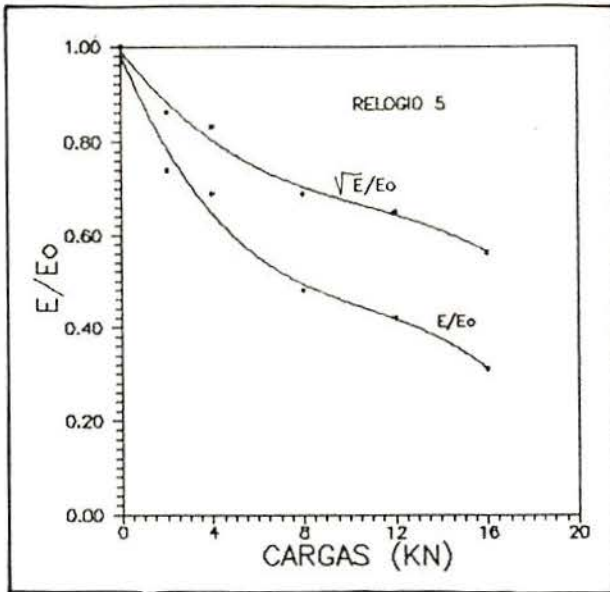


Figura 5.72: Curva carga- (E/E_0) para o relógio comp. Nº5

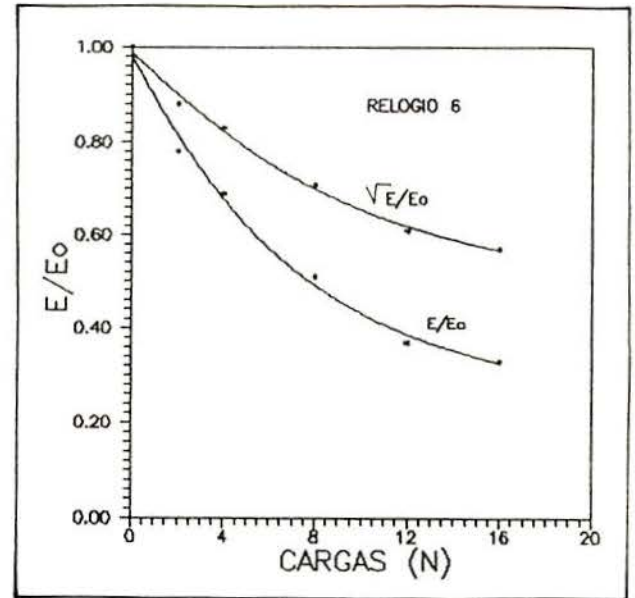


Figura 5.73: Curva carga- (E/E_0) para o relógio comp. Nº6

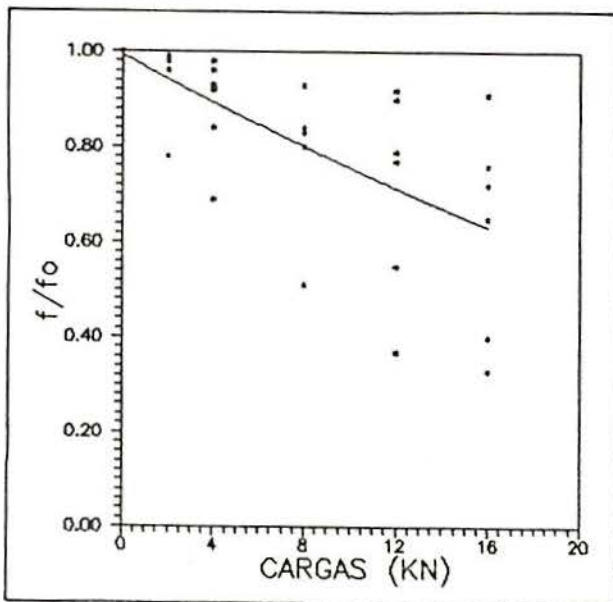


Figura 5.74: Curva Carga- (f/f_0) para a média de todos os modos de vibração.

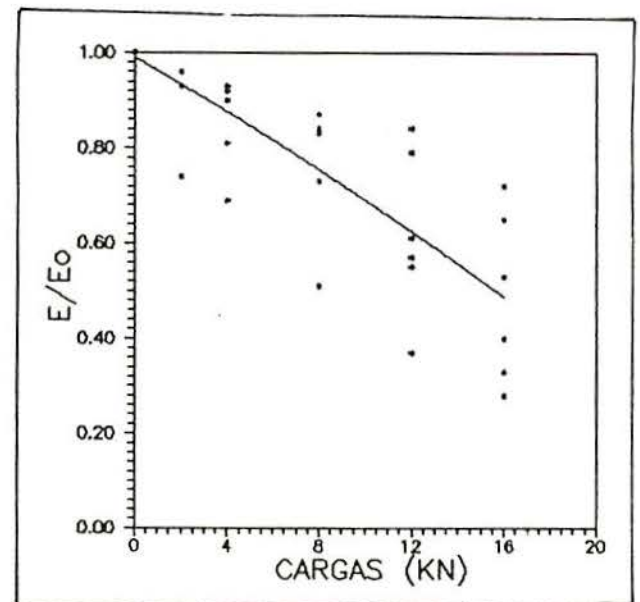


Figura 5.75: Curva carga- (E/E_0) para a média de todos os relógios comparadores.

5.7 REGISTRO DE FISSURAS

Também foi possível mediante o emprego de um fissurômetro obter os registros de fissuração para cargas de 8, 12 e 16 KN. A tabela 5.7 mostra os valores das aberturas e comprimento das fissuras detalhadas nas figuras 5.76 a 5.81.

Tabela 5.7: Registros de fissuração nos pórticos para distintas cargas.

CARGA	PÓRTICO	FISSURA	COMPRIMENTO	ESPESSURA
(KN)		Nº	(mm)	(mm)
8	2	1	205	0.10
8	3	1	150	0.10
12	2	1	280	0.10
12	3	1	200	0.10
16	2	1	280	0.20
		2	150	0.10
		3	80	0.05
		4	130	0.05
		5	110	0.05
		6	100	0.05
		7	90	0.05
		8	140	1.1
	3	1	200	0.10
		2	180	0.05
		3	150	0.05
		4	130	0.40
		5	140	0.05
		6	70	0.05

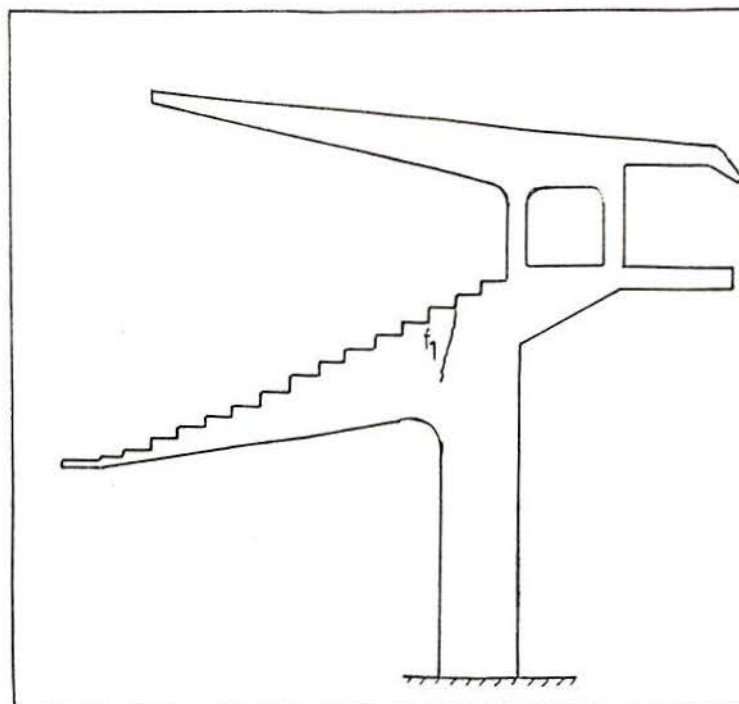


Figura 5.76: Esquema de fissuras no pórtico 2 para 8 KN.

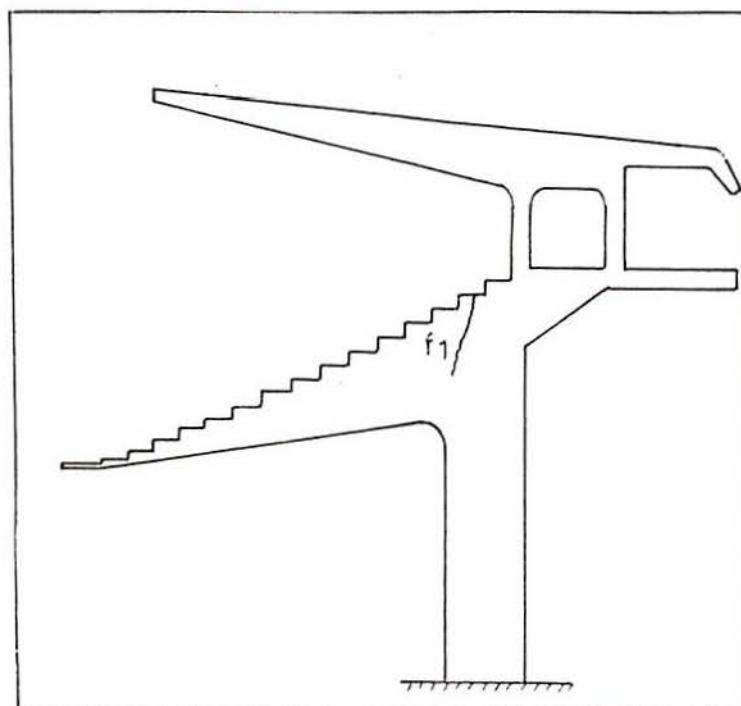


Figura 5.77: Esquema de fissuras no pórtico 3 para 8 KN.

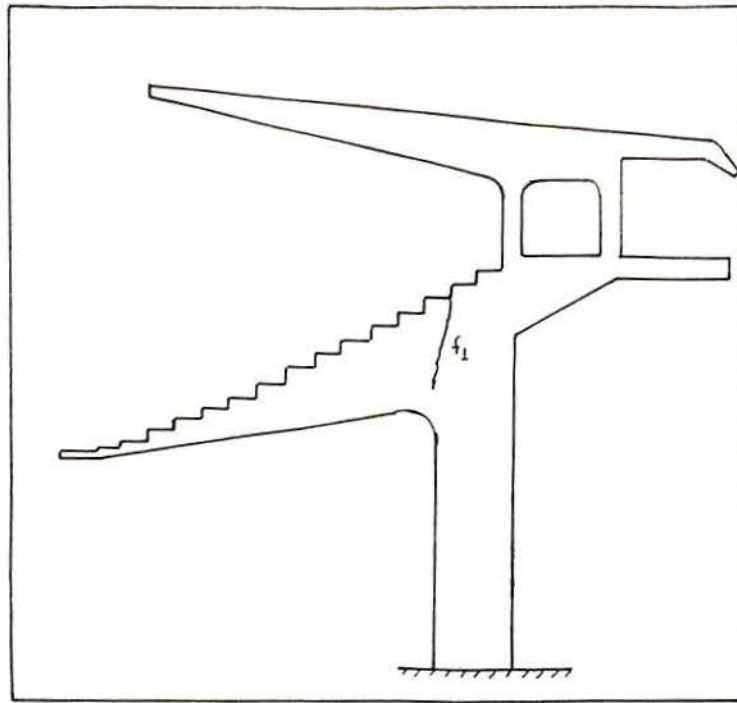


Figura 5.78: Esquema de fissuras no pórtico 2 para 12 KN.

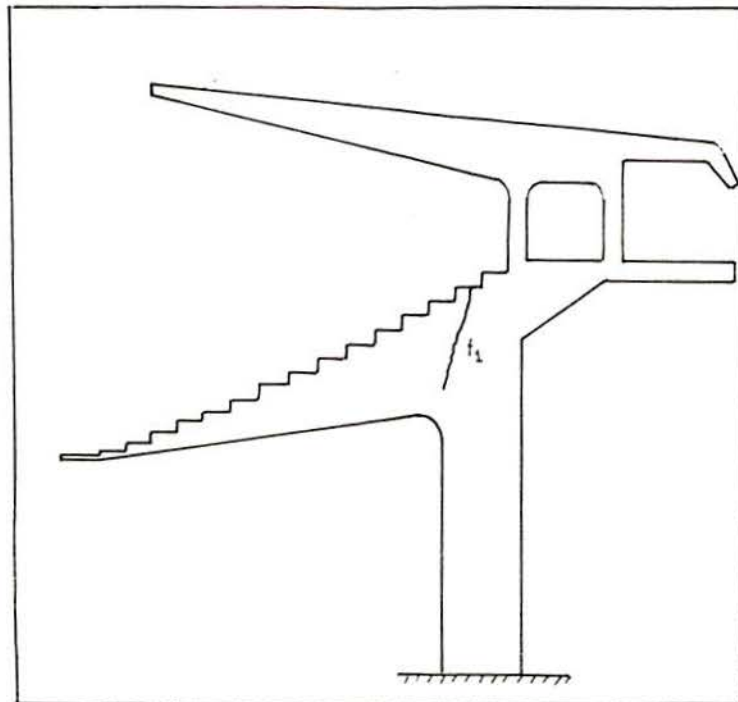


Figura 5.79: Esquema de fissuras no pórtico 3 para 12 KN.

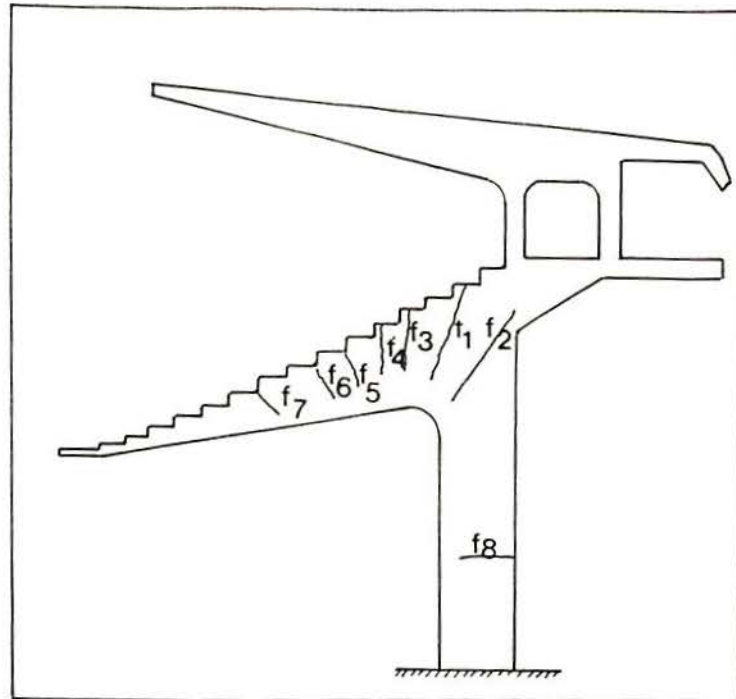


Figura 5.80: Esquema de fissuras no pórtico 2 para 16 KN.

