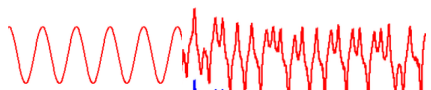


VIBRAÇÕES NAS ESTRUTURAS DE AÇO (SOLUÇÕES)



Zacarias M. Chamberlain Pravia
2023



Zacarias Chamberlain 2023



STRUCTURAL
ENGINEERING
INSTITUTE



***ESTE MATERIAL É DE PROPRIEDADE DO AUTOR E APENAS e É FORNECIDO
COMO FERRAMENTA DE ACOMPANHAMENTO DO CONTEÚDO DO CURSO OU DISCIPLINA.***



Zacarias Chamberlain 2023

CONTEÚDO

5 – Problemas dinâmicos nas estruturas de aço e soluções

5.1 – Vibrações induzidas por equipamentos rotativos

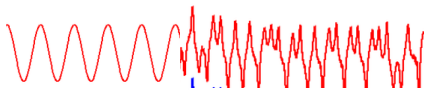
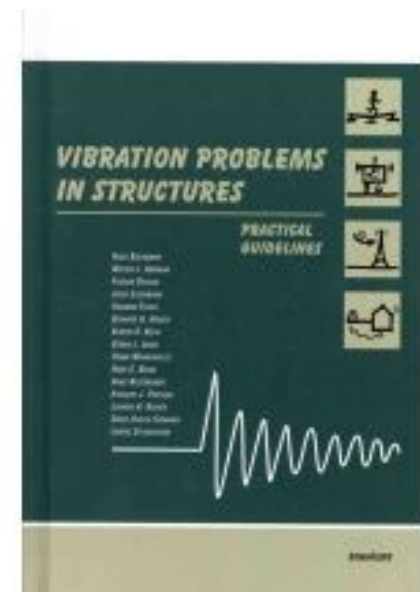
5.2 – Vibrações induzidas pelo vento

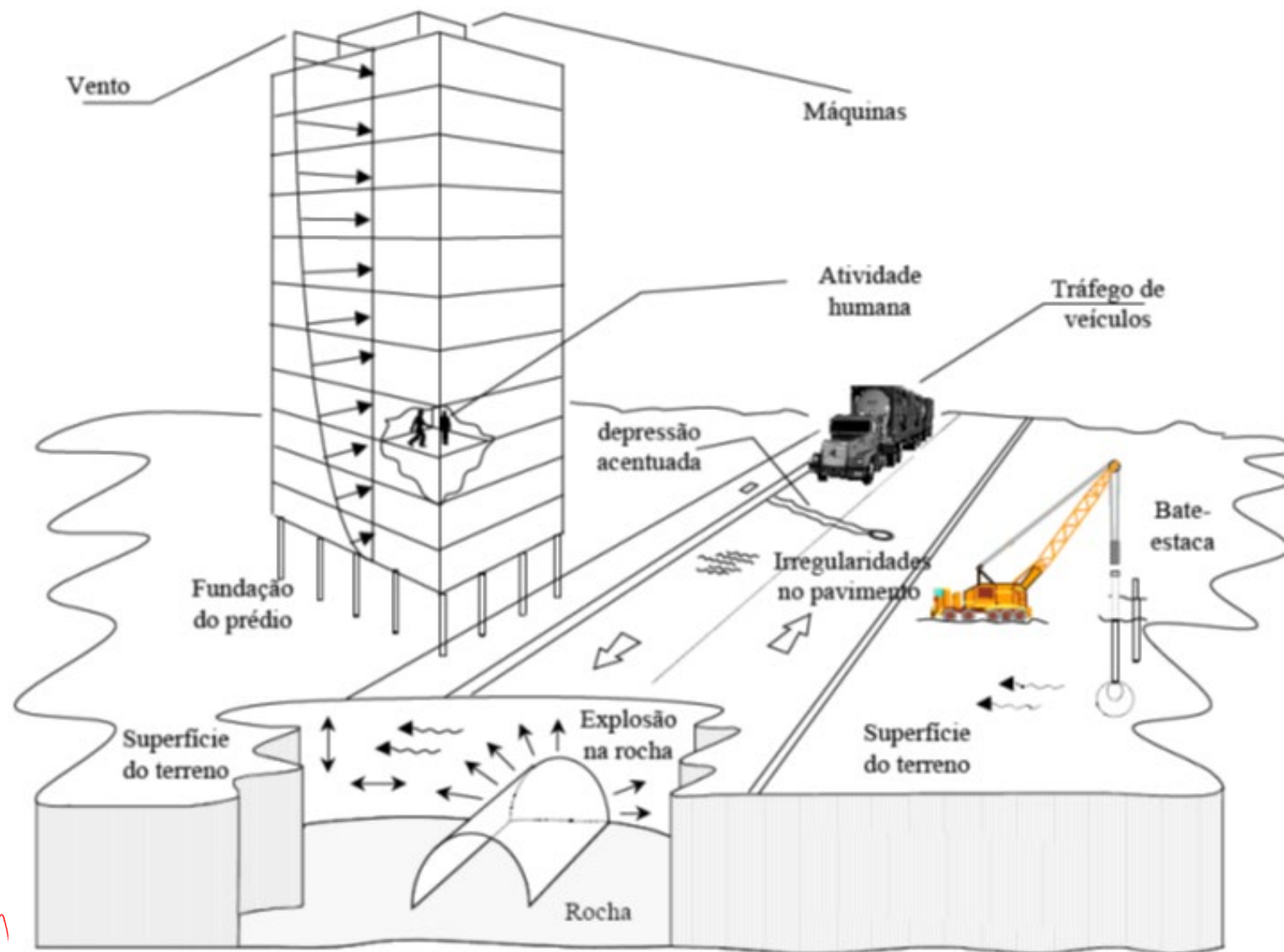
5.3 – Vibrações produzidas por movimento humano (ginásios, passarelas, pisos)

5.4 – Vibrações em Pontes

5.5 – Vibrações produzidas na construção civil

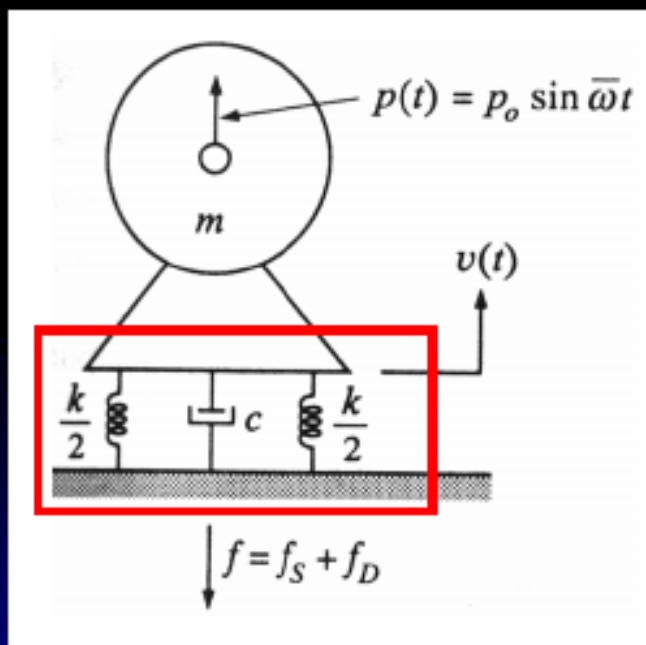
5.6 – Controle das vibrações





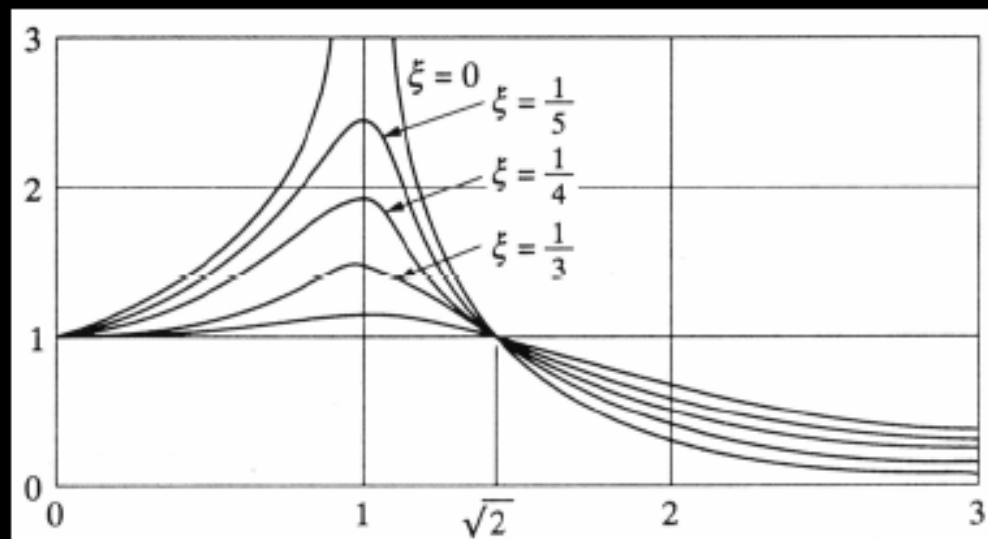
Isolamento de vibrações

1º caso: excitação sobre base rígida



Transmissibilidade: $TR \equiv \frac{f_{\max}}{p_o} = D \sqrt{1 + (2\xi\beta)^2}$

TR



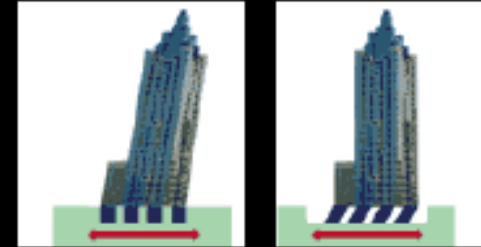
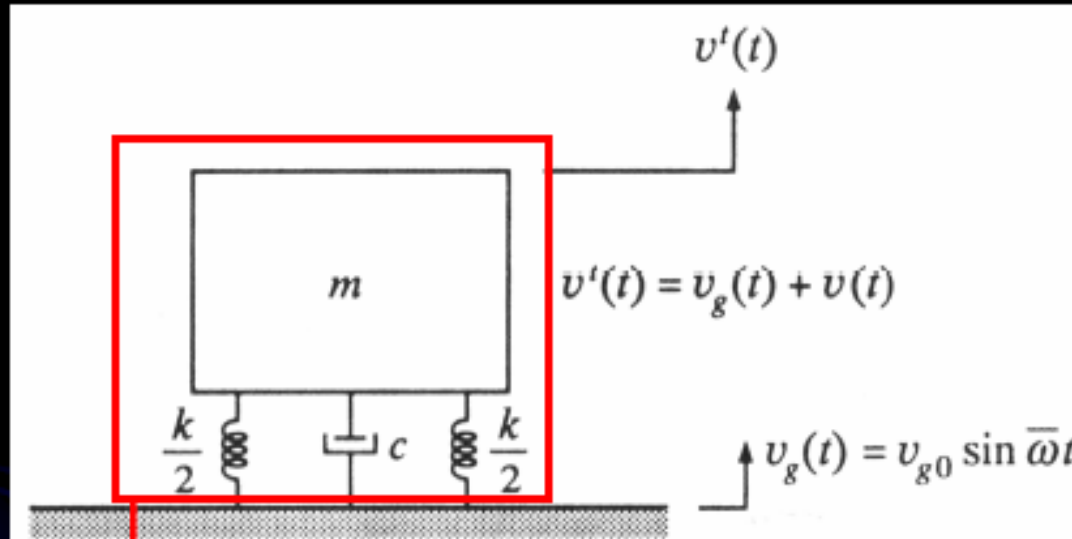
β

amortecimento pequeno: $TR \cong \frac{1}{(\beta^2 - 1)}$

Isolamento: $IE = 1 - TR \Rightarrow \beta > \sqrt{2} \Rightarrow k \leq \frac{m\bar{\omega}^2}{2}$ (molas macias)