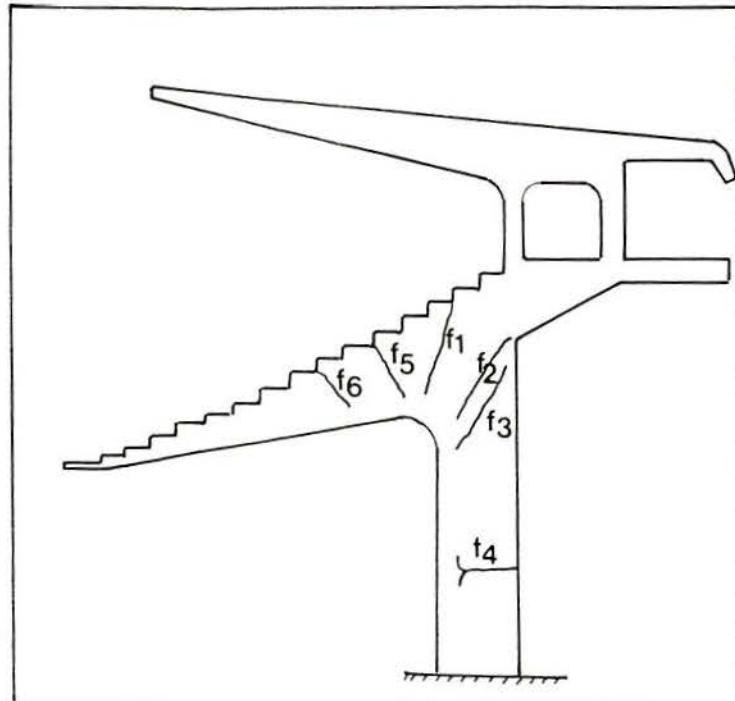


Figura 5.81: Esquema de fissuras no pórtico 3 para 16 KN.

6. ESTUDO COMPARATIVO E CONCLUSÕES

Neste capítulo é realizado um estudo comparativo dos dados obtidos com os proporcionados com um modelo anterior, o qual foi realizado em resina epoxi "Araldite" [RUBIO e RIERA] (1992). Também foram feitas comparações com modelos numéricos e medições *in loco*. Tanto o modelo anteriormente mencionado como algumas análises numéricas correspondem a outros módulos e, portanto, tem algumas pequenas diferenças nas características geométricas.

Para o modelo numérico foi utilizado o sistema COSMOS, um software de elementos finitos.[RIERA, TAMAGNA e HENNEMANN](1990)

Para as determinações *in loco* foram realizadas medições com sensores de deslocamentos (LVDT's) e de acelerações (acelerômetros), sendo achados valores de frequências naturais para os três primeiros modos de vibração, os mesmos são apresentados na tabela 6.1.

Modos	Descrição	Frequência Natural (Hz)
1	Flexão lateral do módulo	1.50
2	Flexão vertical do módulo	2.34
3	Flexão vertical do módulo	4.38

Tabela 6.1: Resultados experimentais das propriedades dinâmicas do módulo 12.

Tabela 6.2: Modos e freqüências naturais de vibração teóricas (Reproduzida de RIERA, TAMAGNA e HENNEMANN, 1990)

Modo	Freqüências Teóricas (Hz)			Comentários
	Mínima		Máxima	
	PL	PE	FP	
1		1.46		Flexo-Torção lateral do sistema
2	1.86	1.73	2.43	Flexão vertical, marquise e arquibancada em fase.
3	2.78	2.86	4.45	Flexão vertical, marquise e arquibancada fora de fase.
4		3.18		Flexão vertical das vigas da marquise e arquibancada, com pórticos extremos fora de fase.
5		4.20		Flexão vertical das vigas da marquise e arquibancada, com os pórticos extremos fora de fase.

A tabela 6.2 mostra o resumo dos resultados dos primeiros cinco modos de vibração da estrutura no seu módulo 12, os quais foram obtidos através do modelo numérico com três modelos de elementos finitos:

- Pórtico linear (elementos de barra)
- Pórtico plano (elementos de elasticidade plana)
- Pórtico espacial (elementos de vigas 3D)

Os modelos matemáticos [RIERA et al., 1990 (Rel Preliminar e Final)] correspondem ao módulo 12 da mesma estrutura, o qual apresenta características geométricas e estruturais semelhantes ao módulo ensaiado, diferindo somente em que o primeiro tem uma caixa para o placar eletrônico.

Os dois primeiros modelos numéricos mencionados foram realizados para um pórtico isolado, o que permitiu somente calcular as freqüências relacionadas aos modos de vibração verticais, e não permitiram a obtenção dos modos principais que são horizontais, onde podem se produzir os maiores deslocamentos.

Os modelos numéricos foram feitos considerando um módulo de elasticidade do concreto de 33 GN/m^2 , e o modelo em araldite com E de 40 GN/m^2 .

Tabela 6.3: Resumo dos resultados obtidos e disponíveis na bibliografia.

Modo	Frequências Naturais e Razões de Amortecimento							
	Medidas	Modelo		Modelo		Teóricas		
	Estr. Real	E:1:75		E:1:12.5				
	(Hz)	f_1	ξ_1	f_1	ξ_1	f_1 (Hz)		
	(Hz)	(%)			PL	PP	PE	
1		0.84	1.72	0.92	5.03			
2	1.50	1.75	1.11	1.90	2.08			1.53
3	2.34	1.77	1.12	2.48	1.88	1.98	2.55	1.82
4		1.78	0.83	3.61	2.15			
5	4.39	4.31	1.23	4.45	1.84	2.93	4.88	3.11

Na tabela 6.3 pode-se apreciar os resultados obtidos no modelo, assim como os correspondentes aos modelos numéricos, medições na estrutura real e outro modelo em escala reduzida, depois de efetuadas as correspondentes correções de módulo de elasticidade. Nota-se uma boa aproximação dos resultados obtidos no modelo do presente trabalho com as medições na estrutura real e o modelo numérico de pórtico plano.

Assim como no modelo de Araldite, neste modelo apareceu o primeiro modo de vibração horizontal com uma frequência em torno de 0.90 Hz . Também existe coincidência na definição dos modos de vibração em ambos modelos, exceto no segundo, o qual para os pórticos isolados, sem carga e com cada um dos degraus de carga aplicados foi achado como horizontal normal ao eixo da estrutura.

Da observação das tabelas 6.3, 5.3 e 5.4 podem ser obtidas algumas conclusões com relação às propriedades dinâmicas do sistema estrutural analisado e com relação aos métodos empregados

para obtê-las.

* O primeiro modo de vibração da estrutura é de predominância horizontal (Flexão Lateral) e sua frequência natural encontra-se dentro de uma faixa de 0.9 Hz a 1.4 Hz.

* Os quatro primeiros modos de vibração da estrutura encontram-se dentro da faixa de frequência considerada de risco, pois é uma faixa que pode ser facilmente excitada por pessoas em atividade aeróbica ou simplesmente em movimento.

* A frequência correspondente a cada modo de vibração é dependente da carga aplicada, pois nas estruturas de concreto armado existe um processo de fissuração que modifica as características dinâmicas da mesma. Isto justifica a relação entre as frequências naturais e a história de carga.

* De acordo ao mostrado nas figuras 5.74 e 5.75 foi possível concluir que, em média, no momento da ruptura detectou-se uma diminuição de (f/f_0) de 37% e uma diminuição de (E/E_0) de 51% .

* O modelo permitiu obter uma grande quantidade de informações a um custo relativamente pequeno, num prazo de cinco meses, necessários para a confecção do mesmo e dos ensaios.

* Os materiais empregados para a confecção do modelo mostraram-se adequados para a simulação do comportamento da estrutura real.

ANEXO

Tabela A.1: medições registradas no pórtico 1 na direção horizontal.

PONTO (k, j)	FREQUÊNCIA: (Hz)	γ_a mU	β_a °	γ_b mU	β_b °	DELTA 3dB (Hz)	\bar{q}_i
1.5	41.00	190.00	99.00	198.00	98.30	1.25	1.04
1.10	41.00	188.00	-130.30	103.00	-128.80	1.25	0.55
1.12	41.00	199.00	-157.20	82.40	-157.20	1.25	0.41
1.14	41.00	174.00	16.10	45.40	16.70	1.50	0.26
1.15	41.00	218.00	64.90	55.30	69.40	1.00	0.25
	41						

Tabela A.2: Medições realizadas no pórtico 1 na direção vertical.

PONTO (k, j)	FREQUÊNCIA: (Hz)	γ_a mU	β_a °	γ_b mU	β_b °	DELTA 3dB (Hz)	\bar{q}_i
1.2	41.00	108.00	-101.50	119.00	-100.70	2.00	1.10
1.3	41.00	127.00	-20.90	88.00	-18.00	2.00	0.69
1.4	41.00	134.00	0.00	47.70	1.10	2.50	0.36
1.5	41.00	31.20	-145.10	1.97	-141.40	2.25	0.06
1.6	41.00	109.00	90.70	3.89	-88.50	2.00	-0.04
1.7	41.00	122.00	-104.10	65.50	75.10	2.00	-0.54
1.8	41.00	130.00	88.60	50.50	-90.50	2.00	-0.39
1.9	41.00	118.00	-108.00	16.60	69.30	1.75	-0.14
1.10	41.50	97.50	-97.20	12.80	-90.70	1.75	0.13
1.11	41.50	133.00	119.20	36.40	-127.30	2.00	0.27
1.12	41.50	103.00	157.50	40.90	128.70	2.00	0.40
1.13	41.50	78.60	-54.40	55.30	-58.50	2.00	0.70
1.14	41.50	66.70	-73.00	55.60	-73.20	2.00	0.83
	41.19					2.02	
1.2	93.00	141.00	-96.90	152.00	-94.60	5.75	1.08
1.3	94.00	150.00	162.80	90.90	165.60	5.75	0.61
1.4	95.00	122.00	106.50	28.60	108.90	5.50	0.23
1.5	94.00	67.10	-110.30	4.55	-104.80	5.50	0.07
1.6	94.50	140.00	-102.70	23.10	42.60	5.75	-0.17
1.7	95.00	57.30	107.60	36.40	-119.70	6.25	-0.64
1.8	95.00	65.40	174.30	2.75	62.00	6.00	-0.04
1.9	95.00	82.50	111.40	2.68	29.20	6.00	-0.03
1.10	95.00	112.00	-54.20	5.54	-176.40	5.25	-0.05
1.11	95.00	141.00	-60.10	9.52	118.10	5.75	-0.07
1.12	97.00	189.00	-123.20	1.97	-32.60	5.25	-0.01
1.13	97.50	202.00	-1.50	21.70	165.60	5.25	-0.11
1.14	97.00	131.00	154.00	15.30	-48.20	5.25	-0.12
	95.15					5.63	

Tabela A.3: Medições realizadas no pórtico 1 na direção horizontal normal.

PONTO (k, j)	FREQUÊNCIA: (Hz)	γ_a nU	β_a °	γ_b nU	β_b °	$D_{\phi 1, 3dB}$ (Hz)	q_i
1.2	9.00	39.10	4.20	54.10	3.90	1.10	1.38
1.3	9.00	44.20	78.30	53.90	78.10	1.00	1.22
1.4	9.00	61.10	-24.40	64.00	-24.30	1.00	1.05
1.5	9.00	18.00	36.80	17.60	41.10	1.00	0.98
1.6	9.00	72.70	-155.00	61.60	-154.70	0.80	0.85
1.7	9.00	49.20	78.80	44.90	77.20	1.20	0.91
1.8	9.00	34.80	169.00	17.10	162.70	1.00	0.49
1.9	9.00	86.80	109.50	45.10	110.20	0.80	0.52
1.10	9.00	78.60	-101.50	35.10	-99.90	1.10	0.45
1.11	9.00	73.10	176.10	28.60	176.80	0.90	0.39
1.12	9.00	38.00	-147.30	13.10	-147.40	1.00	0.34
1.13	9.00	41.70	158.10	12.60	157.20	1.00	0.30
1.14	9.00	70.50	113.70	19.80	114.60	0.90	0.28
	9.00					0.98	
1.2	17.50	18.10	-94.90	19.00	-94.90	0.50	1.05
1.3	17.50	23.60	80.40	12.50	83.30	0.70	0.53
1.4	17.50	27.20	158.90	2.49	149.70	0.50	0.09
1.5	17.00	15.50	23.40	4.25	163.80	0.50	-0.27
1.6	17.00	18.90	-36.90	12.10	137.00	0.40	-0.64
1.7	17.00	24.70	169.90	34.80	-22.20	0.50	-1.41
1.8	17.00	33.30	-123.20	16.60	45.80	0.60	-0.50
1.9	17.00	25.10	158.30	6.45	-17.70	0.60	-0.26
1.10	17.00	45.10	113.80	3.47	44.30	0.50	0.08
1.11	17.00	27.60	-33.30	3.47	-32.90	0.50	0.13
1.12	16.50	36.50	-178.30	10.70	172.80	0.50	0.29
1.13	16.50	37.20	23.20	17.50	25.10	0.50	0.47
1.14	17.00	38.70	-74.20	27.00	-74.10	0.50	0.70
	17.04					0.52	
1.2	57.00	29.90	-138.70	15.30	-138.20	0.50	0.51
1.3	57.00	38.00	167.20	16.80	-15.80	0.50	-0.44
1.4	56.50	25.80	-36.70	21.40	142.10	0.40	-0.83
1.5	56.50	33.30	161.00	15.20	-24.50	0.30	-0.46
1.6	56.50	19.10	0.00	2.52	10.00	0.50	0.13
1.7	57.00	36.80	-81.40	4.55	-69.90	0.30	0.12
1.8	56.50	65.80	-56.20	15.20	-37.20	0.60	0.23
1.9	56.50	32.10	81.70	10.20	80.80	0.40	0.32
1.10	56.50	79.10	-149.20	33.30	-151.70	0.30	0.42
1.11	56.50	33.10	5.00	9.03	4.30	0.40	0.27
1.12	56.50	73.10	-137.80	5.50	38.00	0.50	-0.08
1.13	56.50	68.80	-23.20	47.10	153.60	0.40	-0.68
1.14	56.00	59.80	-143.00	44.60	33.10	0.40	-0.75
	56.58					0.42	

Tabela A.4 : Medições realizadas no pórtico 2 na direção horizontal.