Isolamento de vibrações

2º caso: excitação pela base

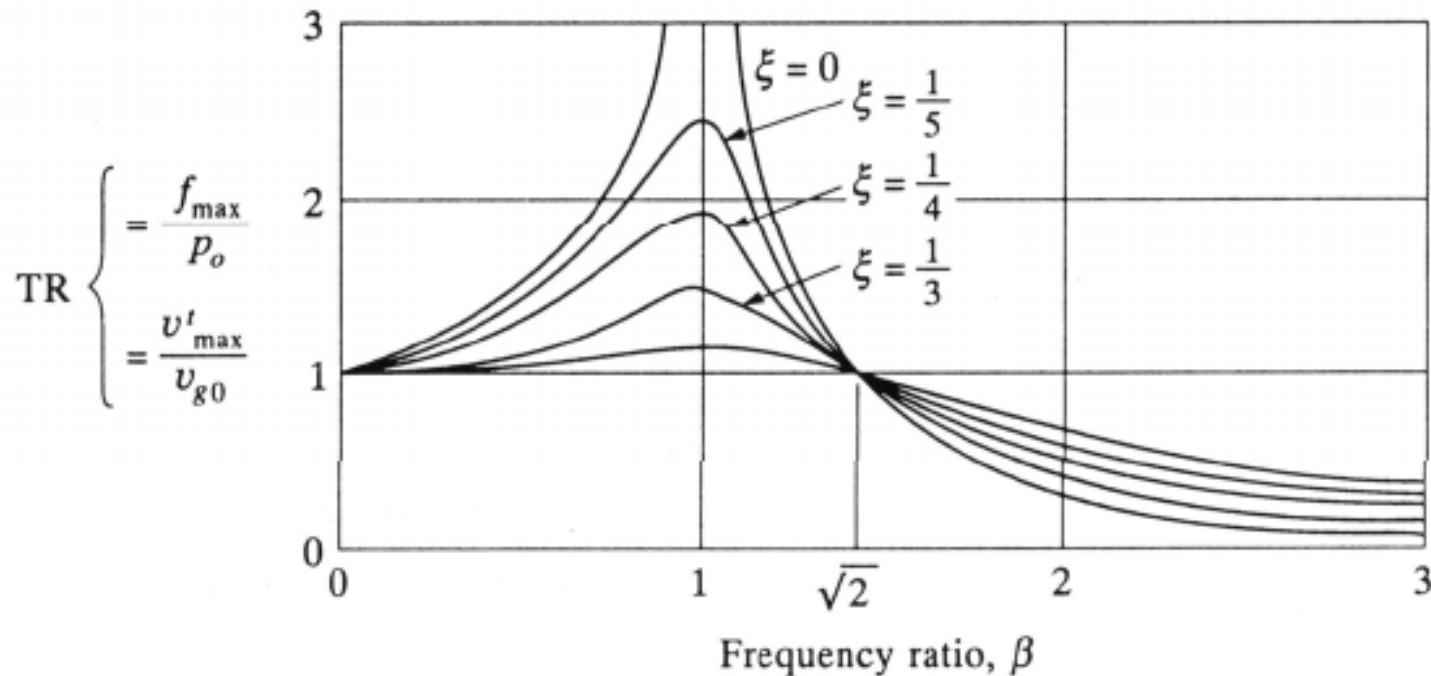


Estrutura
1 GL

$$TR \equiv \frac{\text{desloc total máximo}}{\text{amplitude desloc base}} = D \sqrt{1 + (2\xi\beta)^2}$$

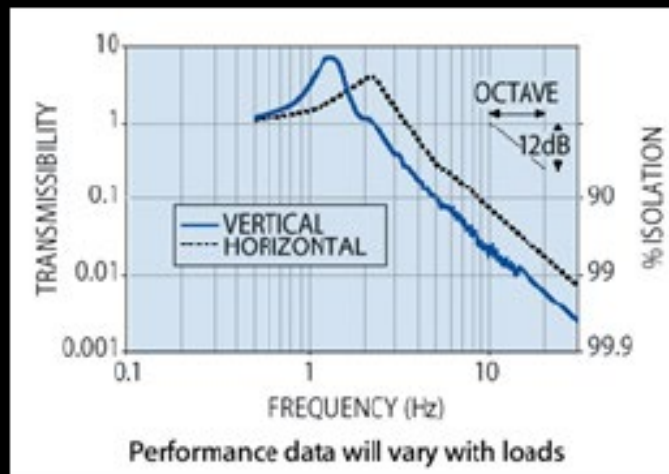
Isolamento de vibrações

Transmissibilidade $\times \beta$



Isolamento de vibrações

Suportes isoladores



Max. Load @ 80 psi

Vertical Natural Frequency 1.5 Hz

Isolation Efficiency @ 5 Hz 89%

Isolation Efficiency @ 10 Hz 97%

Horizontal Natural Frequency 2.1 Hz

Isolation Efficiency @ 5 Hz 78%

Isolation Efficiency @ 10 Hz 94%



esa

itos
ladores
etálicos
ladores
stoméricos

agens
oladores

Conosco

(11) 2606-1465
(1) 2606-7604
isomaq.com.br

Isoladores Metálicos (amortecedores)

Conhecidos também como amortecedores, são constituídos de molas helicoidais de aço carbono, arruleas emborrachadas e chapas de aço para fixação.

Por possuírem alta eficiência de isolamento, trabalham em baixas frequências, de 3 a 7 Hz, e podem ser fornecidos em módulos com mais de uma mola.

São muito utilizados em equipamentos de ar condicionado e máquinas rotativas em geral, onde se quer atingir alta eficiência de isolamento, podendo superar 90% em muitos dos casos. Por isso são utilizados em equipamentos instalados em lajes e estruturas metálicas.



Fichas Técnicas

IMC-3101 ao IMC-3170
IMC-3250 ao IMC-3470
IMC-5101 ao IMC-5170
IMC-5250 ao IMC-5470
IMC-7101 ao IMC-7180
IMC-7260 ao IMC-7480



Amortecedores de Vibração

Propondo soluções e inovando em tecnologia

CASES

CATÁLOGOS

DOWNLOADS

CONTATO

Institucional

- Home
- A empresa
- Produtos
- Area de atuação
- Responsabilidade social
- Noticias
- Trabalhe Conosco

Representantes

- Brasil
- Mundo

Newsletter

Cadastre seu email aqui para receber regularmente nosso boletim informativo.

OK



Trabalhe Conosco

Produtos

Os produtos **Vibtech** são divididos em três linhas industriais, cada uma viabilizando uma melhor solução de acordo com a necessidade de isolamento de vibração que se deseja alcançar e a condição geral de instalação.

Anti-Vibradores



Bancada Amortecida



Elastômero



Ferrovários



Hidráulicos



Metálicos





VIBRA - STOP

Amortecedores de Impacto e Vibração

59
anos 1956-2015

Líder em Amortecedores
de Impacto
e Vibração



BEM VINDO



1º lugar em amortecedores de vibração e impacto no Brasil.

Linhas diferenciadas para aplicações em equipamentos industriais de pequeno, médio e grande portes.

Tecnologia à serviço da indústria.

Há **59 anos** fabricando amortecedores de impacto e vibração, a **VIBRA-STOP** ocupa hoje o primeiro lugar neste segmento.

Com uma linha diversificada de amortecedores para equipamentos industriais de pequeno, médio e grande portes, atende às indústrias e consumidores através de seus 2.500 revendedores em todo o Brasil.

O departamento técnico da **VIBRA-STOP** permanece à disposição para o perfeito dimensionamento e esclarecimentos de dúvidas.

Com certificação ISO 9001/2008 garante a excelência na qualidade dos produtos que oferece.

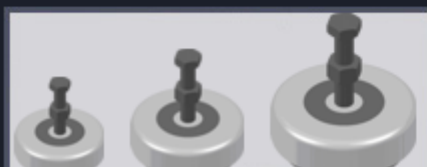
Com ótimo atendimento, preço acessível, pontualidade na entrega e excelentes resultados no amortecimento das vibrações, firma a marca **VIBRA-STOP**, que é sinônimo de amortecedores de vibração.

PRODUTOS

- ✓ Linha Apoio para Tubulação
- ✓ Linha Articulada
- ✓ Linha BAT
- ✓ Linha Batente
- ✓ Linha Batente Abaulado

PRODUTOS EM DESTAQUE

VIBRA-STOP TRADICIONAL



VIBRA-STOP COXIM



AMPLIFICAÇÃO DINÂMICA

$$r = \frac{\omega}{\omega_n}$$

Frequência Circular excitadora
Frequência Circular natural

$$A_{D_{\max}} = \frac{1}{2\xi} \quad \text{Amplificação Dinâmica Máxima}$$

$$x_{\text{est}} = \frac{F_0}{k}$$

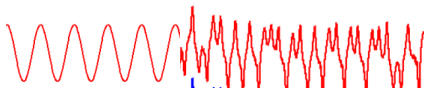
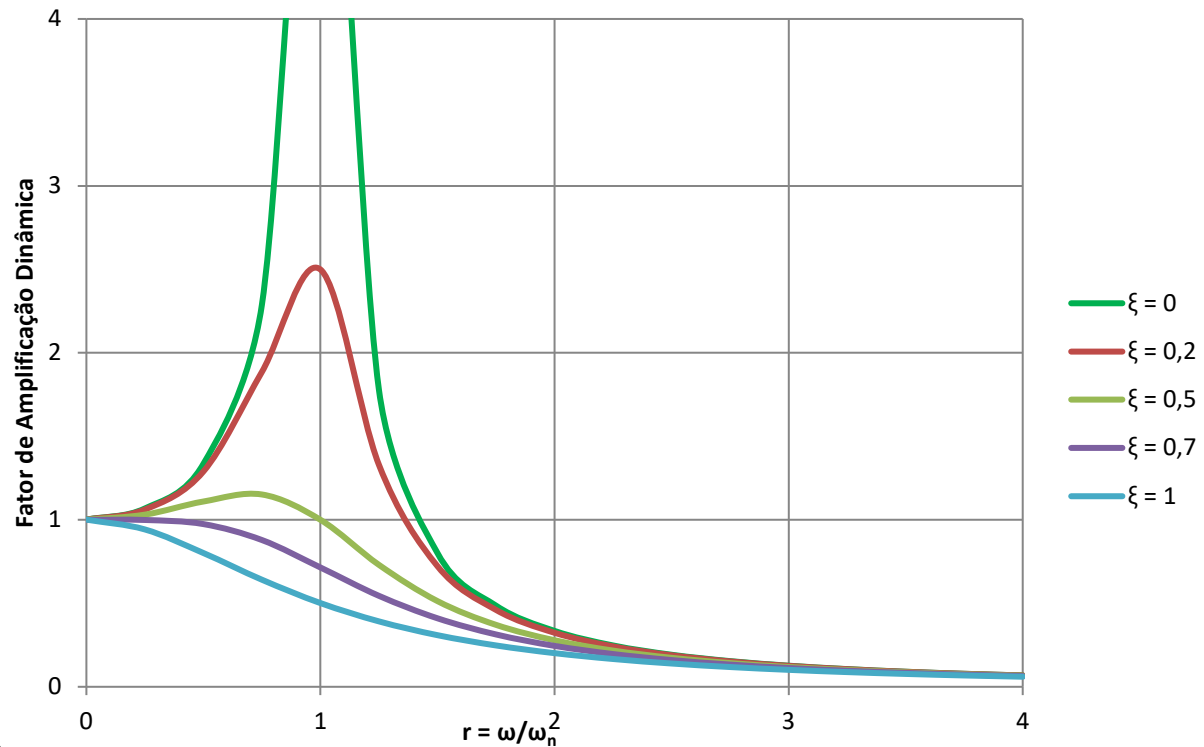
Deformação estática

$$X = A_D \frac{F_0}{k}$$

Deformação dinâmica

$$A_D = \frac{1}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2\xi r)^2}}$$