PONTO (k, j)	FREQUÊNCIA: (Hz)	γ_a mU	β_a °	γ_b mU	β_b °	DEL. 3DB (Hz)	\bar{q}_i
1.5	44.50	57.70	-121.20	67.70	-122.40	1.25	1.17
1.10	44.50	301.00	75.80	217.00	74.90	1.50	0.72
1.12	44.50	441.00	8.30	179.00	6.90	1.50	0.41
1.14	44.50	260.00	88.30	69.40	85.20	1.25	0.27
1.15	44.50	364.00	-39.90	111.00	-40.70	1.00	0.30
	44.5						

Tabela A.5: Medições realizadas no pórtico 2 na direção vertical.

PONTO (k, j)	FREQUÊNCIA: (Hz)	γ_a mU	β_a °	γ_b mU	β_b °	delta 3 dB (%)	\bar{q}_i
1.2	44.50	147.00	-115.40	166.00	-115.70	2.00	1.13
1.3	44.00	250.00	26.70	212.00	26.70	2.00	0.85
1.4	44.00	263.00	-73.20	112.00	-73.00	1.75	0.43
1.5	44.00	280.00	-28.10	13.40	-33.10	1.75	0.05
1.6	44.00	234.00	-50.50	75.10	128.10	1.75	-0.32
1.7	44.00	294.00	-162.00	163.00	19.00	2.25	-0.55
1.8	44.00	268.00	-145.60	116.00	34.80	2.50	-0.43
1.9	44.00	239.00	-87.30	47.90	55.50	2.00	-0.20
1.10	44.00	263.00	-157.60	49.70	-157.60	1.75	0.19
1.11	44.00	455.00	135.80	203.00	134.20	1.75	0.45
1.12	44.00	229.00	-153.00	147.00	-157.50	2.00	0.64
1.13	44.00	218.00	-139.90	176.00	-140.60	2.25	0.81
1.14	44.00	222.00	129.30	229.00	133.00	2.25	1.03
	44.04					2.00	
1.2	97.00	123.00	88.40	133.00	87.60	6.00	1.08
1.3	97.00	206.00	-99.60	105.00	-100.60	5.50	0.51
1.4	98.00	53.40	98.50	8.08	104.70	5.00	0.15
1.5	97.50	97.90	-53.70	6.09	-8.40	6.00	0.06
1.6	97.00	192.00	-171.70	1.60	6.40	6.00	-0.01
1.7	97.50	180.00	36.40	9.52	-124.60	6.00	-0.05
1.8	97.00	192.00	-179.60	4.07	66.50	5.50	-0.02
1.9	97.00	207.00	93.50	2.18	-125.40	5.00	-0.01
1.10	97.00	73.10	86.00	1.54	-93.40	4.50	-0.02
1.11	97.00	100.50	58.50	2.23	158.00	6.00	-0.02
1.12	97.00	189.00	-123.20	1.97	82.60	6.00	-0.01
1.13	97.50	202.00	-1.50	21.70	165.60	4.50	-0.11
1.14	97.00	131.00	154.00	15.30	-48.20	6.00	-0.12
	97.19					5.54	

Tabela A.6: Medições realizadas no pórtico 2 na direção horizontal normal.

PONTO (k, j)	FREQUÊNCIA: (Hz)	γ_a mU	β_a °	γ_b mU	β_b °	DELTA 3dB: (Hz)	q_i
1.2	9.50	73.50	-124.70	102.00	-124.90	0.90	1.39
1.3	9.50	42.70	114.70	50.20	115.20	1.00	1.18
1.4	9.50	47.20	50.10	48.00	50.90	1.10	1.02
1.5	9.50	43.80	111.30	38.90	113.50	1.00	0.89
1.6	9.50	73.10	-18.30	64.30	-17.70	0.80	0.88
1.7	9.50	54.10	-137.70	50.80	-137.70	1.20	0.94
1.8	9.50	72.70	-66.90	39.50	-65.80	1.00	0.54
1.9	9.50	65.40	-29.50	34.60	-29.20	1.00	0.53
1.10	9.50	89.30	-93.40	42.60	-92.00	1.10	0.48
1.11	9.50	61.50	-2.90	25.00	-2.50	0.90	0.41
1.12	9.50	67.10	-85.70	24.40	-82.90	1.00	0.36
1.13	10.00	23.20	18.20	7.90	13.70	1.00	0.34
1.14	9.50	36.50	-54.90	10.60	-54.50	0.90	0.29
	9.54					0.99	
1.2	18.00	84.20	142.10	87.50	141.90	0.50	1.04
1.3	18.50	43.60	94.50	21.70	97.00	0.40	0.50
1.4	18.00	41.90	54.30	6.67	87.80	0.50	0.16
1.5	18.00	60.30	45.90	11.70	-155.00	0.50	- 0.19
1.6	18.00	58.10	-53.30	27.80	127.30	0.50	- 0.48
1.7	18.50	56.40	-51.50	60.70	126.30	0.50	- 1.08
1.8	18.00	73.50	-149.20	29.20	31.40	0.60	- 0.40
1.9	18.50	69.20	-139.90	16.70	35.80	0.50	- 0.24
1.10	18.00	82.90	-105.20	3.37	-79.40	0.50	0.04
1.11	18.50	59.80	109.60	16.70	112.00	0.50	0.28
1.12	18.00	82.90	-62.80	40.10	-61.40	0.50	0.48
1.13	18.00	33.60	74.20	25.80	71.50	0.50	0.77
1.14	18.00	42.50	114.90	42.00	111.70	0.50	0.99
	18.15					0.50	
1.2	57.00	31.00	21.20	8.75	24.70	0.50	0.28
1.3	58.50	12.90	91.70	6.35	-87.70	0.50	- 0.49
1.4	57.50	31.60	-123.10	15.10	62.80	0.50	- 0.48
1.5	57.50	46.60	112.90	8.04	-43.10	0.50	- 0.17
1.6	58.00	8.50	79.80	1.33	48.50	0.50	0.16
1.7	58.50	23.90	110.90	3.74	173.30	0.30	0.16
1.8	57.50	40.00	-150.80	9.52	-150.40	0.60	0.24
1.9	57.50	82.50	80.80	5.64	105.30	0.40	0.07
1.10	57.00	72.20	-147.00	5.93	-39.20	0.50	0.08
1.11	58.00	12.20	141.90	0.28	96.90	0.40	0.02
1.12	57.50	62.50	115.00	2.48	97.90	0.50	- 0.04
1.13	57.50	65.20	12.50	15.30	160.30	0.40	- 0.23
1.14	57.50	88.50	177.40	45.40	135.30	0.40	- 0.51
	57.65					0.46	

Tabela A.7: Medições realizadas no modelo completo, sem carregamento, na direção horizontal normal.

PONTO (k, j)	FREQUÊNCIA (Hz)	γ_a mU	β_a	γ_b mU	β_b	DELTA 3dB (Hz)	q_1
1.2	11.75	88.70	-166.10	99.50	-164.70	0.50	1.12
1.3	11.50	98.70	-35.90	113.00	-34.80	1.25	1.14
1.4	11.50	117.00	106.50	141.00	106.70	1.00	1.21
1.5	11.25	16.40	160.20	20.80	159.80	1.25	1.27
1.6	11.75	81.40	-17.40	100.00	-17.60	1.25	1.23
1.7	11.75	50.80	-87.90	63.10	-86.50	1.75	1.24
1.8	11.75	17.20	155.90	13.80	160.80	1.15	0.80
1.9	11.50	97.20	145.10	82.20	147.10	1.75	0.85
1.10	11.50	100.00	24.90	80.40	25.40	1.25	0.80
1.11	11.50	25.60	12.80	18.80	15.30	0.75	0.73
1.12	11.75	119.00	-87.10	89.90	-85.80	1.15	0.76
1.13	11.50	162.00	-112.20	119.00	-111.80	0.75	0.73
1.14	11.75	124.00	159.40	92.40	159.80	1.00	0.75
	11.60					1.14	
1.2	24.00	160.00	30.90	136.00	31.10	0.50	0.85
1.3	23.50	175.00	43.40	81.70	45.70	1.00	0.47
1.4	24.00	336.00	-11.50	30.70	-2.60	0.75	0.09
1.5	24.00	43.10	109.60	11.30	-87.40	1.00	-0.26
1.6	24.00	147.00	21.70	107.00	-164.00	1.25	-0.73
1.7	24.00	113.00	165.80	116.00	-21.20	1.25	-1.03
1.8	24.25	38.70	-89.30	19.80	82.40	1.00	-0.51
1.9	24.00	274.00	-80.20	74.80	94.70	1.50	-0.27
1.10	24.25	185.00	-172.80	20.60	-14.20	1.25	-0.11
1.11	23.75	23.75	30.90	7.89	56.10	0.75	0.33
1.12	24.00	334.00	-118.80	95.20	-118.80	0.75	0.29
1.13	24.00	350.00	-171.70	216.00	-171.30	0.75	0.62
1.14	24.00	240.00	-100.80	190.00	-100.40	1.25	0.79
	23.98					1.00	
1.2	46.00	45.50	-78.60	46.60	-77.40	1.25	1.02
1.3	45.75	239.00	-36.50	217.00	-37.40	2.00	0.91
1.4	45.50	206.00	-85.30	166.00	-87.20	2.00	0.81
1.5	46.25	53.40	-132.20	42.50	-132.20	2.00	0.80
1.6	45.75	177.00	-62.30	119.00	-67.50	2.25	0.67
1.7	45.75	124.00	-138.20	111.00	-153.80	2.50	0.90
1.8	45.25	48.20	-178.60	14.10	20.10	1.50	-0.29
1.9	45.25	45.25	-155.90	58.90	29.60	2.00	-1.30
1.10	44.75	227.00	50.20	95.90	-125.60	2.50	-0.42
1.11	45.00	84.70	61.10	40.90	-117.20	2.00	-0.48
1.12	45.25	97.20	-113.40	56.80	66.80	1.75	-0.58
1.13	45.00	164.00	-162.50	134.00	17.10	1.75	-0.82
1.14	45.25	155.00	44.40	134.00	-135.40	2.00	-0.86
	45.44					1.96	

Tabela A.8: Medições realizadas no modelo completo, sem carregamento, na direção horizontal.

PONTO (k, j)	FREQUÊNCIA (Hz)	γ_a mU	β_a	γ_b mU	β_b	DELTA 3dB (Hz)	q_1
1.2	31.25	400.00	-90.50	466.00	-91.10	0.50	1.17
1.3	31.25	389.00	96.60	378.00	96.40	0.50	0.97
1.4	31.25	281.00	-91.80	254.00	-91.90	0.50	0.90
1.5	31.25	258.00	-166.40	210.00	-166.70	0.50	0.81
1.6	31.25	468.00	-168.90	300.00	-167.10	0.50	0.64
1.7	31.25	277.00	35.60	126.00	35.60	1.00	0.45
1.8	31.25	483.00	31.30	200.00	31.60	0.50	0.41
1.9	31.25	330.00	-89.20	111.00	-89.50	0.50	0.34
1.10	31.25	448.00	124.70	129.00	125.10	0.75	0.29
1.11	31.25	477.00	-135.90	67.60	-149.20	0.50	0.14
1.12	31.25	292.00	-26.80	43.20	-28.20	0.50	0.15
1.13	31.25	574.00	4.90	95.90	3.40	0.50	0.17
1.14	31.25	557.00	141.10	87.10	140.50	1.00	0.16
	31.25					0.60	

Tabela A.9: Medições realizadas no modelo completo, sem carregamento, na direção vertical.

PONTO (k, j)	FREQUÊNCIA (Hz)	γ_a mU	β_a	γ_b mU	β_b	DELTA 3dB (ch2)	q_i
1.2	31.25	149.00	134.40	168.00	134.00	1.50	1.13
1.3	31.25	147.00	-120.50	178.00	-121.20	1.25	1.21
1.4	31.25	171.00	150.50	99.50	150.70	1.25	0.58
1.5	31.25	403.00	9.60	246.00	9.00	1.00	0.61
1.6	31.25	271.00	144.90	144.00	144.70	1.25	0.53
1.7	31.25	193.00	106.40	11.50	100.50	1.00	0.06
1.8	31.25	177.00	87.60	11.80	83.30	1.25	0.07
1.9	31.25	62.90	63.90	4.54	60.00	1.00	0.07
1.10	31.25	252.00	126.60	83.20	-53.90	1.50	-0.33
1.11	31.25	33.10	-29.40	11.40	151.20	1.25	-0.34
1.12	31.25	253.00	132.50	93.80	-48.80	1.25	-0.37
1.13	31.25	197.00	-11.90	60.30	169.10	1.25	-0.31
1.14	31.25	300.00	54.70	117.00	-124.90	1.25	-0.39
1.15	31.25	345.00	59.00	116.00	-120.80	1.25	-0.34
1.16	31.25	154.00	-177.80	13.40	7.40	0.75	-0.09
1.17	31.25	227.00	-69.10	23.50	113.90	1.00	-0.10
1.18	31.25	159.00	171.50	13.30	-0.40	1.25	-0.08
1.19	31.25	221.00	118.40	41.40	118.90	1.25	0.19
1.20	31.25	395.00	-10.10	68.40	-9.90	1.25	0.17
1.21	31.25	183.00	-35.10	28.60	-32.60	0.75	0.16
1.22	31.25	177.00	43.10	62.40	45.20	1.25	0.35
1.23	31.25	453.00	139.30	152.00	140.50	1.25	0.34
1.24	31.25	269.00	147.40	83.20	147.00	1.25	0.31
1.25	31.25	180.00	137.00	99.50	139.80	1.25	0.55
1.26	31.25	355.00	43.30	200.00	45.00	1.00	0.56
1.27	31.25	219.00	39.40	115.00	40.20	1.00	0.53
	31.25					1.17	
1.2	56.25	233.00	106.20	247.00	106.55	2.00	1.06
1.3	55.75	228.00	-178.30	284.00	180.00	2.00	1.25
1.4	56.75	186.00	15.80	46.20	18.70	1.75	0.25
1.5	56.25	206.00	-148.50	84.60	-148.00	1.50	0.41
1.6	56.25	349.00	-3.80	81.50	-2.20	2.00	0.23
1.7	56.25	227.00	42.60	2.16	47.70	1.75	0.01
1.8	56.25	230.00	155.00	5.36	147.80	2.00	0.02
1.9	55.50	107.00	-149.80	0.90	-83.70	2.00	0.01
1.10	56.25	278.00	76.70	11.30	63.80	1.75	0.04
1.11	57.00	90.60	-121.50	5.45	-118.90	2.00	0.06
1.12	56.25	173.00	-99.70	9.61	-102.90	2.00	0.06
1.13	56.25	283.00	-159.00	10.70	-179.30	1.75	0.04
1.14	56.25	330.00	99.80	21.40	83.20	1.75	0.06
1.15	56.25	265.00	21.20	10.60	8.60	1.50	0.03
1.16	56.00	255.00	-95.70	5.69	-107.60	2.00	0.02
1.17	55.75	319.00	18.90	4.19	-23.70	1.75	0.01
1.18	55.75	283.00	91.80	4.52	56.90	2.00	0.02
1.19	56.00	246.00	-63.30	12.70	115.80	1.75	-0.05
1.20	56.00	289.00	0.50	14.10	-177.70	2.00	-0.05
1.21	56.00	258.00	167.20	13.80	-14.50	2.00	-0.05
1.22	56.00	265.00	-48.60	27.00	129.60	1.50	-0.10
1.23	56.00	361.00	88.30	36.50	-86.00	1.50	-0.10
1.24	56.25	218.00	-66.80	21.30	116.70	2.00	-0.10
1.25	56.00	239.00	8.20	42.00	-168.20	2.00	-0.18
1.26	56.00	383.00	-69.20	73.70	114.40	2.00	-0.19
1.27	56.25	133.00	34.40	22.00	-144.80	1.50	-0.17
	56.02					1.84	

Tabela A.10: Medições realizadas no modelo completo, com 4 KN de carga, na direção horizontal normal.

PONTO (k, j)	FREQUENCIA (Hz)	YA μ U	OA (graus)	YB μ U	OB (graus)	DEL 3dB (Hz)	qi
1.2	10.75	57.70	179.90	57.20	-170.80	1.25	0.99
1.3	10.75	97.90	45.50	93.40	50.10	1.00	0.95
1.4	10.50	148.00	78.20	145.00	81.40	0.75	0.98
1.5	10.75	74.90	-66.60	75.60	-63.20	1.00	1.01
1.6	10.75	92.60	28.90	95.50	32.80	1.00	1.03
1.7	10.50	98.80	105.30	104.00	109.10	1.00	1.05
1.8	10.50	78.00	7.50	50.20	11.00	0.75	0.64
1.9	10.75	92.20	-7.40	59.40	-6.10	0.75	0.64
1.10	10.50	116.00	93.10	61.50	95.00	0.75	0.53
1.11	10.75	86.80	-74.10	51.50	-72.90	0.75	0.59
1.12	10.75	97.00	-24.90	56.90	-23.20	1.00	0.59
1.13	10.75	110.00	-61.50	68.00	-59.80	1.00	0.62
1.14	10.50	91.30	-166.40	50.20	-165.40	1.25	0.55
	10.65					0.94	
1.2	23.00	96.60	-65.20	72.30	-67.60	1.50	0.75
1.3	23.00	176.00	-176.60	58.80	-175.40	1.25	0.33
1.4	23.00	183.00	-99.70	17.80	-11.40	1.25	0.10
1.5	23.25	113.00	-179.90	29.00	-4.20	1.25	0.26
1.6	23.25	148.00	-58.90	90.40	116.60	1.25	0.61
1.7	23.25	149.00	-15.10	161.00	157.10	1.50	1.08
1.8	23.00	114.00	-145.20	51.00	30.70	1.25	0.45
1.9	23.00	128.00	88.20	32.20	-98.50	1.25	0.25
1.10	23.00	163.00	-82.00	16.00	69.10	1.25	0.10
1.11	23.25	126.00	-116.10	9.51	-93.00	1.00	0.08
1.12	23.00	121.00	-10.19	27.40	-0.30	1.25	0.23
1.13	23.00	151.00	168.10	74.50	178.80	1.25	0.49
1.14	23.00	125.00	-115.50	79.30	-111.30	1.50	0.63
	23.08					1.29	
1.2	37.75	33.20	45.50	32.10	55.70	5.00	0.97
1.3	37.75	35.70	-53.80	26.60	-51.90	6.00	0.75
1.4	37.75	40.10	171.50	27.50	159.00	6.75	0.69
1.5	38.50	19.80	-116.50	7.52	-122.60	5.50	0.38
1.6	37.75	20.00	-116.50	8.45	-128.00	6.50	0.42
1.7	39.50	20.40	124.00	10.75	63.60	6.00	0.53
1.8	38.50	21.30	80.30	4.62	30.70	6.25	0.22
1.9	37.50	18.90	144.60	4.05	45.00	6.25	0.21
1.10	37.75	29.90	16.90	5.73	-102.00	5.75	0.19
1.11	38.25	15.60	-160.00	4.23	40.10	6.25	0.27
1.12	37.75	26.50	52.50	12.50	-111.60	6.00	0.47
1.13	38.00	24.70	98.10	19.80	-73.50	6.00	0.80
1.14	38.25	23.50	24.20	20.10	-148.90	6.25	0.86
	38.08					6.04	0.08

Tabela A.11: Medições realizadas no modelo completo, com 4 KN de carga, na direção horizontal.

PONTO (k, j)	FREQUENCIA (Hz)	YA μ U	OA (graus)	YB μ U	OB (graus)	DEL 3dB (Hz)	qi
1.2	30.50	199.00	0.00	202.00	-1.20	0.75	1.02
1.3	31.00	110.00	67.90	88.80	66.70	0.75	0.81
1.4	30.75	165.00	-21.00	125.00	-20.80	0.50	0.76
1.5	30.75	165.00	-91.00	112.00	-91.50	1.00	0.68
1.6	30.75	200.00	-75.70	134.00	-79.90	0.75	0.67
1.7	31.00	200.00	-129.70	80.90	-130.60	0.75	0.40
1.8	30.75	158.00	41.20	59.90	40.60	0.50	0.38
1.9	30.75	171.00	129.20	46.10	130.10	0.75	0.27
1.10	31.00	183.00	-119.20	45.90	-120.30	0.75	0.25
1.11	30.75	164.00	19.10	28.30	16.90	0.75	0.17
1.12	30.75	155.00	41.60	35.60	52.00	0.50	0.23
1.13	30.75	178.00	100.20	30.80	98.70	0.75	0.17
1.14	31.00	193.00	58.80	26.60	58.70	0.75	0.14
	30.81					0.71	

Tabela A.12: Medições realizadas no modelo completo, com 4 KN de carga, na direção vertical.

PONTO (k, j)	FREQUENCIA (Hz)	YA mU	OA (graus)	YB mU	OB (graus)	DEL 3dB (Hz)	qi
1.2	31.25	98.80	-126.60	88.00	-113.80	0.50	0.89
1.3	30.75	168.00	-20.80	159.00	-19.30	0.75	0.95
1.4	31.00	201.00	87.20	96.60	91.40	0.75	0.48
1.5	30.75	83.70	-100.74	51.30	-96.80	0.75	0.61
1.6	31.00	144.00	153.70	73.90	154.70	1.00	0.51
1.7	31.00	149.00	108.10	13.40	107.00	1.00	0.09
1.8	30.75	136.00	-115.50	8.97	-125.40	0.75	0.07
1.9	31.25	57.60	-58.70	3.58	-67.50	1.25	0.06
1.10	31.00	171.00	37.50	38.90	-141.00	1.00	- 0.23
1.11	31.00	204.00	171.40	68.00	-5.90	0.75	- 0.33
1.12	31.00	180.00	-40.10	69.60	141.40	0.75	- 0.39
1.13	31.00	198.00	-37.20	58.50	148.50	0.75	- 0.30
1.14	31.00	199.00	132.70	68.80	-47.30	1.00	- 0.35
1.15	30.75	162.00	31.00	47.80	-147.60	0.75	- 0.30
1.16	30.75	156.00	12.10	19.30	-161.00	0.75	- 0.12
1.17	30.75	158.00	23.10	14.20	-166.80	0.75	- 0.09
1.18	30.75	147.00	-170.80	6.58	10.30	1.00	- 0.04
1.19	31.00	140.00	-113.90	21.50	-112.30	0.75	0.15
1.20	30.75	143.00	-17.70	23.20	-17.70	0.75	0.16
1.21	30.75	183.00	154.70	26.40	154.70	0.75	0.14
1.22	30.75	144.00	74.60	45.10	75.00	0.75	0.31
1.23	30.75	101.00	16.70	29.70	17.70	0.75	0.29
1.24	30.75	139.00	60.50	38.00	59.30	0.75	0.27
1.25	31.00	116.00	-177.00	60.40	-177.70	0.75	0.52
1.26	31.00	140.00	-157.10	69.60	-161.10	0.75	0.50
1.27	31.00	130.00	-156.60	74.50	-173.60	0.75	0.57
	30.90					0.81	
1.2	53.25	126.00	-142.20	106.00	-132.40	1.00	0.84
1.3	53.00	136.00	-39.20	125.00	-40.80	2.63	0.92
1.4	53.50	122.00	56.70	25.40	59.30	2.25	0.21
1.5	53.75	106.00	-170.00	59.10	-170.30	1.00	0.56
1.6	53.75	130.00	-15.40	35.60	-18.00	2.25	0.27
1.7	53.75	136.00	139.40	0.52	-82.60	2.25	0.01
1.8	53.75	129.00	48.60	2.50	58.30	2.00	0.02
1.9	53.50	72.70	178.20	0.70	155.90	2.75	0.01
1.10	53.50	153.00	93.90	6.75	78.90	2.00	0.04
1.11	53.25	176.00	-76.50	22.70	-96.90	2.50	0.13
1.12	53.50	133.00	148.80	18.20	126.10	2.25	0.14
1.13	53.50	148.00	53.20	8.90	47.00	2.75	0.06
1.14	53.25	163.00	48.20	13.20	28.20	2.25	0.08
1.15	53.75	122.00	-120.10	4.96	-119.70	2.00	0.04
1.16	53.75	128.00	64.40	3.05	36.50	2.00	0.02
1.17	53.75	131.00	-100.80	1.58	-146.30	2.25	0.01
1.18	53.75	116.00	-160.30	1.66	-166.00	2.25	0.01
1.19	53.75	130.00	54.90	7.29	-115.20	2.25	- 0.06
1.20	53.25	140.00	19.10	7.42	-164.80	2.00	- 0.05
1.21	53.50	147.00	92.60	8.40	-82.30	2.00	- 0.06
1.22	53.75	121.00	-40.50	13.80	137.30	2.00	- 0.11
1.23	53.75	111.00	2.00	11.30	-176.40	2.00	- 0.10
1.24	53.50	132.00	3.90	12.90	-178.90	2.25	- 0.10
1.25	53.75	127.00	-15.60	23.60	168.80	2.25	- 0.19
1.26	53.75	113.00	14.40	18.50	158.00	1.75	- 0.16
1.27	53.50	131.00	-10.50	16.20	178.40	2.00	- 0.12
	53.57					2.11	

Tabela A.13: Medições realizadas no modelo completo, com 8 KN de carga, na direção horizontal normal.

PONTO (i, j)	FREQUÊNCIA: (Hz)	YA μU	αA °	YB μU	αB °	DEL 3DB (Hz)	qi
1.2	9.75	62.00	-128.70	68.30	-122.90	0.75	1.10
1.3	9.50	86.80	99.00	90.70	104.50	0.75	1.04
1.4	9.75	70.90	0.80	74.50	4.70	0.75	1.05
1.5	9.75	44.50	0.20	47.20	0.50	0.75	1.06
1.6	9.50	47.50	-112.70	50.70	-107.60	0.75	1.07
1.7	9.75	52.30	-67.10	58.50	-65.30	1.00	1.12
1.8	9.75	65.10	66.50	44.20	70.60	0.75	0.68
1.9	9.75	65.10	50.90	43.70	54.20	1.00	0.67
1.10	9.50	69.10	81.10	43.70	82.40	1.00	0.63
1.11	9.75	57.20	-36.00	29.00	-36.90	1.00	0.51
1.12	9.75	59.40	-148.80	36.70	-147.00	0.75	0.62
1.13	9.50	43.90	-81.70	25.40	-80.30	0.75	0.58
1.14	9.50	79.30	171.80	45.30	177.50	0.75	0.57
	9.65					0.83	
1.2	21.50	60.70	-79.80	41.50	-76.60	1.50	0.68
1.3	21.50	84.60	-5.30	28.30	2.50	1.50	0.33
1.4	21.25	55.80	-148.60	5.60	-87.30	1.50	0.10
1.5	21.75	36.10	17.70	10.70	-176.30	1.50	-0.30
1.6	21.25	42.50	-60.10	25.10	109.30	2.00	-0.59
1.7	21.50	40.50	126.70	42.10	-64.10	1.75	-1.04
1.8	21.50	56.70	-63.30	26.00	107.80	1.75	-0.46
1.9	21.25	59.40	-4.60	16.20	154.40	1.50	-0.27
1.10	21.25	63.80	-128.90	6.71	-19.30	1.75	-0.11
1.11	21.25	52.10	-64.90	6.10	-41.40	1.50	0.12
1.12	21.25	56.70	122.30	12.90	142.70	1.50	0.23
1.13	21.00	46.50	130.20	22.50	135.00	1.75	0.48
1.14	21.25	86.80	-19.50	55.90	-16.40	1.75	0.64
	21.35					1.63	
1.2	37.25	19.50	-25.60	17.90	16.50	3.75	0.92
1.3	36.75	30.60	22.90	22.80	19.40	3.75	0.75
1.4	36.25	25.30	46.00	11.90	51.40	4.50	0.47
1.5	36.75	9.91	-141.70	5.23	-153.30	4.25	0.53
1.6	37.00	15.90	-58.20	8.90	-72.40	3.75	0.56
1.7	36.50	12.60	-22.50	21.00	-87.90	4.25	1.67
1.8	36.75	17.20	-146.60	4.05	168.60	4.25	-0.24
1.9	36.75	17.70	-157.40	3.61	104.10	5.00	-0.20
1.10	36.50	23.70	-9.90	4.72	-139.10	5.00	-0.20
1.11	36.75	13.60	-143.40	4.13	64.90	3.75	-0.30
1.12	36.75	14.00	-143.00	7.00	72.00	4.25	-0.50
1.13	35.50	16.70	-93.00	12.50	91.80	4.50	-0.75
1.14	35.75	26.60	-82.90	25.80	102.40	4.25	-0.97
	36.56					4.25	

Tabela A.14: Medições realizadas no modelo completo, com 8 KN de carga, na direção horizontal.