Amplificação
Dinâmica

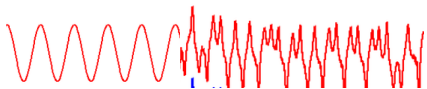


TRANSMISSIBILIDADE

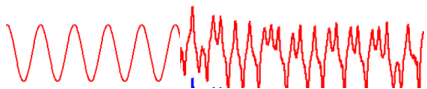
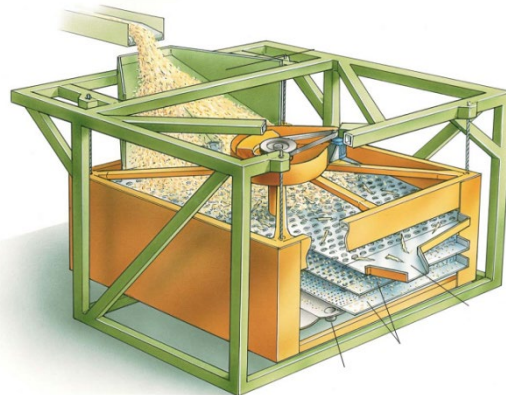
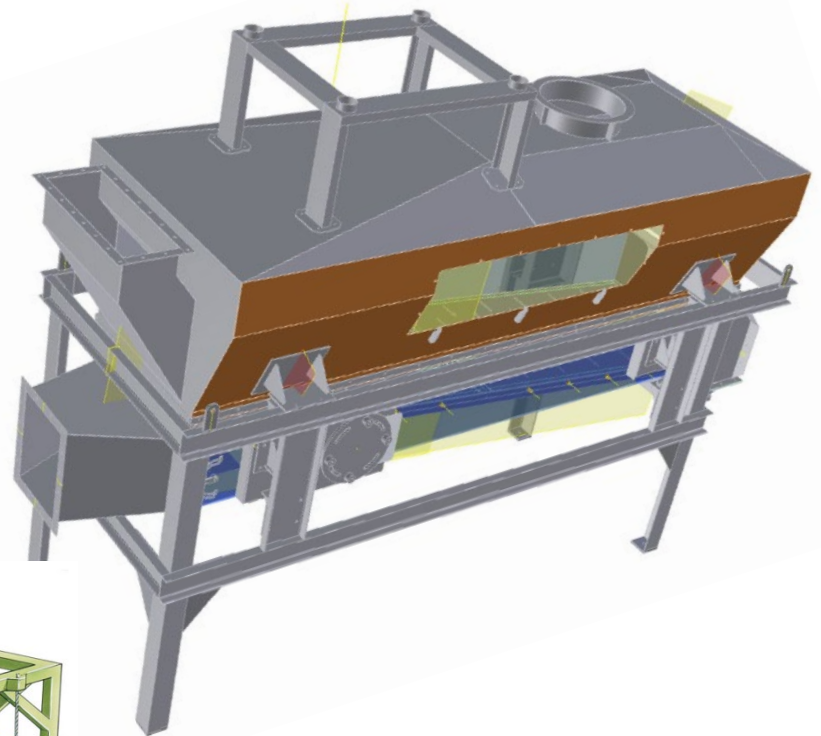
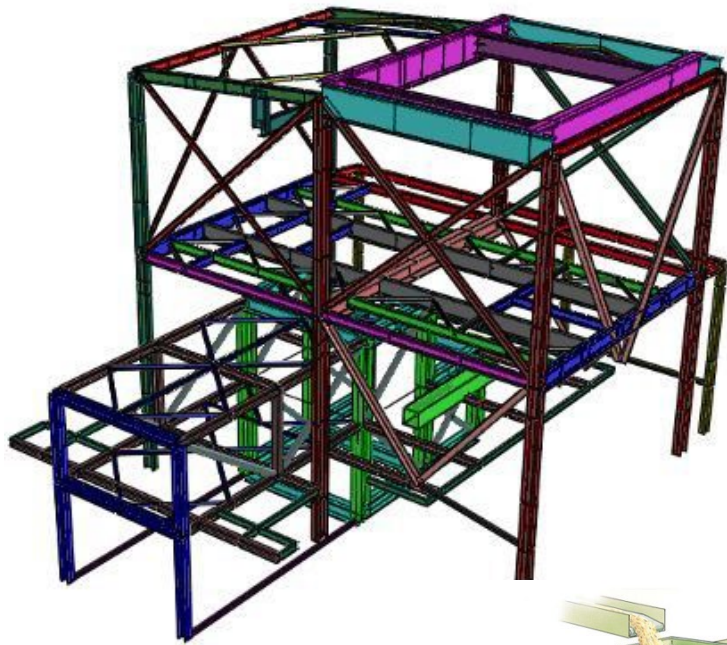
$$f_B(t) = kx(t) + c\dot{x}(t) \quad (\text{Soma da força na mola com a força no amortecedor})$$

$$f_{B\text{máx}} = F_0 A_D \sqrt{1 + (2\xi r)^2} \quad (\text{Valor máximo da força na base})$$

$$T_r = \sqrt{\frac{1 + (2\xi r)^2}{(1 - r^2)^2 + (2\xi r)^2}} \quad (\text{Fator de transmissibilidade})$$



Vibrações devidas a equipamento

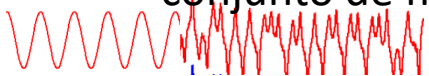


Análise dinâmica de plataformas industriais submetidas a carregamentos dinâmicos de equipamentos rotativos (correias transportadoras)



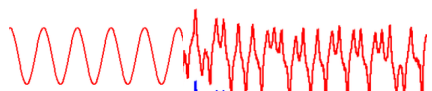


Os transportadores são compostos por uma correia que corre sobre roletes e são colocadas em movimento através de tambores acionados por um conjunto de motor e redutor. (**estruturas elevadas!!!**)

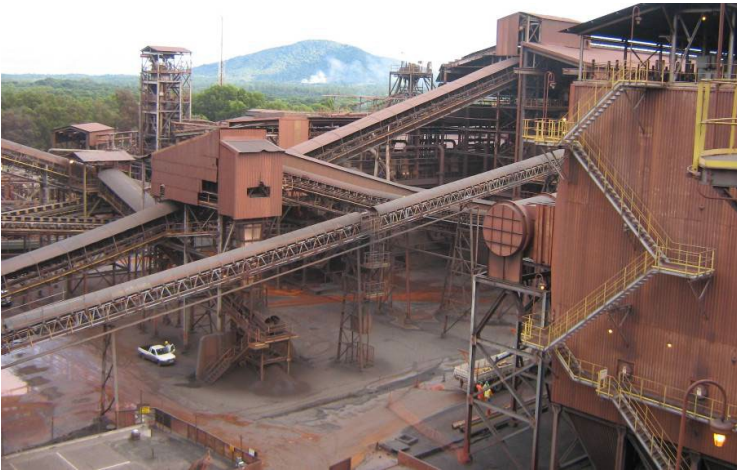




Equipamento de acionamento ligado de maneira rígida a estrutura



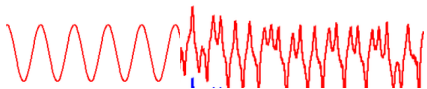
Zacarias Chamberlain 2023



Um dos efeitos dinâmico de máquinas rotativas ocorre pelo desbalanceamento do rotor, ou seja, a concentração de massa fora do eixo de rotação do rotor.

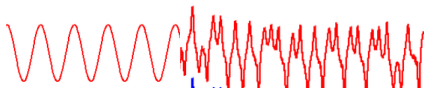
Este desbalanceamento ocorre devido vários fatores gerando vibrações harmônicas.

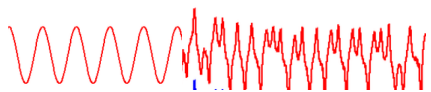
A estrutura de apoio deve ser dimensionada para prevenir que vibrações inaceitáveis sejam transmitidas ao ambiente, respeitando as amplitudes e acelerações máximas do equipamento e do conforto humano



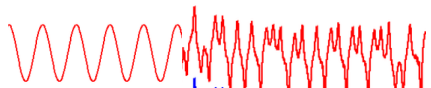
Sensação Geral de desconforto	4-9 Hz
Sintomas na cabeça	13-20 Hz
Maxilar	6-8 Hz
Influência na linguagem	13-20 Hz
Garganta	12-19 Hz
Dor no peito	5-7 Hz
Dor abdominal	4-10 Hz
Desejo de urinar	10-18 Hz
Aumento do tônus muscular	13-20 Hz
Influência nos movimentos respiratórios	4-8 Hz
Contrações musculares	4-9 Hz

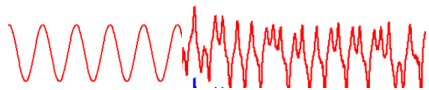
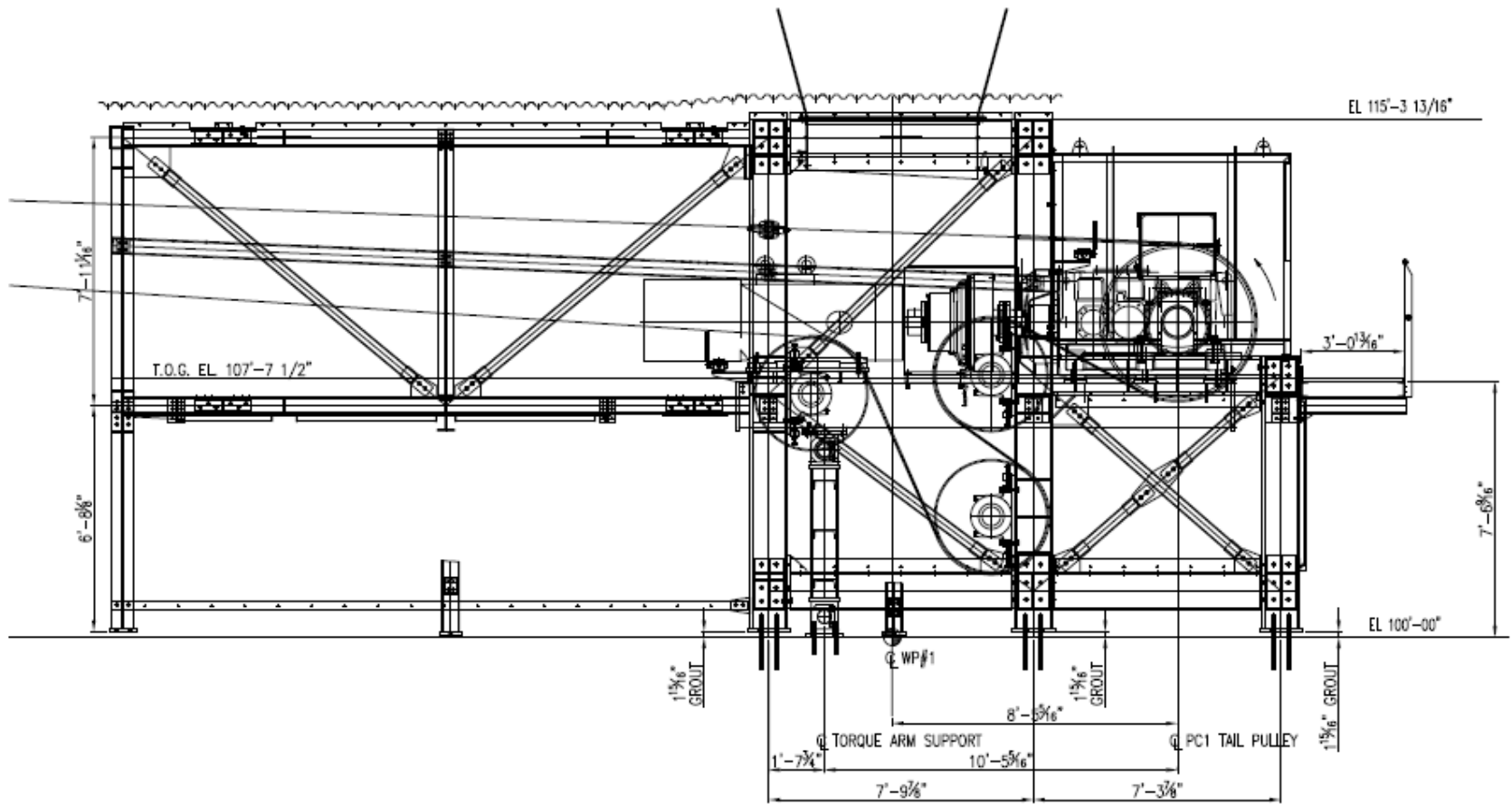
**Principais sintomas relacionados com a frequência da vibração
ATAÍDE (2007)**

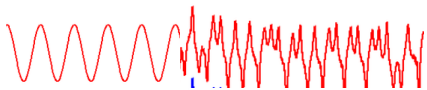
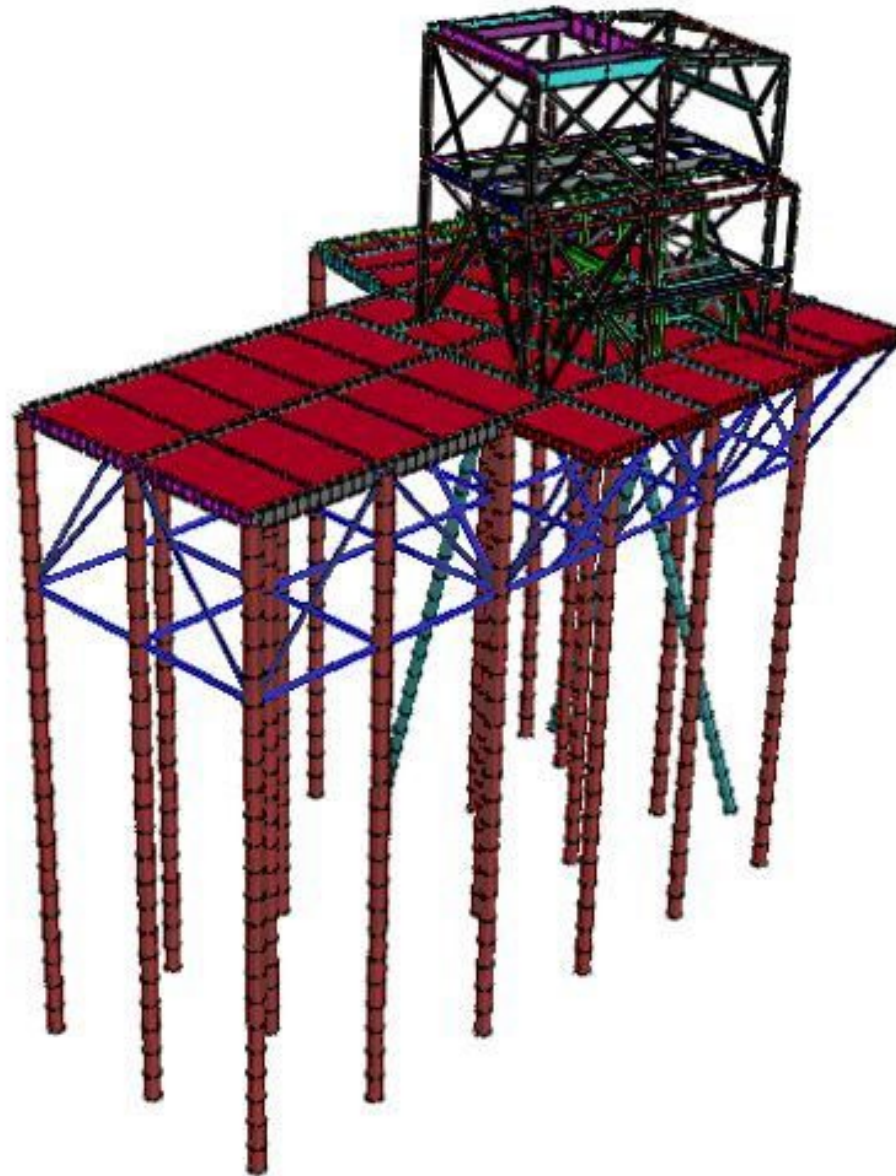


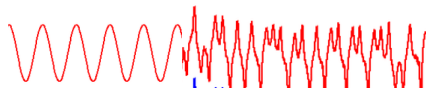
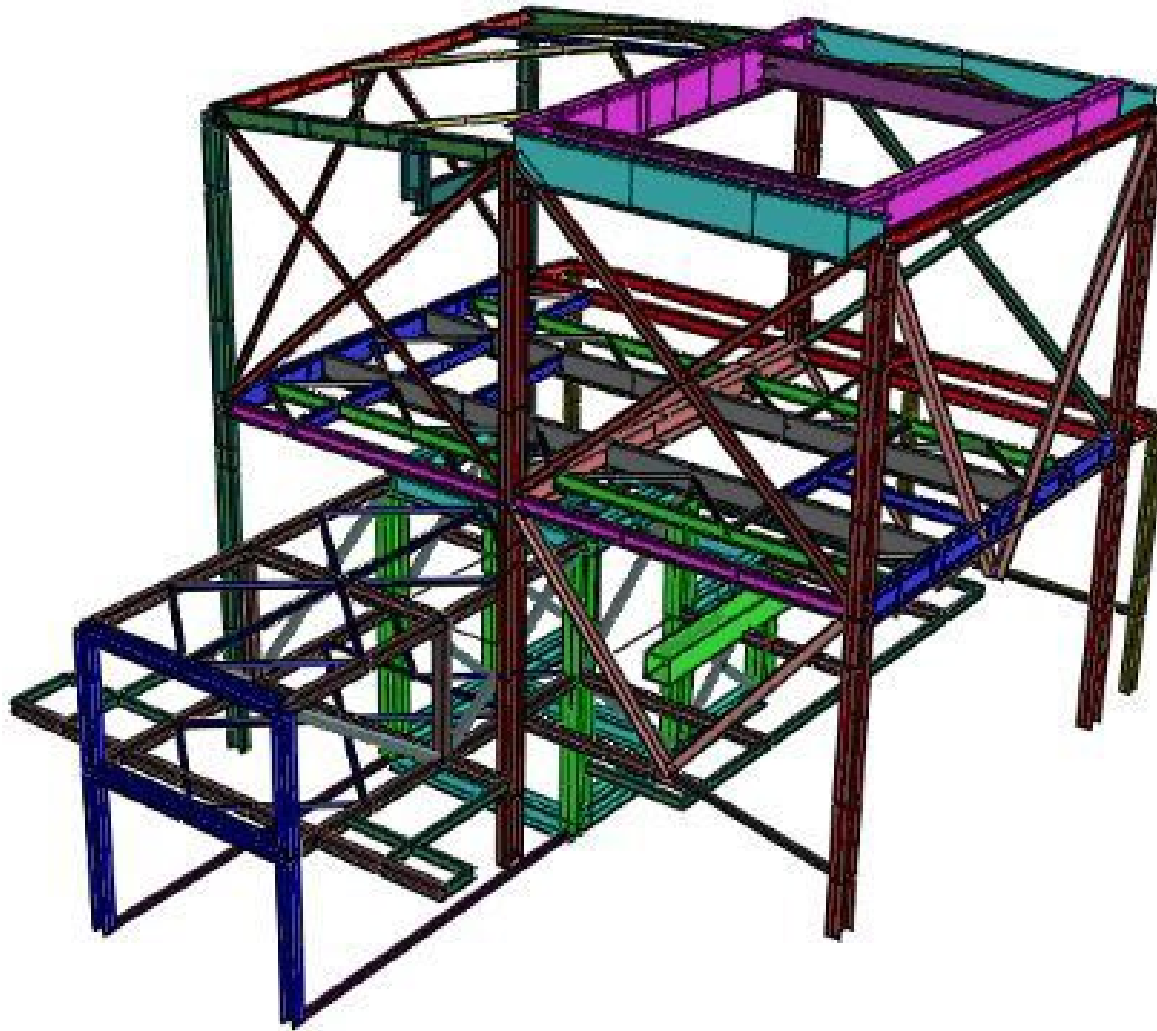