PONTO (i, j)	FREQUÊNCIA: (Hz)	YA μU	αA °	YB μU	αB °	DEL 3DB (Hz)	qi
1.2	28.25	199.00	-30.30	17.30	30.60	1.75	0.09
1.3	28.75	110.00	52.50	18.60	116.70	1.75	0.17
1.4	28.50	97.50	57.90	19.40	117.40	1.75	0.20
1.5	28.50	82.90	128.80	21.60	-174.80	1.50	0.26
1.6	28.50	99.70	-70.50	34.80	-28.10	1.75	0.35
1.7	28.50	64.20	-146.10	21.20	-108.00	1.75	0.33
1.8	28.75	105.00	170.50	32.60	-159.40	2.00	0.31
1.9	28.75	96.60	-71.80	29.50	-52.40	1.75	0.31
1.10	28.75	106.00	57.30	27.80	73.70	1.75	0.26
1.11	28.75	88.20	140.90	10.80	159.10	2.25	0.12
1.12	29.00	65.60	56.90	13.60	70.10	1.75	0.21
1.13	28.50	104.00	-77.50	18.30	-62.30	1.50	0.18
1.14	28.75	107.00	-156.50	14.80	-146.70	1.50	0.14
	28.63					1.75	

Tabela A.15: Medições realizadas no modelo completo, com 8 KN de carga, na direção vertical.

PONTO (i, j)	FREQUÊNCIA (Hz)	YA mU	ØA °	YB mU	ØB °	DEL 30B (Hz)	q1
1.2	28.75	121.00	82.50	100.00	109.40	1.75	0.83
1.3	28.75	110.00	-106.90	112.00	-102.90	1.50	1.02
1.4	28.75	144.00	13.50	73.40	16.40	1.25	0.51
1.5	28.75	113.00	152.50	68.50	153.10	1.25	0.61
1.6	28.75	121.00	-11.50	63.10	-11.60	1.50	0.52
1.7	29.00	152.00	-65.30	7.21	-66.70	1.50	0.05
1.8	29.00	128.00	74.40	10.20	73.60	1.50	0.08
1.9	29.00	70.00	-107.90	4.69	-119.70	1.50	0.07
1.10	29.00	84.60	-1.50	26.60	176.60	1.25	-0.31
1.11	29.00	135.00	-22.80	51.80	159.40	1.50	-0.38
1.12	29.00	75.80	-35.70	41.80	82.30	1.50	-0.55
1.13	28.75	99.20	-13.20	32.00	169.40	1.50	-0.32
1.14	29.00	134.00	-12.40	51.80	170.00	1.50	-0.39
1.15	28.75	72.20	-19.20	25.10	163.80	1.50	-0.35
1.16	29.00	84.60	-34.10	9.78	148.20	1.50	-0.12
1.17	29.00	106.00	-2.30	9.31	-175.60	1.50	-0.09
1.18	29.00	88.20	81.00	3.58	-84.70	1.50	-0.04
1.19	29.00	131.00	157.70	24.80	161.30	1.50	0.19
1.20	28.75	116.00	28.40	19.60	29.50	1.25	0.17
1.21	28.75	86.40	-121.30	12.90	-116.70	1.50	0.15
1.22	29.00	93.50	-8.60	32.80	-5.30	1.25	0.35
1.23	29.00	78.40	55.20	27.10	58.00	1.25	0.35
1.24	29.00	51.20	-68.30	15.30	-68.00	1.00	0.30
1.25	29.00	116.00	26.80	66.60	28.80	1.75	0.57
1.26	28.75	52.90	18.20	29.80	20.00	1.50	0.56
1.27	31.00	72.20	51.00	37.50	54.40	1.25	0.52
	28.98					1.43	
1.2	52.25	170.00	-87.40	131.00	-70.40	2.75	0.77
1.3	52.50	144.00	103.60	161.00	105.00	2.25	1.12
1.4	52.25	180.00	51.50	34.80	59.10	2.25	0.19
1.5	52.00	143.00	96.10	78.10	97.60	2.25	0.55
1.6	52.25	144.00	43.20	37.50	45.20	2.25	0.26
1.7	52.50	178.00	-117.00	2.18	-116.60	2.25	0.01
1.8	52.25	163.00	137.70	7.56	130.60	2.25	0.05
1.9	52.50	101.00	113.20	1.72	55.40	2.50	0.02
1.10	52.50	119.00	-57.40	5.67	-77.30	2.00	0.05
1.11	52.25	161.00	100.00	22.10	73.70	2.50	0.14
1.12	52.75	128.00	36.00	11.30	-4.70	2.50	0.09
1.13	52.25	145.00	70.80	5.36	45.30	2.00	0.04
1.14	52.25	179.00	160.40	14.20	141.00	2.25	0.08
1.15	52.50	114.00	-86.50	5.03	-109.20	2.25	0.04
1.16	52.25	129.00	-50.20	4.42	-63.50	2.25	0.03
1.17	52.50	165.00	10.50	3.64	-38.20	2.25	0.02
1.18	52.25	140.00	-162.80	0.63	-148.00	2.25	.00
1.19	52.25	176.00	52.90	9.38	-128.90	2.25	-0.05
1.20	52.25	182.00	-153.80	9.44	24.40	2.25	-0.05
1.21	52.50	126.00	143.50	7.96	-33.20	2.25	-0.06
1.22	52.50	152.00	-135.30	13.70	47.80	2.50	-0.09
1.23	52.50	145.00	82.60	14.20	-98.30	2.25	-0.10
1.24	52.75	103.00	34.30	9.65	-151.20	2.25	-0.09
1.25	52.25	177.00	-65.80	28.60	122.80	2.50	-0.16
1.26	52.75	101.00	97.50	19.70	-79.40	2.25	-0.20
1.27	52.50	124.00	-81.40	21.00	105.40	2.25	-0.17
	52.39					2.30	

Tabela A.16: Medições realizadas no modelo completo, com 12 KN de carga, na direção horizontal normal.

PONTO (i, j)	FREQUÊNCIA: (Hz)	YA mU	ØA (Graus)	YB mU	ØB (Graus)	DELTA 3dB: (Hz)	qi
1.2	9.00	67.80	175.70	75.00	-178.90	1.00	1.11
1.3	9.25	60.30	-131.10	62.90	-127.50	1.00	1.04
1.4	9.00	55.20	125.80	59.40	128.40	1.00	1.08
1.5	9.25	107.10	-42.30	52.10	110.50	0.75	0.49
1.6	9.00	40.50	-117.30	42.10	-114.90	1.00	1.04
1.7	9.00	61.10	1.30	68.30	5.60	1.00	1.12
1.8	9.25	57.20	-78.30	39.90	-74.70	1.00	0.70
1.9	9.25	45.40	82.00	33.30	86.90	1.00	0.73
1.10	9.00	50.50	-21.50	34.80	-17.80	1.00	0.69
1.11	9.25	59.80	77.70	38.60	79.80	1.00	0.65
1.12	9.25	62.00	-25.40	34.80	-19.10	1.00	0.56
1.13	9.25	55.40	-143.30	33.30	-141.00	0.75	0.60
1.14	9.00	63.80	176.80	37.00	-179.10	0.75	0.58
	9.13					0.94	
1.2	20.75	89.50	70.90	69.60	73.50	1.25	0.78
1.3	21.25	90.40	171.70	31.30	175.40	1.00	0.35
1.4	21.25	82.90	120.10	2.33	176.80	1.00	0.03
1.5	21.25	78.40	-118.10	20.50	57.20	1.25	-0.26
1.6	21.00	64.20	-83.70	38.60	90.00	1.50	-0.60
1.7	21.00	85.10	7.50	101.00	-180.00	1.25	-1.19
1.8	21.25	80.60	147.20	37.00	-41.40	1.25	-0.46
1.9	21.25	65.60	72.60	18.20	-114.50	1.50	-0.28
1.10	21.00	81.10	23.30	9.51	179.00	1.25	-0.12
1.11	21.25	89.90	105.20	7.12	143.50	1.25	0.08
1.12	21.00	88.60	95.50	21.60	104.20	1.25	0.24
1.13	21.00	78.90	142.70	42.60	148.70	1.25	0.54
1.14	21.00	86.40	-176.50	62.60	-172.30	1.25	0.72
	21.10					1.25	
1.2	34.25	33.80	30.60	32.60	32.50	7.75	0.96
1.3	34.50	21.60	-168.80	16.00	-170.50	5.00	0.74
1.4	34.75	19.40	-90.80	9.11	-81.70	3.75	0.47
1.5	35.50	16.30	37.80	6.78	40.50	3.75	0.42
1.6	35.25	16.80	-154.80	10.50	-169.60	5.00	0.63
1.7	34.75	21.30	85.80	15.50	7.20	5.00	0.73
1.8	35.25	21.60	87.80	6.24	62.40	3.75	0.29
1.9	35.25	20.50	58.30	5.99	61.00	3.75	0.29
1.10	35.25	17.50	81.20	3.37	-27.30	3.75	-0.19
1.11	35.00	18.70	-62.60	5.23	134.00	6.00	-0.28
1.12	34.75	20.70	11.90	11.10	-159.80	4.25	-0.54
1.13	35.00	16.70	-141.60	14.00	42.60	4.25	-0.84
1.14	34.75	21.90	43.80	19.40	-131.40	5.00	-0.89
	34.94					4.69	

Tabela A.17: Medições realizadas no modelo completo, com 12 KN de carga, na direção horizontal.

PONTO (k, j)	FREQUENCIA: (Hz)	YA mU	ØA (Graus)	YB mU	ØB (Graus)	DELTA 3dB: (Hz)	qi
1.2	28.25	85.50	15.40	92.30	12.90	1.00	1.08
1.3	28.00	88.60	-18.50	65.30	-18.60	1.00	0.74
1.4	28.25	120.00	-61.40	81.50	-62.10	1.25	0.68
1.5	28.00	126.00	176.80	110.00	176.10	1.00	0.87
1.6	27.75	149.00	-117.40	126.00	-118.70	1.00	0.85
1.7	28.25	107.00	69.40	48.60	69.10	1.00	0.45
1.8	28.25	124.00	160.20	51.80	158.30	1.25	0.42
1.9	28.00	104.00	160.40	38.60	159.10	1.00	0.37
1.10	28.25	86.00	-24.70	26.00	-22.90	1.00	0.30
1.11	28.00	116.00	3.50	18.60	2.40	1.00	0.16
1.12	28.25	65.60	56.90	13.60	70.10	1.25	0.21
1.13	28.00	104.00	-77.50	18.30	-62.30	1.00	0.18
1.14	28.25	107.00	-156.50	14.80	-146.70	1.00	0.14
	28.12					1.06	

Tabela A.18: Medições realizadas no modelo completo, com 12 KN de carga, na direção vertical.

PONTO (i, j)	FREQUÊNCIA (Hz)	YA μU	βA (Graus)	YB μU	βB (Graus)	DELTA 3dB (Hz)	qi
1.2	28.00	158.00	58.40	93.90	103.70	1.25	0.59
1.3	28.00	97.00	-171.20	79.30	-139.00	1.00	0.82
1.4	25.25	131.00	-126.10	55.30	-96.30	1.25	0.42
1.5	28.25	119.00	140.10	64.80	160.40	1.00	0.54
1.6	28.50	130.00	-45.70	59.90	-26.40	1.00	0.46
.7	28.25	101.00	176.30	7.18	-59.50	0.75	0.07
1.8	28.25	135.00	65.30	10.70	80.60	0.75	0.08
1.9	28.25	157.00	24.50	6.95	29.90	1.25	0.04
1.10	28.25	79.80	117.50	25.00	-56.90	1.50	-0.31
1.11	28.25	95.30	-58.80	36.40	122.20	0.75	-0.38
1.12	28.25	115.60	-126.10	50.20	55.50	0.75	-0.43
1.13	28.25	143.00	-29.20	50.20	143.20	1.00	-0.35
1.14	28.25	97.90	-156.80	44.00	25.10	0.75	-0.45
1.15	28.50	130.00	-61.10	41.00	119.50	0.75	-0.32
1.16	28.50	100.00	-69.70	11.50	142.40	1.25	-0.12
1.17	28.50	117.00	-134.30	13.80	48.70	1.00	-0.12
1.18	28.50	118.00	57.20	8.60	-120.90	0.75	-0.07
1.19	28.25	81.10	11.00	13.60	115.20	1.00	0.17
1.20	28.25	109.00	58.30	19.00	65.40	1.25	0.17
1.21	28.25	108.00	23.90	18.10	25.60	0.75	0.17
1.22	28.25	137.00	115.70	50.20	117.10	1.00	0.37
1.23	28.25	69.60	53.80	25.50	57.00	0.75	0.37
1.24	28.50	136.00	85.40	54.20	85.80	1.25	0.40
1.25	28.50	128.00	-141.20	81.50	-139.70	0.75	0.64
1.26	28.25	121.00	156.50	72.90	156.10	1.00	0.60
1.27	28.50	121.00	89.10	78.80	85.60	0.75	0.65
	28.19					0.97	
1.2	51.50	194.00	126.40	118.00	161.80	2.50	0.61
1.3	51.50	113.00	57.40	118.00	75.00	2.00	1.04
1.4	51.75	138.00	-175.60	26.40	-153.20	2.25	0.19
1.5	51.75	142.00	-142.50	72.30	-130.00	2.25	0.51
1.6	52.00	141.00	136.40	40.20	148.70	2.00	0.29
.7	52.00	138.00	66.50	2.82	74.80	2.25	0.02
1.8	52.25	155.00	-62.40	21.20	-66.20	2.00	0.14
1.9	51.75	160.00	63.90	4.38	67.00	2.25	0.03
1.10	52.00	89.90	141.80	5.84	115.60	2.50	0.06
1.11	52.00	113.00	-86.60	18.30	-111.00	2.00	0.16
1.12	52.00	116.00	38.30	15.90	12.60	2.00	0.14
1.13	52.00	149.00	58.40	7.66	43.10	2.00	0.05
1.14	52.00	130.00	169.00	11.20	148.00	2.25	0.09
1.15	52.00	134.00	168.20	4.76	146.00	2.25	0.04
1.16	51.75	122.00	50.90	2.09	25.70	2.25	0.02
1.17	52.25	152.00	-159.30	3.96	-172.70	2.25	0.03
1.18	52.00	119.00	-57.20	1.96	-95.90	2.25	0.02
1.19	52.00	93.00	-112.90	3.58	64.90	2.25	-0.04
1.20	52.25	123.00	-94.40	7.22	60.10	1.75	-0.06
1.21	52.25	120.00	114.60	7.12	-70.40	2.25	-0.06
1.22	51.75	131.00	137.60	12.00	-38.10	2.25	-0.09
1.23	52.00	94.40	-151.30	10.40	37.70	2.00	-0.11
1.24	51.75	144.00	107.60	17.10	-66.00	2.00	-0.12
1.25	52.00	147.00	131.70	24.80	-41.40	2.25	-0.17
1.26	52.25	130.00	91.90	22.50	-86.10	2.25	-0.17
1.27	52.00	136.00	130.10	19.70	-50.50	2.25	-0.14
	51.95					2.17	

Tabela A.19: Medições realizadas no modelo completo, com 16 KN de carga, na direção horizontal normal.