Zacarias Chamberlain 2023

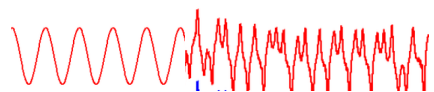
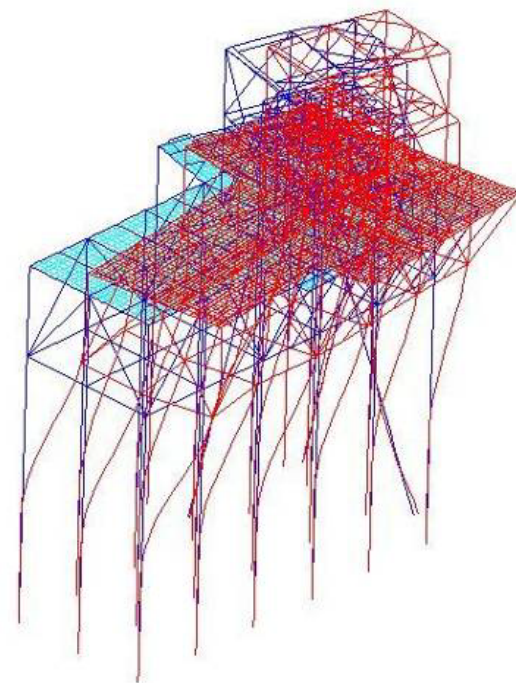
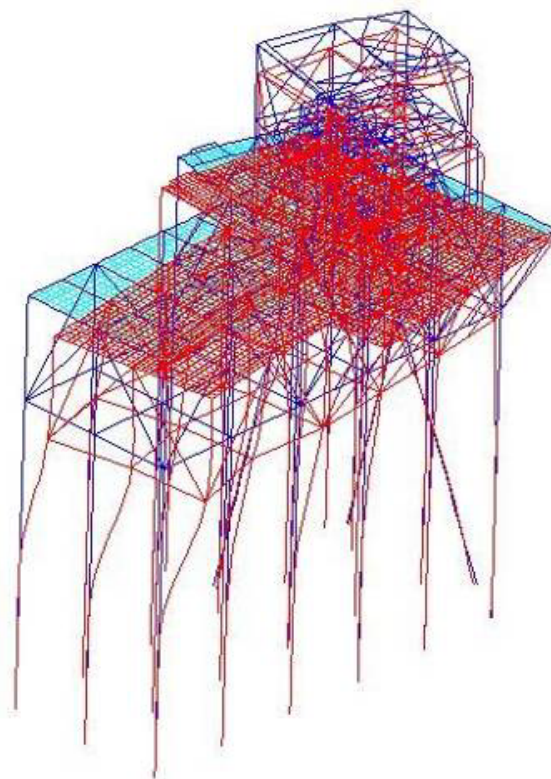
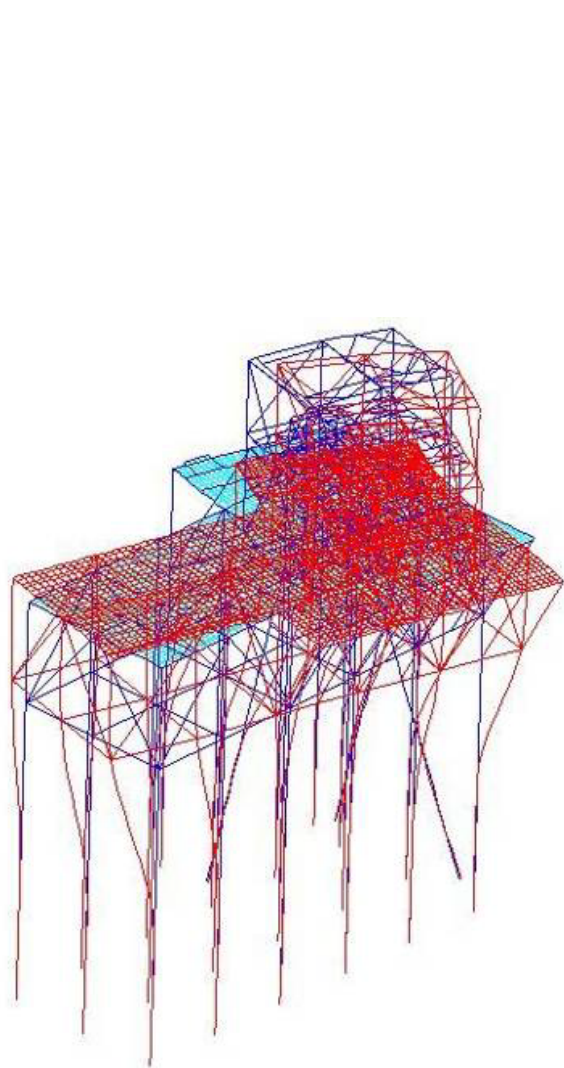




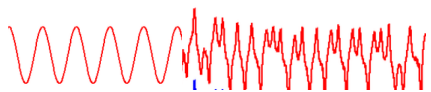




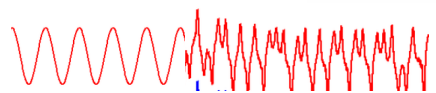
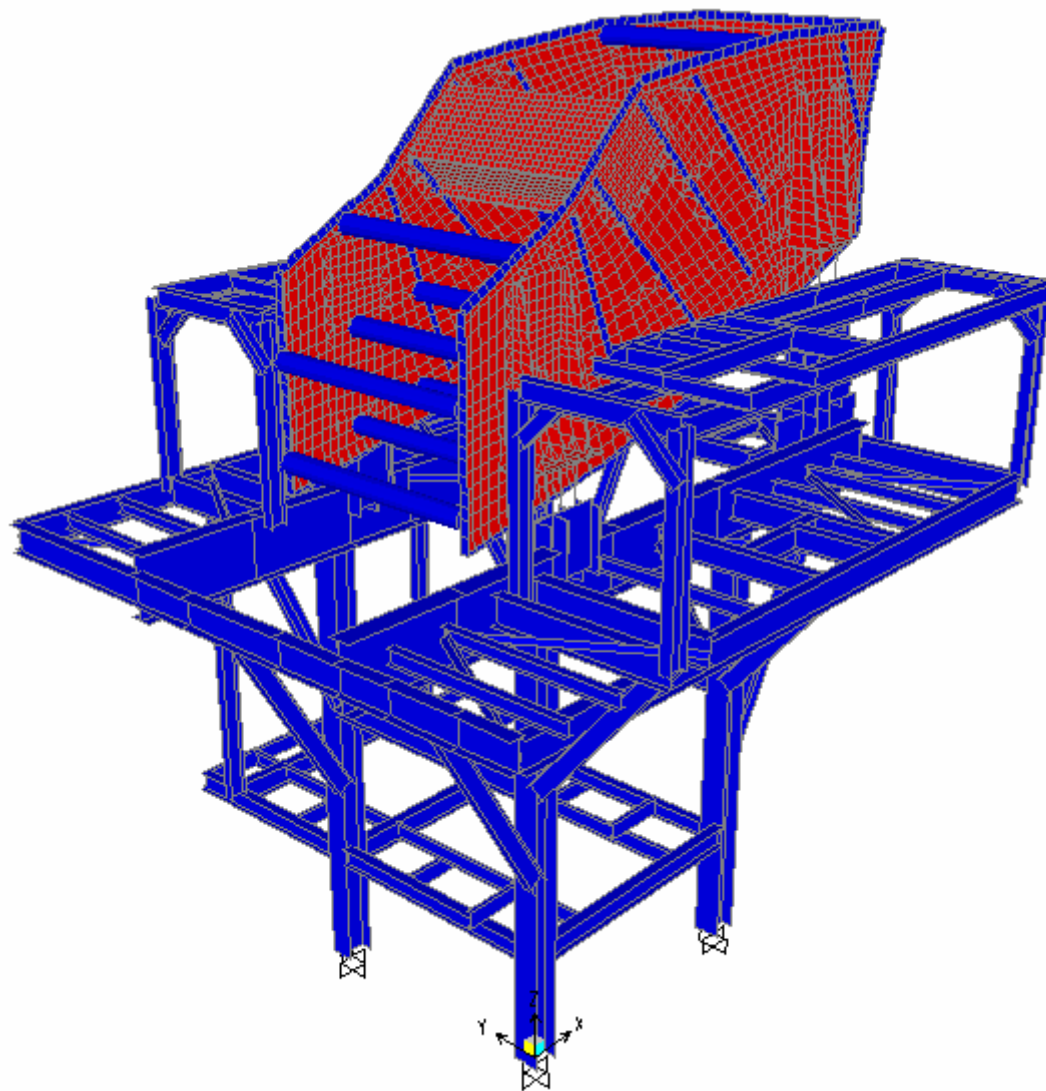
Zacarias Chamberlain 2023

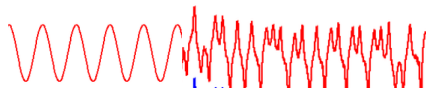
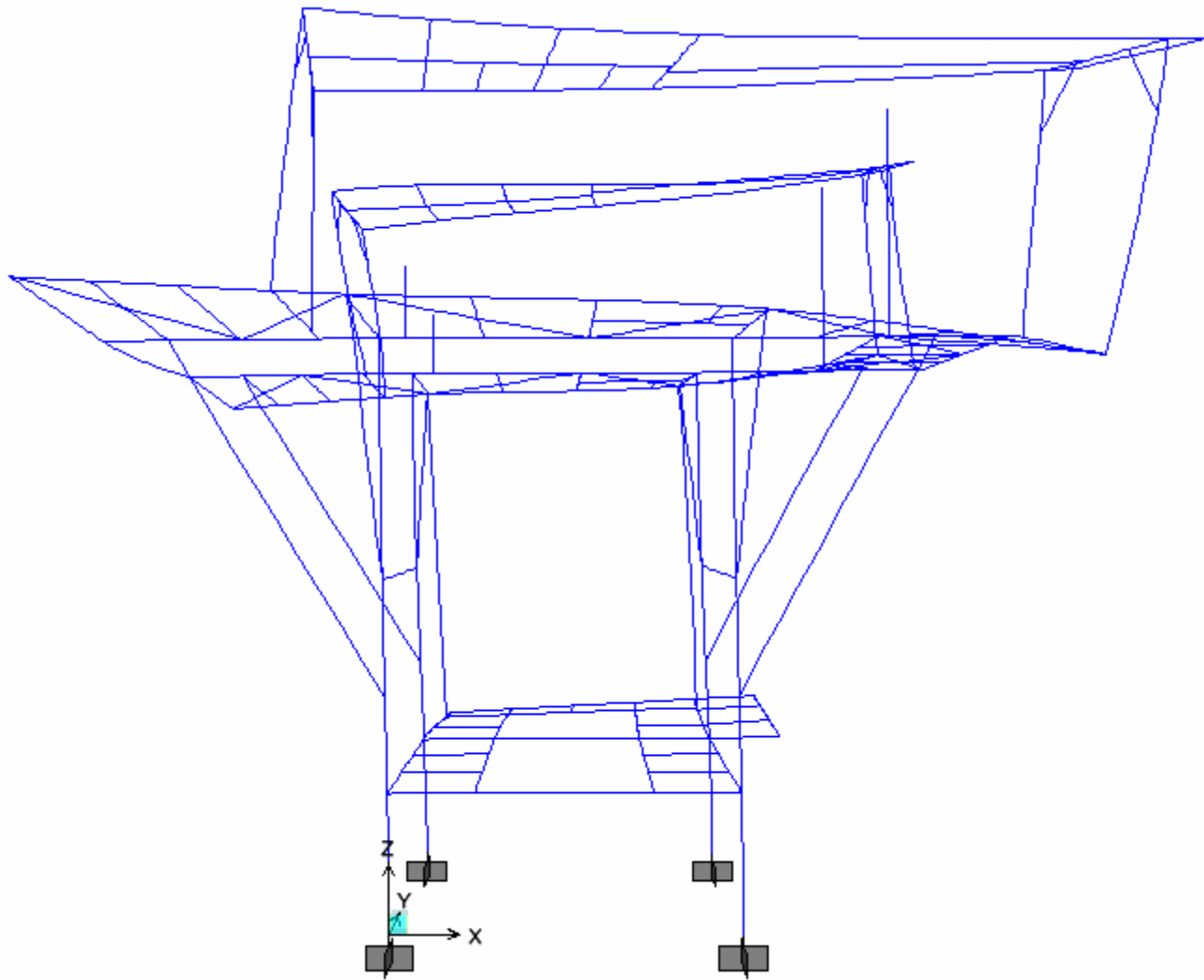


Zacarias Chamberlain 2023



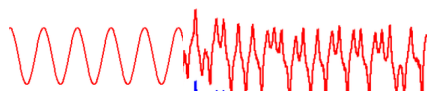
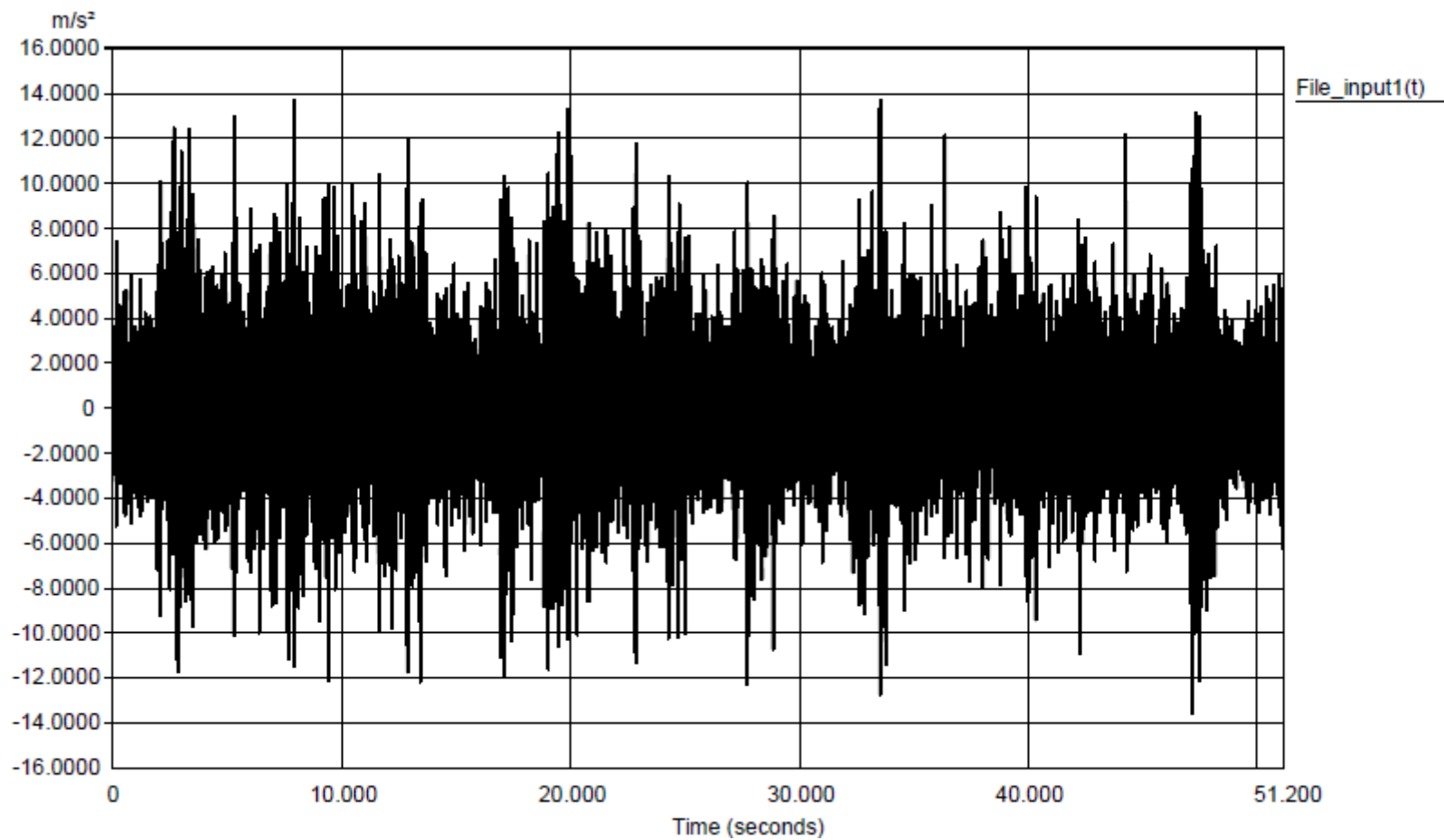
Zacarias Chamberlain 2023



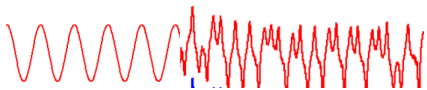
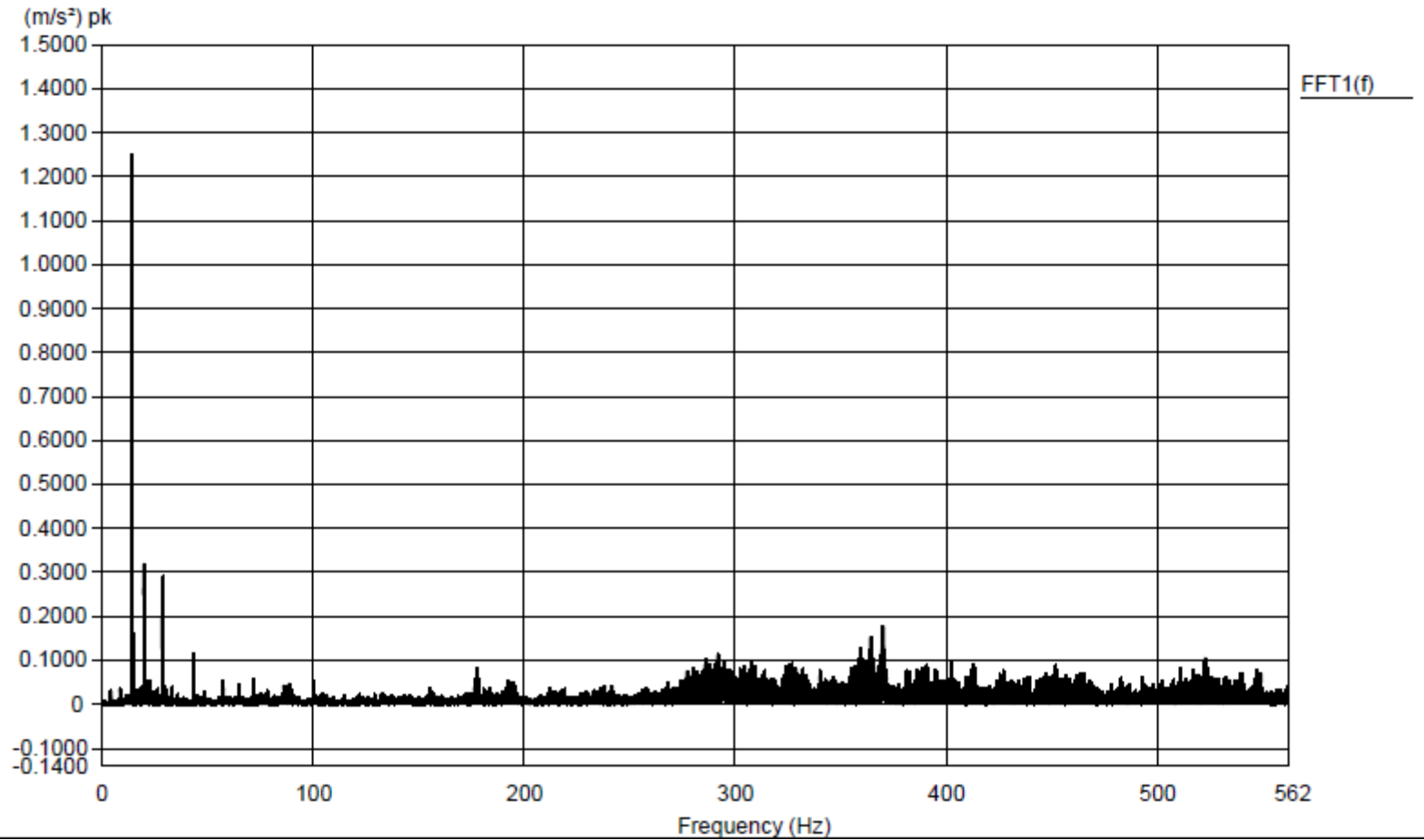


Zacarias Chamberlain 2023

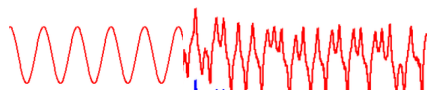
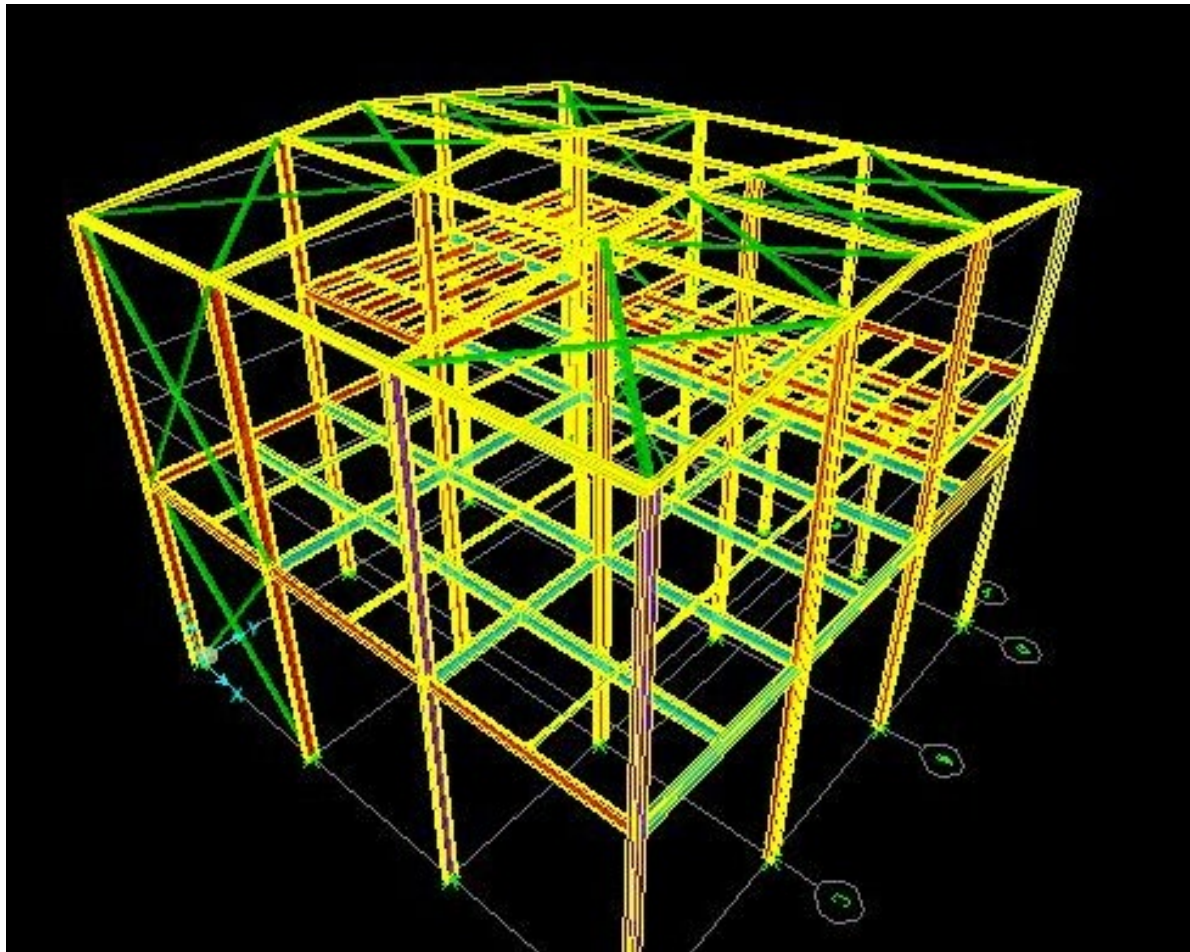