PONTO (k, j)	FREQUÊNCIA (Hz)	YA mU	βA (Graus)	YB mU	βB (Graus)	DEL 30B (Hz)	\bar{q}_i
1.2	7.75	37.90	101.40	32.20	115.00	1.50	0.85
1.3	7.75	38.80	83.60	41.20	90.00	1.25	1.06
1.4	7.75	39.90	-88.50	39.50	-63.60	1.25	0.99
1.5	7.50	39.90	144.50	33.70	153.90	1.25	0.84
1.6	7.50	38.80	-137.10	38.20	-115.80	1.50	0.98
1.7	7.50	39.40	120.70	38.40	130.50	1.25	0.97
1.8	7.75	34.80	157.40	25.40	167.60	1.00	0.73
1.9	7.50	45.00	144.60	30.00	149.10	1.50	0.67
1.10	7.50	45.20	159.20	24.50	176.70	1.00	0.54
1.11	7.50	49.00	-87.00	21.90	-83.10	1.25	0.45
1.12	7.75	39.00	-39.90	16.90	-35.20	1.00	0.43
1.13	7.50	45.00	102.40	17.60	96.00	1.25	0.39
1.14	7.50	50.50	102.70	17.20	98.70	1.25	0.34
	7.60					1.25	
1.2	18.25	66.70	176.70	26.30	178.20	1.25	0.39
1.3	18.00	64.20	90.50	10.30	110.80	1.25	0.16
1.4	18.25	65.60	-137.40	15.60	29.10	1.25	-0.24
1.5	18.00	68.20	13.50	24.30	-179.80	1.50	-0.36
1.6	18.25	62.90	12.00	41.20	-172.00	1.25	-0.66
1.7	18.00	63.40	88.20	58.60	-97.50	1.25	-0.92
1.8	18.00	58.00	-7.90	31.20	171.80	1.25	-0.54
1.9	18.00	71.80	56.00	61.60	-147.00	1.25	-0.86
1.10	18.00	71.80	-90.20	13.10	59.80	1.00	-0.18
1.11	17.75	74.00	-64.60	15.60	-44.40	1.00	0.21
1.12	18.25	71.30	-54.00	20.90	-51.50	1.25	0.29
1.13	18.25	59.50	-52.00	15.00	-50.00	1.50	0.25
1.14	18.25	80.20	-30.50	58.40	-34.70	1.25	0.73
	18.10					1.25	
1.2	32.75	23.90	-28.60	19.10	-20.90	5.25	0.80
1.3	33.00	24.10	-74.80	13.80	-70.30	2.75	0.57
1.4	32.50	24.60	135.70	9.54	132.80	4.25	0.39
1.5	32.25	25.50	118.50	12.20	106.40	5.50	0.48
1.6	33.00	22.00	-177.20	7.26	-168.60	4.25	0.33
0.7	32.50	24.10	107.10	16.60	74.40	2.75	0.69
1.8	32.75	21.20	-43.70	2.83	-170.30	3.50	0.13
1.9	32.75	22.20	-73.00	2.45	-123.00	2.25	0.11
1.10	32.75	23.80	-78.00	2.00	-12.00	3.50	0.08
1.11	32.75	29.00	-79.20	8.29	125.30	2.00	-0.29
1.12	32.00	20.90	-38.50	7.05	170.70	2.00	-0.34
1.13	32.00	20.90	-36.00	7.01	170.00	2.50	-0.34
1.14	32.25	26.80	106.30	18.20	-64.70	2.75	-0.68
	32.56					3.33	

Tabela A.20: Medições realizadas no modelo completo, com 16 KN de carga, na direção horizontal.

PONTO (k, j)	FREQUÊNCIA (Hz)	YA mU	βA (Graus)	YB mU	βB (Graus)	DEL 30B (Hz)	\bar{q}_i
1.2	23.75	82.90	-29.60	114.00	-30.90	1.25	1.38
1.3	23.25	184.00	30.90	145.00	31.10	1.75	0.79
1.4	23.50	164.00	-76.80	123.00	-76.50	1.50	0.75
1.5	23.50	169.00	16.60	117.00	19.30	1.25	0.69
1.6	23.50	174.00	3.00	102.00	7.30	1.50	0.59
1.7	23.50	172.00	-52.80	70.80	-35.00	1.50	0.41
1.8	23.50	160.00	47.10	74.10	50.60	1.75	0.46
1.9	23.25	194.00	-157.40	27.60	-131.50	1.50	0.14
1.10	23.25	208.00	2.20	54.20	15.20	1.75	0.26
1.11	23.25	210.00	175.90	33.50	9.90	1.75	0.16
1.12	23.25	186.00	64.90	65.50	69.80	1.25	0.35
1.13	23.25	185.00	122.20	27.60	125.50	1.25	0.15
1.14	23.25	214.00	-7.00	20.00	0.20	1.50	0.09
	23.38					1.50	

Tabela A.21: Medições realizadas no modelo completo, com 16 KN, na direção vertical.

PONTO (k, j)	FREQUÊNCIA (Hz)	YA mU	βA (Graus)	YB mU	βB (Graus)	DEL 3DB (Hz)	\bar{q}_i
1.2	24.25	37.00	154.40	23.90	158.00	1.50	0.65
1.3	23.75	51.20	-162.10	52.80	-157.70	1.50	1.03
1.4	23.75	54.10	-69.00	23.90	-68.90	2.00	0.44
1.5	24.00	62.50	-30.80	13.50	-26.70	1.00	0.22
1.6	23.75	70.00	-110.90	13.50	-88.90	1.25	0.19
1.7	23.75	65.10	117.40	18.80	107.40	1.75	0.29
1.8	23.75	69.10	59.70	29.90	48.40	1.25	0.43
1.9	23.50	72.20	31.10	18.10	39.40	1.00	0.25
1.10	23.50	68.70	-63.20	6.01	150.90	1.00	-0.09
1.11	23.75	60.30	69.40	7.33	-119.40	1.00	-0.12
1.12	23.75	61.10	148.90	17.80	-27.80	2.00	-0.29
1.13	23.50	68.20	160.70	36.50	-23.40	1.25	-0.54
1.14	23.75	69.10	135.80	10.90	-35.30	1.25	-0.16
1.15	23.50	76.60	152.00	33.70	-4.30	1.75	-0.44
1.16	23.75	65.60	112.90	2.19	-22.20	1.25	-0.03
1.17	23.75	54.30	2.30	15.60	-148.20	1.25	-0.29
1.18	23.75	76.60	-128.70	12.90	64.50	1.50	-0.17
1.19	23.75	56.50	165.80	23.40	166.30	1.25	0.41
1.20	23.75	71.80	-133.60	3.80	-43.50	1.50	0.05
1.21	23.75	54.90	107.90	8.05	65.20	1.00	0.15
1.22	23.75	72.20	135.20	36.20	128.40	1.25	0.50
1.23	23.75	50.30	107.90	24.90	123.30	1.25	0.50
1.24	23.75	58.00	38.90	22.90	39.80	1.75	0.39
1.25	23.75	63.80	-8.30	47.60	-14.90	1.25	0.75
1.26	23.75	58.50	-38.60	37.30	-35.90	1.25	0.64
1.27	23.75	60.70	2.80	60.00	34.20	1.50	0.99
	23.74					1.37	
1.2	51.25	82.00	172.40	60.00	-179.50	2.50	0.73
1.3	51.25	97.00	106.60	75.00	111.70	2.50	0.77
1.4	51.25	112.00	9.50	25.00	19.80	2.50	0.22
1.5	51.00	129.00	-39.30	61.90	-37.50	2.25	0.48
1.6	51.00	133.00	-161.10	37.60	-158.70	2.50	0.28
0.7	51.25	133.00	-174.40	3.46	174.30	2.25	0.03
1.8	50.75	134.00	-91.70	36.80	-107.70	2.50	0.27
1.9	50.75	144.00	1.60	9.05	-9.10	2.50	0.06
1.10	50.75	127.00	-139.30	2.83	52.40	2.25	0.02
1.11	51.00	131.00	-131.80	4.56	163.80	2.50	0.03
1.12	51.25	126.00	52.90	4.46	-33.30	2.75	0.04
1.13	51.00	136.00	114.20	7.91	92.00	2.25	0.06
1.14	51.00	148.00	-137.10	5.18	-172.70	2.50	0.04
1.15	51.00	153.00	-91.00	2.26	-24.30	2.50	0.01
1.16	51.00	137.00	-145.40	2.40	-54.90	2.25	0.02
1.17	51.25	114.00	147.30	13.30	82.50	2.25	0.12
1.18	51.00	147.00	139.80	11.20	142.30	2.25	0.08
1.19	51.25	123.00	-35.60	8.67	147.20	2.25	-0.07
1.20	50.75	149.00	-30.90	2.33	-163.80	2.25	-0.02
1.21	51.25	121.00	32.30	1.49	-116.00	2.50	-0.01
1.22	50.75	142.00	9.40	14.90	-150.60	2.25	-0.10
1.23	51.50	104.00	12.90	10.80	-158.70	2.50	-0.10
1.24	51.00	121.00	143.40	8.92	-6.70	2.20	-0.07
1.25	51.00	129.00	119.60	16.40	135.90	2.50	-0.13
1.26	51.25	122.00	85.00	21.60	-41.60	2.50	-0.18
1.27	51.00	126.00	119.60	28.80	-60.10	2.50	-0.23
	51.06					2.40	

Tabela A.22: Medições realizadas no modelo completo, com 8 KN de carga, na direção horizontal normal. (no segundo ciclo)

PONTO (k, j)	FREQUÊNCIA (Hz)	YA μ	θA (graus)	YB μ	θB (graus)	DEL 3DB (Hz)	\bar{q}_i
1.2	7.25	51.00	-87.20	39.00	-86.00	1.25	0.76
1.3	7.25	97.50	100.10	89.00	107.90	1.50	0.91
1.4	7.25	111.00	80.40	88.50	91.70	1.25	0.80
1.5	7.25	89.50	-65.90	88.50	-60.70	1.25	0.99
1.6	7.25	90.40	91.30	89.00	98.00	1.50	0.98
1.7	7.25	93.00	-8.10	98.40	0.50	1.25	1.06
1.8	7.00	99.20	-111.50	71.30	-103.00	1.25	0.72
1.9	7.00	103.00	69.10	82.60	74.40	1.50	0.80
1.10	7.00	109.00	-50.80	52.20	-39.40	1.25	0.48
1.11	7.25	60.70	176.90	46.10	-165.80	1.25	0.76
1.12	7.00	107.00	-79.80	51.10	-80.10	1.25	0.48
1.13	7.00	97.00	-67.60	45.40	-67.50	1.50	0.47
1.14	7.00	114.00	-31.00	51.40	-44.70	1.25	0.45
	7.13					1.33	
1.2	18.00	112.00	-8.80	47.30	-4.80	1.25	0.42
1.3	17.75	209.00	-11.90	94.60	-112.80	1.00	0.45
1.4	17.50	239.00	0.80	18.00	43.40	1.25	0.08
1.5	17.75	188.00	2.10	55.80	173.50	1.00	-0.30
1.6	17.75	187.00	36.00	117.00	-147.00	1.25	-0.63
1.7	17.75	195.00	-16.40	169.00	157.20	1.25	-0.87
1.8	17.75	222.00	45.40	68.30	-138.20	1.00	-0.31
1.9	17.75	206.00	148.10	29.40	-78.50	1.25	-0.14
1.10	17.50	220.00	-59.10	10.40	11.40	1.25	0.05
1.11	17.75	124.00	65.30	35.00	81.40	1.25	0.28
1.12	17.50	211.00	40.60	56.40	-8.50	1.00	0.27
1.13	17.75	188.00	177.50	106.00	-177.60	1.25	0.56
1.14	17.50	229.00	167.20	111.00	170.40	1.25	0.48
	17.69					1.17	
1.2	31.75	17.50	-121.70	10.90	-108.90	1.75	0.62
1.3	31.25	77.10	-8.50	53.90	-8.60	2.00	0.70
1.4	30.50	104.00	-6.40	51.40	-8.10	1.75	0.49
1.5	31.25	58.90	99.50	21.10	105.10	2.50	0.36
1.6	31.25	58.90	74.60	20.70	71.20	2.50	0.35
1.7	31.25	70.40	-119.10	36.20	-168.70	2.25	0.51
1.8	31.25	71.30	-94.10	8.50	-167.40	2.00	0.12
1.9	30.75	74.90	125.30	5.76	52.90	2.00	0.08
1.10	30.75	77.50	-27.30	10.80	-162.60	2.25	-0.14
1.11	31.50	11.90	109.90	2.70	-157.40	2.00	-0.23
1.12	30.75	58.00	-25.60	24.20	158.70	2.00	-0.42
1.13	30.75	45.20	164.50	32.20	-15.80	2.25	-0.71
1.14	30.75	65.10	-160.70	40.80	26.10	2.00	-0.63
	31.06					2.10	

Tabela A.23: Medições realizadas no modelo completo, com 8000 N de carga, na direção horizontal. (no segundo ciclo)

PONTO (k, j)	FREQUÊNCIA (Hz)	YA μ	θA (graus)	YB μ	θB (graus)	DEL 3DB (Hz)	\bar{q}_i
1.2	23.25	166.00	-54.10	160.00	-45.50	1.25	0.96
1.3	23.00	307.00	122.10	237.00	122.00	1.00	0.77
1.4	22.75	303.00	-33.70	270.00	-44.80	1.25	0.89
1.5	22.75	326.00	62.30	186.00	65.50	1.50	0.57
1.6	23.00	191.00	-122.00	127.00	-118.00	1.25	0.66
1.7	22.75	248.00	-63.30	76.30	-56.00	1.50	0.31
1.8	23.00	168.00	41.80	80.20	43.30	1.25	0.48
1.9	23.25	101.00	96.40	44.80	100.20	1.50	0.44
1.10	22.75	237.00	-170.70	88.50	-169.30	1.25	0.37
1.11	23.00	138.00	-63.90	6.95	-72.10	1.00	0.05
1.12	22.75	324.00	131.70	149.00	133.10	1.00	0.46
1.13	22.75	330.00	-158.70	68.60	-157.00	1.25	0.21
1.14	22.50	406.00	-56.40	80.20	-132.90	1.25	0.20
	22.88					1.25	

Tabela A.24: Medições realizadas no modelo completo, com 8 KN de carga, na direção vertical. (no segundo ciclo)

PONTO (k, j)	FREQUÊNCIA (Hz)	YA mU	ØA (graus)	YB mU	ØB (graus)	DEL 30B (Hz)	qi
1.2	23.00	173.00	-11.40	147.00	-102.30	1.25	0.85
1.3	23.50	119.00	-86.50	122.00	-88.40	1.50	1.03
1.4	23.00	317.00	-26.20	53.60	-2.90	1.00	0.17
1.5	23.00	269.00	-158.20	101.00	-153.90	1.25	0.38
1.6	23.25	122.00	-169.90	32.20	-162.30	1.25	0.26
1.7	23.25	202.00	-54.60	81.80	-59.00	1.25	0.40
1.8	23.00	328.00	24.80	89.60	25.40	1.25	0.27
1.9	23.00	287.00	26.20	35.00	31.90	1.50	0.12
1.10	23.00	278.00	-133.00	31.10	92.80	1.25	-0.11
1.11	23.00	278.00	70.80	19.50	-81.80	1.25	-0.07
1.12	23.00	324.00	71.90	39.50	-123.90	1.25	-0.12
1.13	23.00	303.00	107.80	27.80	-15.50	1.00	-0.09
1.14	23.00	232.00	-66.60	66.90	125.80	1.00	-0.29
1.15	23.00	324.00	128.50	70.80	-42.90	1.00	-0.22
1.16	23.00	287.00	-119.10	6.77	-176.00	1.50	0.02
1.17	23.25	143.00	0.40	8.16	166.80	1.50	-0.06
1.18	23.00	262.00	57.80	37.00	33.30	1.25	0.14
1.19	23.00	282.00	-5.90	71.90	-6.90	1.00	0.25
1.20	23.00	319.00	33.00	105.00	35.50	1.25	0.33
1.21	23.00	291.00	-167.00	69.10	-159.70	1.25	0.24
1.22	23.00	340.00	-59.70	87.40	-55.00	1.25	0.26
1.23	23.00	301.00	-54.90	94.00	-45.60	1.25	0.31
1.24	23.00	262.00	115.50	76.30	126.50	1.25	0.29
1.25	23.00	298.00	-165.30	173.00	125.70	1.25	0.58
1.26	23.00	271.00	-149.00	55.30	-107.70	1.25	0.20
1.27	23.75	351.00	166.20	263.00	136.90	1.50	0.75
	23.08					1.25	
1.2	50.50	144.00	23.50	67.70	23.20	1.50	0.47
1.3	50.75	69.60	17.00	60.80	18.90	1.75	0.87
1.4	50.00	356.00	117.60	114.00	111.30	2.50	0.32
1.5	50.00	367.00	107.70	166.00	112.20	2.00	0.45
1.6	50.75	63.80	154.00	17.30	152.50	2.25	0.27
1.7	50.25	188.00	-88.80	3.61	-96.70	2.25	0.02
1.8	49.75	397.00	170.80	22.40	161.80	2.00	0.06
1.9	50.00	377.00	103.60	50.00	145.60	2.50	0.13
1.10	50.00	367.00	101.50	2.99	71.20	2.50	0.01
1.11	50.00	312.00	25.80	8.92	-131.60	2.50	-0.03
1.12	49.75	441.00	-153.30	23.20	30.90	2.25	-0.05
1.13	49.75	493.00	53.60	21.40	14.50	2.25	-0.04
1.14	50.25	273.00	33.70	2.19	-12.70	2.25	0.01
1.15	49.50	528.00	-41.30	25.70	-171.80	2.50	-0.05
1.16	49.75	418.00	164.00	6.22	-33.80	2.25	-0.01
1.17	50.50	94.40	48.90	4.63	151.60	2.50	-0.05
1.18	50.00	299.00	-58.80	16.40	123.00	2.50	-0.05
1.19	49.50	464.00	30.00	24.70	-171.90	1.75	-0.05
1.20	49.75	447.00	-48.70	31.20	135.60	2.50	-0.07
1.21	49.75	319.00	-69.30	18.90	129.10	2.25	-0.06
1.22	49.50	471.00	-166.30	48.10	26.90	2.25	-0.10
1.23	50.00	377.00	-67.70	32.60	125.00	2.00	-0.09
1.24	49.75	262.00	-110.50	29.00	76.40	2.00	-0.11
1.25	49.50	381.00	176.90	60.00	15.00	2.50	-0.16
1.26	49.75	431.00	-94.20	86.30	105.40	2.25	-0.20
1.27	49.50	517.00	-124.40	130.00	74.60	2.50	-0.25
	49.94					2.24	

Tabela A.25: Medições realizadas no modelo completo, com 12 KN de carga, na direção horizontal normal. (no segundo ciclo)

PONTO (k, j)	FREQUENCIA: (Hz)	YA mU	ØA (graus)	YB mU	ØB (graus)	DEL 3 dB (Hz)	qi
1.2	6.75	114.00	-117.40	111.00	-108.50	1.00	0.97
1.3	7.00	138.00	-43.70	83.90	-29.50	1.00	0.61
1.4	7.00	129.00	-113.50	121.00	-94.50	1.00	0.94
1.5	6.75	144.00	-106.10	130.00	-95.40	1.50	0.90
1.6	7.00	250.00	61.90	234.00	70.00	1.00	0.94
1.7	7.00	113.00	62.80	97.10	72.40	1.25	0.86
1.8	7.00	136.00	-76.70	87.20	-68.90	1.00	0.64
1.9	7.00	155.00	-95.50	58.70	-81.10	1.25	0.38
1.10	6.75	158.00	-101.60	89.90	-90.80	1.00	0.57
1.11	7.00	79.80	42.70	53.20	50.40	1.00	0.67
1.12	7.00	175.00	15.40	72.40	35.20	1.00	0.41
1.13	7.00	208.00	59.70	70.70	74.10	1.25	0.34
1.14	7.00	328.00	-155.00	76.80	-124.90	1.25	0.23
	6.94					1.12	
1.2	17.50	250.00	149.10	94.30	160.60	1.25	0.38
1.3	17.50	230.00	-166.10	53.50	-170.30	1.25	0.23
1.4	17.50	227.00	-168.40	38.70	-7.80	1.25	-0.17
1.5	17.50	284.00	-22.60	69.10	155.20	1.00	-0.24
1.6	17.50	308.00	148.40	238.00	-93.40	1.00	-0.77
1.7	17.50	239.00	65.30	192.00	-122.70	1.25	-0.80
1.8	17.50	196.00	-64.70	103.00	1079.00	1.00	-0.53
1.9	17.25	266.00	164.70	79.00	-43.20	1.25	-0.30
1.10	17.50	255.00	-1.70	52.10	158.00	1.25	-0.20
1.11	17.75	160.00	-15.60	26.30	-1.50	1.00	0.16
1.12	17.25	296.00	-103.20	81.20	-100.20	1.25	0.27
1.13	17.25	262.00	28.30	139.00	12.00	1.25	0.53
1.14	17.25	381.00	93.90	170.00	74.60	1.50	0.45
	17.44					1.19	
1.2	30.25	66.00	-1.90	49.60	8.60	2.75	0.75
1.3	30.75	80.20	-148.50	36.70	-124.50	2.50	0.46
1.4	30.50	82.90	-169.30	36.50	-151.10	2.50	0.44
1.5	30.25	79.30	-93.50	31.70	-94.20	2.75	0.40
1.6	30.25	192.00	-133.70	160.00	-130.50	3.00	0.83
1.7	30.50	21.30	85.80	21.30	7.20	3.00	1.00
1.8	30.50	21.60	87.80	6.24	62.40	2.75	0.29
1.9	30.25	25.60	88.00	7.00	65.00	2.75	0.27
1.10	30.50	17.50	81.20	3.37	-27.30	2.75	-0.19
1.11	30.25	18.70	-62.60	5.23	134.00	2.75	-0.28
1.12	30.75	20.70	11.90	11.10	-159.80	3.00	-0.54
1.13	30.25	148.00	-33.10	62.80	168.20	2.50	-0.42
1.14	30.25	21.90	43.80	19.40	-131.40	2.50	-0.89
	30.40					2.73	

Tabela A.26: Medições realizadas no modelo completo, com 12 KN de carga, na direção horizontal. (no segundo ciclo)

PONTO (k, j)	FREQUENCIA: (Hz)	YA mU	ØA (graus)	YB mU	ØB (graus)	DEL 3 dB (Hz)	qi
1.2	22.50	441.00	121.00	428.00	122.90	1.25	0.97
1.3	22.25	503.00	128.00	423.00	123.90	1.50	0.84
1.4	22.50	308.00	126.50	247.00	123.40	1.25	0.80
1.5	22.50	367.00	-130.80	249.00	-110.10	1.50	0.68
1.6	22.25	567.00	125.70	311.00	128.50	1.75	0.55
1.7	22.25	464.00	16.90	256.00	14.80	1.25	0.55
1.8	22.25	542.00	-105.60	170.00	-97.70	1.50	0.31
1.9	22.25	486.00	-158.90	141.00	-152.50	1.50	0.29
1.10	22.25	292.00	100.90	70.20	90.50	1.75	0.24
1.11	22.75	212.00	-143.20	50.30	-144.20	2.00	0.24
1.12	22.00	560.00	51.50	95.40	114.30	1.75	0.17
1.13	22.75	213.00	119.10	32.60	124.20	1.75	0.15
1.14	22.25	448.00	-33.20	39.50	-45.60	1.25	0.09
	22.37					1.54	

Tabela A.27: Medições realizadas no modelo completo, com 12 KN de carga, na direção vertical. (no segundo ciclo)

PONTO (k, j)	FREQUENCIA: (Hz)	YA mU	ØA (graus)	YB mU	ØB (graus)	DEL 3 dB (Hz)	qi
1.2	23.25	155.00	-9.30	147.00	-9.10	1.00	0.95
1.3	22.75	385.00	85.60	342.00	88.60	1.00	0.89
1.4	22.75	331.00	-110.00	45.00	-109.00	1.25	0.14
1.5	23.00	299.00	-141.80	46.10	-139.00	1.00	0.15
1.6	23.00	175.00	-110.90	50.20	-105.40	1.00	0.29
1.7	23.25	347.00	-105.20	57.60	-134.30	1.00	0.17
1.8	23.25	126.00	-24.00	32.90	-29.10	1.25	0.26
1.9	22.50	461.00	-163.10	34.30	-131.40	1.00	0.07
1.10	22.75	206.00	72.40	109.00	-105.20	1.00	-0.53
1.11	22.75	461.00	148.80	36.70	-34.00	1.00	-0.08
1.12	22.75	418.00	-144.10	38.40	41.70	1.00	-0.09
1.13	22.50	409.00	94.80	165.00	-83.10	1.25	-0.40
1.14	23.00	146.00	-98.50	107.00	80.20	1.00	-0.73
1.15	22.75	312.00	-135.90	68.60	63.70	1.00	-0.22
1.16	22.75	342.00	90.70	18.60	4.10	1.00	-0.05
1.17	23.25	113.00	-114.20	89.90	132.60	1.25	0.80
1.18	22.75	333.00	-160.10	61.10	-163.90	1.00	0.18
1.19	22.50	539.00	-161.90	237.00	-167.70	1.00	0.44
1.20	22.75	276.00	29.70	97.10	27.60	1.00	0.35
1.21	22.75	301.00	-140.60	55.40	-133.70	1.00	0.18
1.22	23.00	173.00	-139.40	75.10	-133.80	1.00	0.43
1.23	22.50	439.00	5.10	224.00	9.30	1.00	0.51
1.24	22.50	482.00	-25.50	121.00	-12.40	1.25	0.25
1.25	22.25	649.00	-46.10	331.00	-30.50	1.25	0.51
1.26	23.25	105.00	-32.60	75.70	-21.40	1.00	0.72
1.27	23.00	143.00	59.30	99.30	58.00	1.00	0.69
	22.83					1.06	
1.2	50.75	61.60	-10.10	48.30	-3.00	1.00	0.78
1.3	49.75	386.00	50.30	320.00	54.10	1.50	0.83
1.4	50.00	588.00	8.00	100.00	20.70	2.25	0.17
1.5	50.25	221.00	-172.00	119.00	-167.00	1.50	0.54
1.6	50.50	101.00	-129.50	23.40	-130.70	1.50	0.23
1.7	50.00	441.00	126.40	21.90	110.00	1.50	0.05
1.8	50.75	43.90	-123.20	10.10	-145.00	1.50	0.23
1.9	49.25	659.00	-124.10	12.80	177.00	1.50	0.02
1.10	50.25	136.00	-52.50	10.50	-125.00	1.75	0.08
1.11	49.50	688.00	-135.50	33.30	97.70	1.50	0.05
1.12	49.75	585.00	83.70	14.50	-105.00	1.50	0.02
1.13	49.75	663.00	-45.70	48.00	-86.30	1.50	0.07
1.14	50.50	77.50	46.80	8.71	106.40	1.50	0.11
1.15	49.75	207.00	6.70	4.10	154.30	1.50	0.02
1.16	50.00	424.00	-76.00	14.70	60.60	1.75	0.03
1.17	50.00	47.40	22.90	6.99	-73.00	1.25	0.15
1.18	50.00	222.00	114.00	11.90	-70.60	1.50	-0.05
1.19	49.25	741.00	-68.60	74.00	113.10	1.50	-0.10
1.20	50.00	291.00	145.50	25.80	-10.00	1.50	-0.09
1.21	50.00	243.00	164.50	40.30	-53.10	1.50	-0.17
1.22	50.25	237.00	-35.90	18.40	144.70	1.50	-0.08
1.23	50.00	260.00	12.00	18.90	144.00	2.00	-0.07
1.24	49.50	574.00	14.90	52.90	-140.60	1.25	-0.09
1.25	49.00	950.00	24.80	109.00	-110.70	1.75	-0.11
1.26	49.75	33.50	20.90	4.97	159.10	1.50	-0.15
1.27	49.50	96.60	-62.50	31.40	119.80	1.50	-0.33
	49.92					1.54	

Tabela A.28: Medições realizadas no modelo completo, com 16 KN de carga, na direção horizontal normal. (no segundo ciclo)

PONTO (k, j)	FREQUENCIA (Hz)	YA mU	ØA (graus)	YB mU	ØB (graus)	DEL 3DB (Hz)	qi
1.2	6.50	126.00	48.90	99.30	55.20	1.65	0.79
1.3	6.75	99.70	120.80	89.90	111.30	1.50	0.90
1.4	6.75	78.90	67.60	74.60	70.60	1.00	0.95
1.5	6.75	98.40	-46.00	107.00	-32.50	1.00	1.09
1.6	6.50	133.00	62.70	130.00	70.30	1.25	0.98
1.7	6.50	136.00	-23.10	132.00	-21.10	1.50	0.97
1.8	6.50	137.00	66.90	82.80	77.40	1.25	0.60
1.9	6.75	98.80	-153.00	65.80	-144.30	1.25	0.67
1.10	6.50	159.00	-125.90	94.30	-114.10	1.50	0.59
1.11	6.50	128.00	-111.50	78.40	-106.80	1.75	0.61
1.12	6.75	101.00	-165.20	57.90	-157.40	1.75	0.57
1.13	6.50	107.00	-170.00	51.80	-154.80	1.75	0.48
1.14	6.50	98.40	142.00	54.30	143.00	1.75	0.55
	6.60					1.45	
1.2	16.75	199.00	-119.00	92.70	-104.70	2.00	0.47
1.3	17.00	252.00	-176.30	28.10	-168.40	1.50	0.11
1.4	17.00	219.00	52.00	38.70	54.50	1.25	0.18
1.5	17.00	227.00	155.00	22.80	-46.00	1.50	-0.10
1.6	17.00	214.00	80.00	155.00	-106.00	1.50	-0.72
1.7	16.75	225.00	-71.40	173.00	99.30	1.50	-0.77
1.8	16.75	216.00	156.00	71.30	-25.60	1.50	-0.33
1.9	17.00	186.00	-91.60	85.00	84.60	1.50	-0.46
1.10	16.75	219.00	71.10	45.80	-129.30	1.25	-0.21
1.11	17.00	178.00	59.40	21.40	64.60	1.25	0.12
1.12	17.00	181.00	-167.40	37.00	-151.70	2.00	0.20
1.13	16.75	162.00	-135.20	136.00	-139.80	1.25	0.84
1.14	17.00	194.00	-14.90	138.00	-12.00	1.50	0.71
	16.90					1.50	
1.2	29.25	53.60	-98.80	54.30	-101.40	3.80	1.01
1.3	29.25	39.00	-94.20	32.40	-92.10	4.25	0.83
1.4	29.25	33.90	37.30	31.70	2.70	4.00	0.94
1.5	29.25	57.60	65.50	31.40	83.20	3.50	0.55
1.6	28.75	39.20	145.50	16.40	155.30	4.00	0.42
1.7	28.75	75.80	116.00	59.20	51.10	3.75	0.78
1.8	28.75	52.70	150.80	14.80	92.60	4.00	0.28
1.9	29.25	40.50	-137.80	13.90	-169.40	4.25	0.34
1.10	28.50	86.00	167.80	18.20	69.00	3.50	-0.21
1.11	28.75	40.30	55.00	2.21	-111.80	4.00	-0.05
1.12	29.25	34.30	113.40	9.12	-19.20	4.00	-0.27
1.13	28.50	54.50	-4.80	37.00	168.40	4.00	-0.68
1.14	28.75	32.30	43.20	24.80	175.40	3.50	-0.77
	28.94					3.89	

Tabela A.29: Medições realizadas no modelo completo, com 16 KN de carga, na direção horizontal. (no segundo ciclo)

PONTO (k, j)	FREQUENCIA (Hz)	YA mU	ØA (graus)	YB mU	ØB (graus)	DEL 3DB (Hz)	qi
1.2	22.50	347.00	-145.20	303.00	-146.50	1.50	0.87
1.3	22.25	468.00	-40.80	342.00	-40.20	1.65	0.73
1.4	22.75	173.00	31.50	130.00	31.60	1.50	0.75
1.5	22.25	482.00	107.90	244.00	-61.00	1.50	0.51
1.6	22.25	425.00	-62.80	309.00	111.70	1.75	0.73
1.7	22.25	556.00	0.30	159.00	8.00	1.75	0.29
1.8	22.25	514.00	117.90	182.00	117.60	1.50	0.35
1.9	22.50	399.00	60.00	128.00	112.90	1.75	0.32
1.10	22.00	456.00	174.40	150.00	-101.90	1.50	0.33
1.11	21.25	461.00	-12.70	146.00	94.30	1.50	0.32
1.12	21.75	360.00	-100.90	140.00	-109.40	1.50	0.39
1.13	22.00	652.00	88.50	96.50	94.20	1.75	0.15
1.14	22.00	578.00	-106.70	79.00	-100.20	1.75	0.14
	22.15					1.61	

Tabela A.30: Medições realizadas no modelo completo, com 16 KN, na direção vertical. (no segundo ciclo)

PONTO (k, j)	FREQUÊNCIA (Hz)	YA mU	ØA (graus)	YB mU	ØB (graus)	DEL 3ØB (Hz)	qi
1.2	22.75	229.00	-171.90	281.00	-176.20	1.25	1.23
1.3	22.50	556.00	-7.80	562.00	-4.20	1.50	1.01
1.4	22.25	624.00	-117.30	281.00	-109.00	1.50	0.45
1.5	22.50	461.00	155.70	132.00	164.10	1.25	0.29
1.6	22.75	319.00	-84.40	137.00	2.00	1.50	0.43
1.7	22.50	464.00	167.70	94.60	163.50	1.50	0.20
1.8	22.5	532.00	-130.20	19.60	62.20	1.50	0.04
1.9	22.50	461.00	92.20	132.00	87.20	1.50	0.29
1.10	22.50	383.00	-26.70	171.00	155.60	1.25	-0.45
1.11	22.25	452.00	120.30	173.00	-52.40	2.25	-0.38
1.12	22.50	471.00	-8.60	151.00	179.20	2.00	-0.32
1.13	22.50	521.00	54.50	239.00	-120.30	1.50	-0.46
1.14	22.50	386.00	168.80	120.00	-2.70	1.25	-0.31
1.15	22.25	627.00	48.30	205.00	-127.90	1.75	-0.33
1.16	22.25	545.00	35.70	100.50	128.50	1.25	-0.18
1.17	22.50	489.00	-134.00	15.40	76.10	1.25	-0.03
1.18	22.25	588.00	108.10	28.80	-32.40	1.25	-0.05
1.19	22.25	652.00	-171.80	19.30	-159.30	1.50	0.03
1.20	22.50	404.00	21.20	126.00	20.60	1.50	0.31
1.21	22.50	429.00	-153.90	78.40	-145.40	1.75	0.18
1.22	22.00	617.00	-76.10	180.00	-62.20	1.50	0.29
1.23	22.00	716.00	128.00	353.00	131.00	1.50	0.49
1.24	22.00	374.00	-175.80	134.00	-173.60	2.25	0.36
1.25	22.25	681.00	117.30	401.00	125.50	2.00	0.59
1.26	22.50	312.00	12.10	213.00	15.10	1.75	0.68
1.27	22.00	377.00	172.50	219.00	-180.00	1.75	0.58
	22.38					1.57	
1.2	48.75	139.00	134.80	108.00	127.20	3.25	0.78
1.3	48.75	762.00	178.80	597.00	177.40	3.00	0.78
1.4	48.25	730.00	54.30	115.00	63.50	3.00	0.16
1.5	48.75	546.00	-100.20	316.00	-100.60	3.00	0.58
1.6	49.25	321.00	172.90	131.00	176.40	2.75	0.41
1.7	48.75	478.00	81.90	20.60	124.70	3.25	0.04
1.8	48.75	478.00	-111.50	137.00	-135.70	3.25	0.29
1.9	48.75	681.00	-13.90	62.00	78.90	3.50	0.09
1.10	48.00	528.00	-83.20	48.00	-153.40	2.75	0.09
1.11	48.25	574.00	17.80	80.60	-59.00	3.75	0.14
1.12	48.75	312.00	-127.30	20.60	-146.10	3.75	0.07
1.13	48.50	411.00	-104.70	24.00	-113.50	3.75	0.06
1.14	48.75	198.00	101.60	19.10	129.40	3.50	0.10
1.15	48.25	712.00	119.00	23.00	-41.60	3.75	0.03
1.16	48.75	413.05	11.00	9.00	91.25	3.50	0.02
1.17	48.25	436.00	171.50	0.83	99.50	3.50	0.00
1.18	48.25	627.00	-54.30	11.40	131.10	3.75	-0.02
1.19	48.25	631.00	117.20	16.00	-7.90	2.75	-0.03
1.20	48.25	409.00	98.50	25.50	-105.00	3.75	-0.06
1.21	48.50	338.00	94.90	10.90	-22.10	3.75	-0.03
1.22	48.75	904.00	100.90	72.90	-60.60	3.75	-0.08
1.23	47.50	812.00	157.80	84.50	-2.50	3.75	-0.10
1.24	47.00	478.00	-74.90	71.80	136.00	3.75	-0.15
1.25	47.75	666.00	51.00	110.00	-99.90	3.50	-0.17
1.26	48.75	89.10	-40.30	24.50	141.40	3.75	-0.27
1.27	47.50	427.00	-46.70	92.10	174.80	3.75	-0.22
	48.38					3.44	

BIBLIOGRAFIA

- AMARAL, A.A., **A tecnologia do microconcreto e sua aplicação em modelos.** Tese de mestrado do Curso de Pós-graduação em Engenharia, UFRGS, 1976. 98p.
- BAKER, W.E., WESTINE, P.S., DODGE, F.T. **Similarity Methods in Engineering Dynamics**, theory and practice of scale modeling Rochelle Park, N.J. : Hayden Book, 1973. 396 p.
- BATISTA, R.C. et al. **Vibrações induzidas pelo público a estrutura do Estádio do Maracanã.** Rio de Janeiro : LADEPIS - Programa de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ 1991. 13 p.
- BRUEL & KJAER. **Accelerometers**, introduction and applications. Naerum, Denmark, 1983. 2 v.
- _____. **Dual Channel Signal Analyzer type 2032**, instruction manual. Naerum, Denmark, 1983. 2 v.
- DEHOUSSE, N.M., ARNOULD, R. **Les modèles réduits de structures en génie civil.** Paris : Dunod, 1971. 183 p.
- GORISSE, F., **Étude des micro-bétons pour modèles de structures.** Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics. Paris, mars 1992.
- HARRIS, C.M., CREDE, C.E. **Shock and vibration handbook.** New York: Mc Graw-Hill Book Company, 1961. 2do Vol. Cap 27.
- HERLUFSEN, H. **Dual Channel FFT Analysis** (part 1). Naerum, Denmark: Bruel & Kjaer 1984. 48p. (Technical Review, 2)
- HOSSDORF, H. **Model Analysis of Structures.** New York : Van Nostrand Reinhold, 1974. 239p.
- JANNEY, J.R. et al. **The use of model in structural engineering.** In: SYMPOSIUM ON MODELS FOR CONCRETE STRUCTURES, Los Angeles, 1968. **Papers..** Detroit American Concrete Institute, 1982. (ACI. SP-73). p 1-18.
- KRAWINKLER, H., MONCARZ, P.D. **Similitude requirements for dynamics models.** In : SYMPOSIUM ON DYNAMIC MODELING OF CONCRETE STRUCTURES, Las Vegas, 1980. **Papers . .** Detroit : American Concrete Institute, 1982. (ACI. SP-73). p 1-22.
- KLEIN, D.L., **Microconcreto - Método de dosagem.** CE 03, Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS, 1985. 47p.

- LANGHAAR, H.L. **Dimensional Analysis and Theory of Models**. New York : John Wiley and Sons, 1951. 166p.
- MOTTA, V.F. **Curso de teoria da semelhança**. Porto Alegre Edições da URGs, 1972.
- NBR 7584, **Concreto Endurecido - Avaliação da Dureza Superficial pelo Esclerômetro de Reflexão**. ABNT, 1982. 10p.
- NEWLAND, D.E. **An introduction to random vibrations and spectral analysis**. England: Longman Scientific & Technical, 1984. 377p.
- PREECE, B.W., DAVIES, J.D. **Models for structural concrete**. London: CR Books , 1964. 252p.
- RIERA, J.D., HENNEMANN, J.C.F., TAMAGNA, A. **Estudo de vibrações no Estádio Olímpico do GFPA**. (Relatório Final). Porto Alegre, 1991.
- RIERA, J.D., TAMAGNA, A. **Sobre o efeito dinâmico de cargas produzidas por grupos de pessoas em movimento**. CLAES: Comissão de Trabalho; "Ações e Segurança". Porto Alegre, 1991.
- RIERA, J.D., RUBIO, C.E. **Análise Dinâmica de Modelos estruturais em Escala Reduzida**. Porto Alegre, UFRGS, 1992. 92p. Tese de mestrado.
- RIERA, J.D., FERRUFINO, J.E. **Identificação do dano em estruturas pela variação das características modais**. Porto Alegre, UFRGS, 1993. 101p. Tese de mestrado.
- SABNIS, G. et al. **Structural modeling and experimental techniques**. Englewood Cliffs, N.J. : Prentice-Hall, 1983. 585p.
- THOMSON, W.T. **Vibration theory and applications**. Englewood Cliff, N.J. : Prentice- Hall , 1965. 348p.
- ZIA, P., WHITE, R.N., VANHORN, D.A. **Principles of models analysis**
In: SYMPOSIUM ON MODELS FOR CONCRETE STRUCTURES. Los Angeles, 1968. **Papers..** Detroit : American Concrete Institute, 1970. (ACI. SP-24) p.19-39.
- WILLRICH, F.L. **Análise teórico-experimental de uma estrutura tipo treliça plana executada em modelo reduzido**. Porto Alegre:UFRGS, 1993, 229p. Trabalho de conclusão de disciplina.