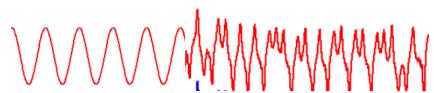
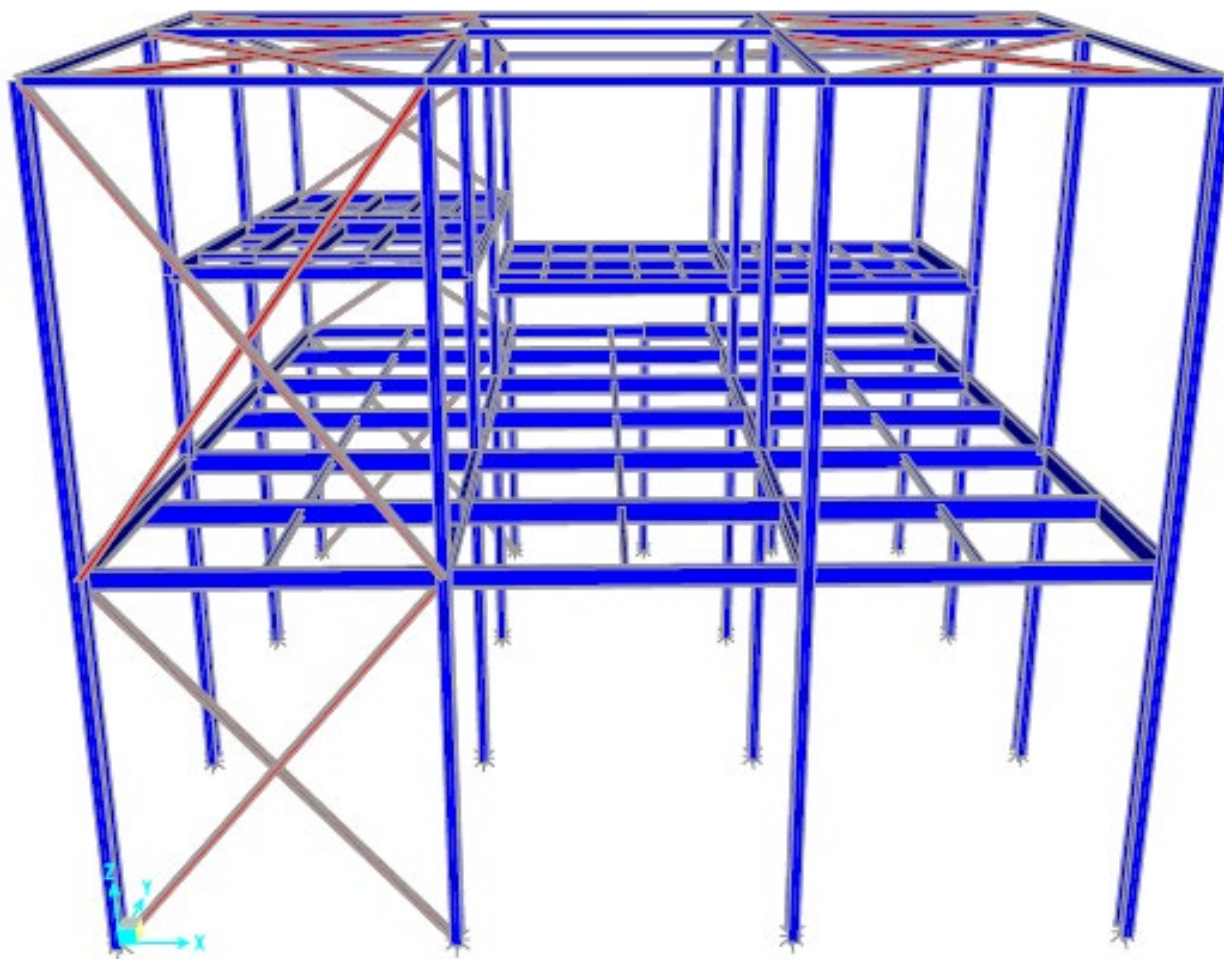
Zacarias Chamberlain 2023



Zacarias Chamberlain 2023

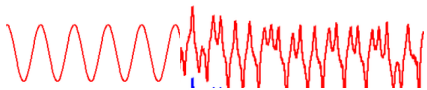
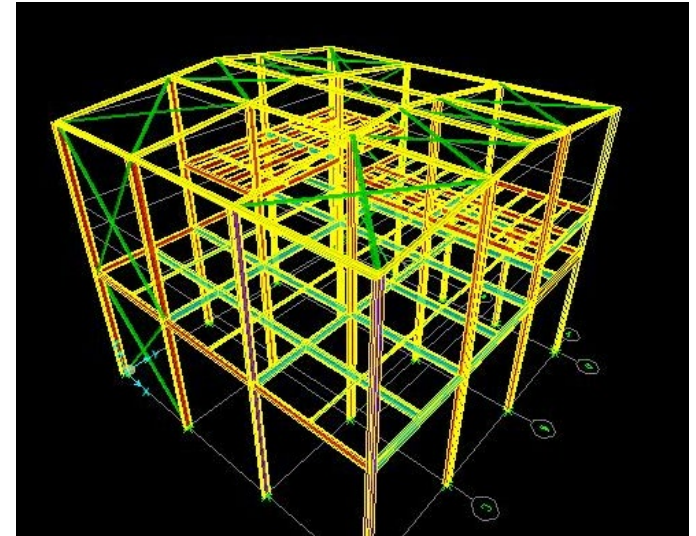


Zacarias Chamberlain 2023



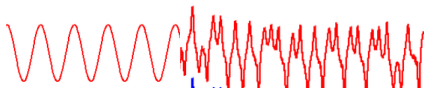
Análise Estática

- Análise de 2ª ordem e elástica
- Utilizado o programa SAP2000 para a análise estrutural
- Dimensionamento pelo método dos estados limites conforme NBR8800:2008



Análise Dinâmica:

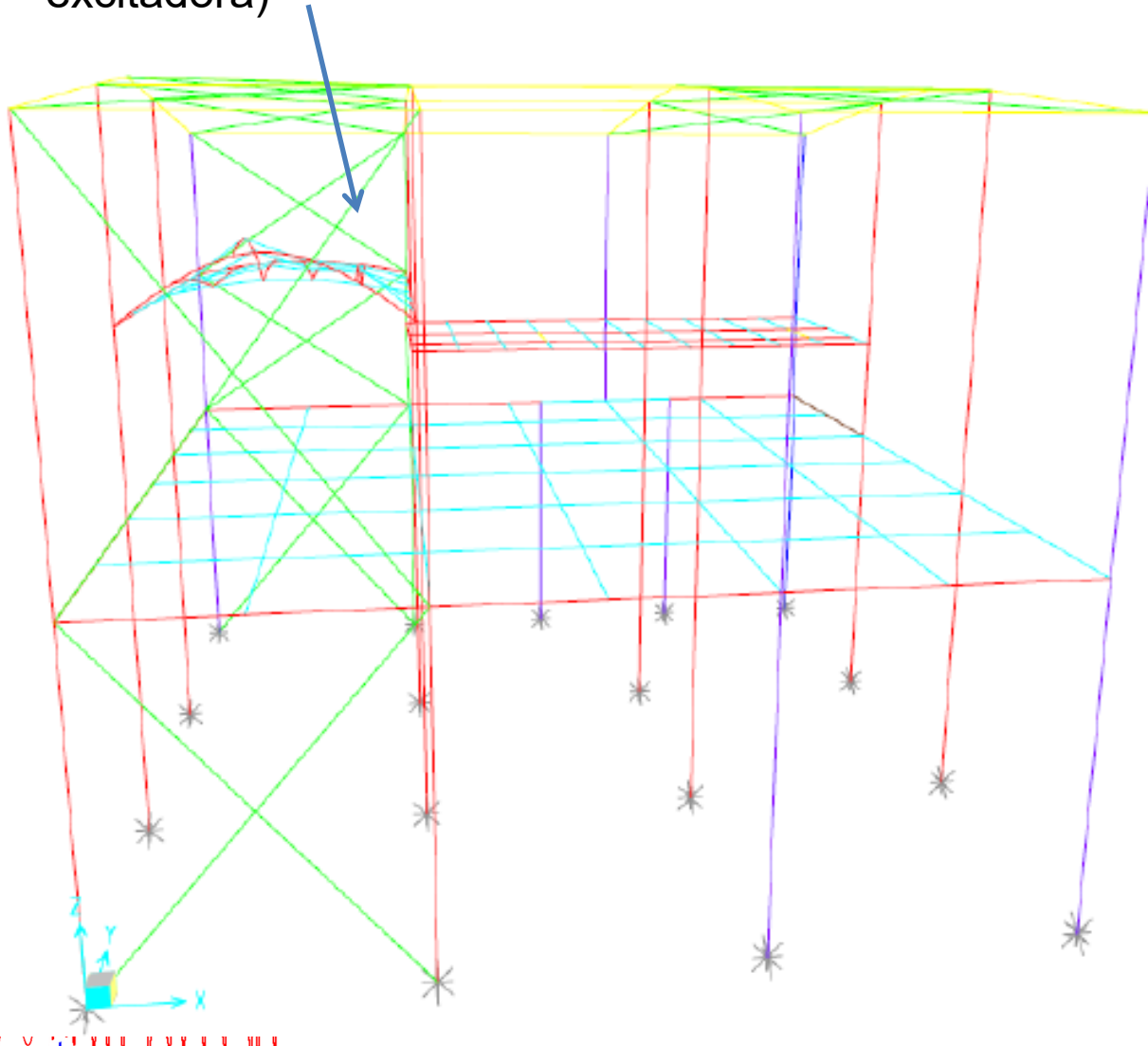
- Realizada no programa SAP2000
- Obtenção das frequências naturais da estrutura
- Avaliação dos modos de vibração da estrutura
- Inserção das cargas do equipamento



▪ Equipamento:

- $f = 14,67\text{Hz}$ (frequência)

- $\omega = 92,15\text{rad/s}$ (frequência circular excitadora)



Modo 29:

$T = 0,12043\text{s}$

$f = 8,30343\text{Hz}$

$$r = \frac{\omega}{\omega_n}$$

Modo 29: 0,57

Modo 32: 0,62

Modo 40: 0,85

Modo 42: 0,90

- Análise Estática:

Axial = 41,6kN

Momento = 646,7kN.m

Cortante = 426,2kN

- Análise Dinâmica:

Axial = 41,6kN

Momento = 657,1kN.m

Cortante = 430,4kN

- Primeira Análise:

Axial = 41,6kN

Momento = 657,1kN.m

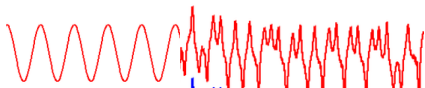
Cortante = 430,4kN

**- Segunda Análise com efeito
ressonante:**

Axial = 41,7 kN

Momento = 919,1kN.m

Cortante = 566,4kN

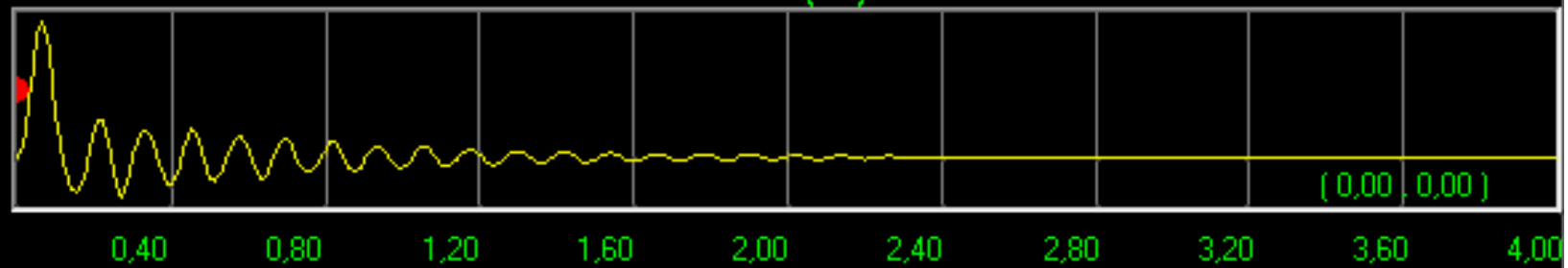
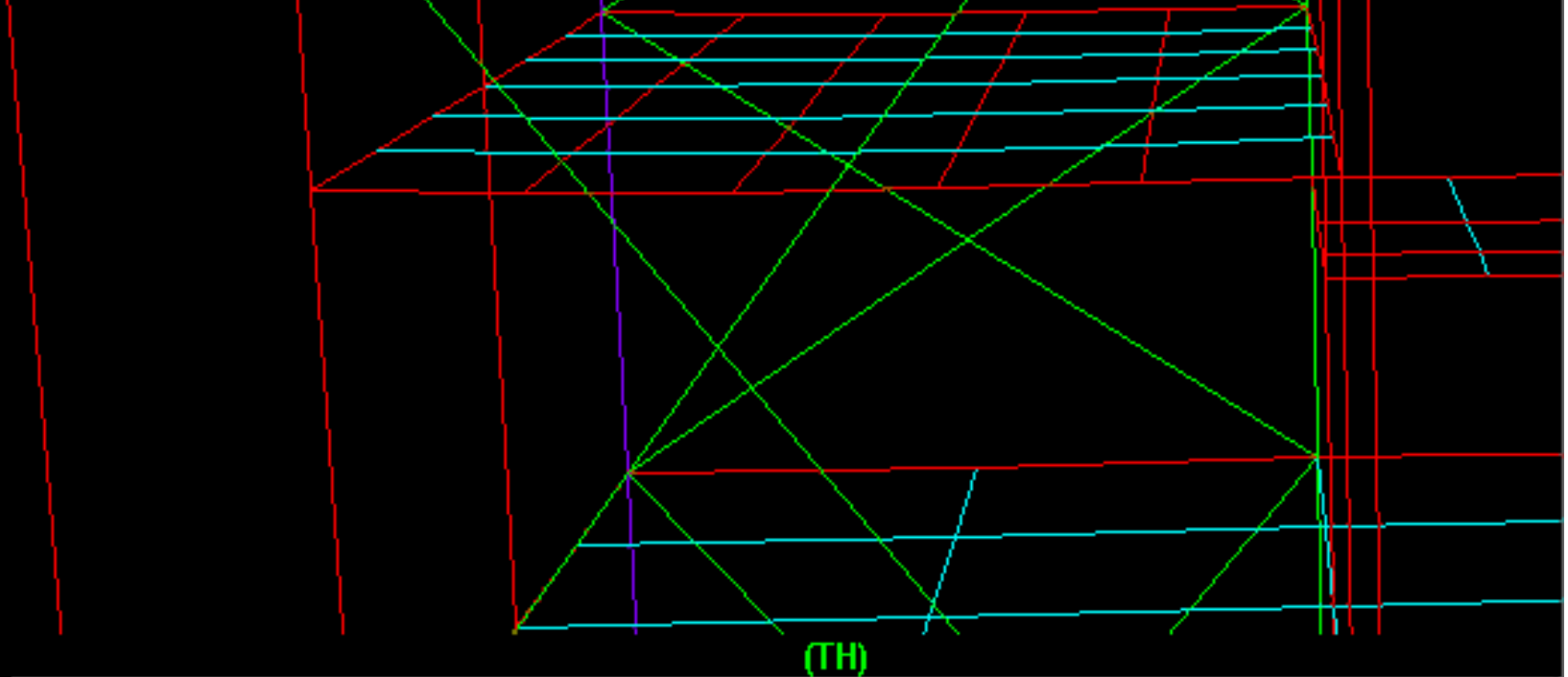


SAP2000

Filename: Predio Equipamento_CargaDinamica_08.11.sdb

Deformed Shape

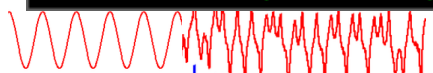
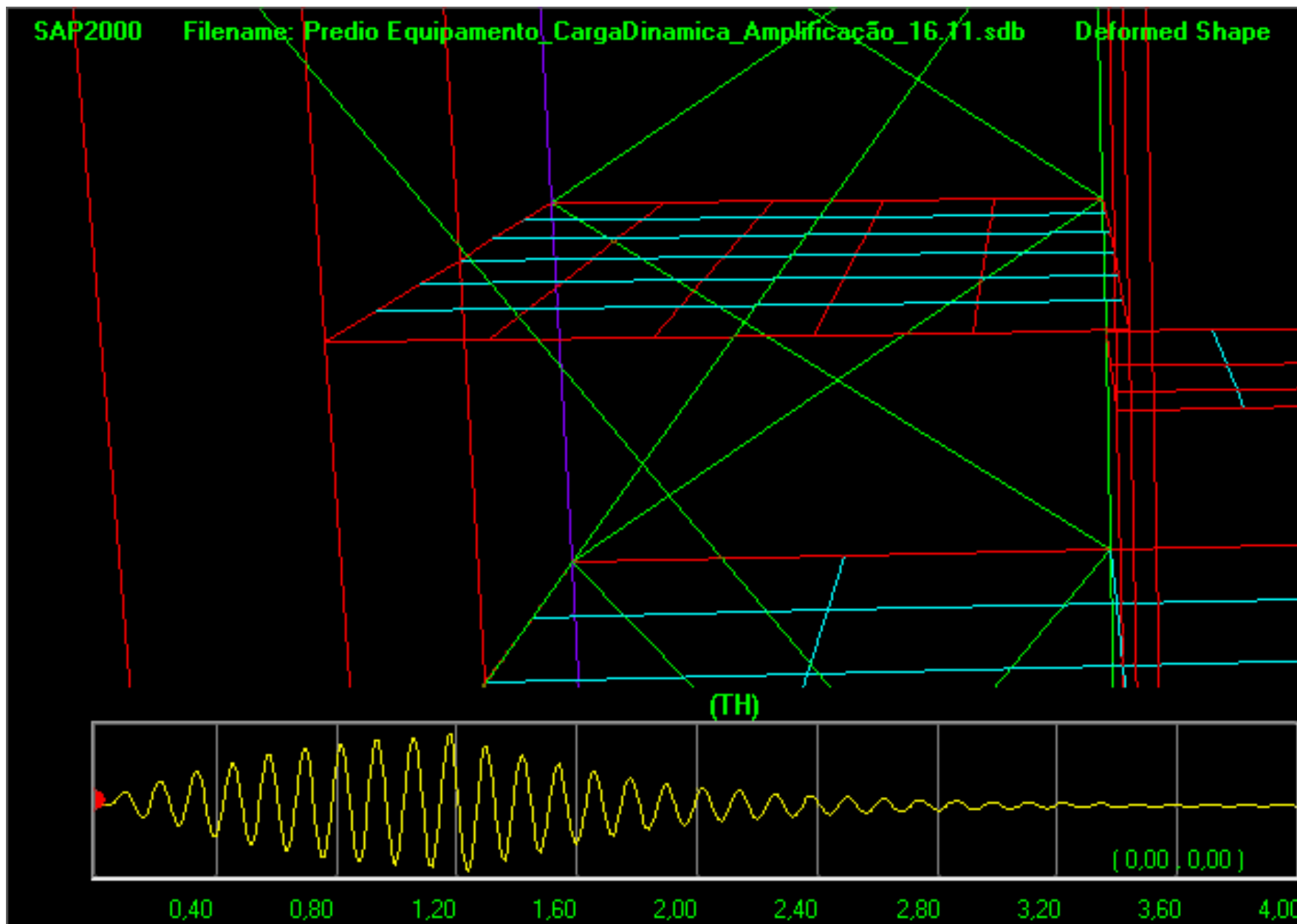
Case: Carga

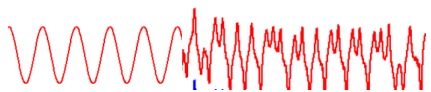
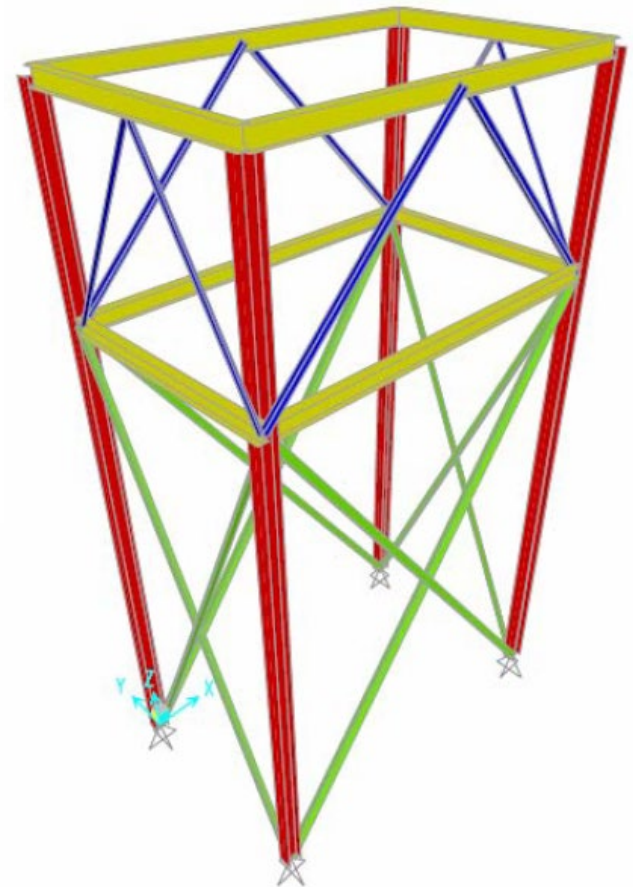
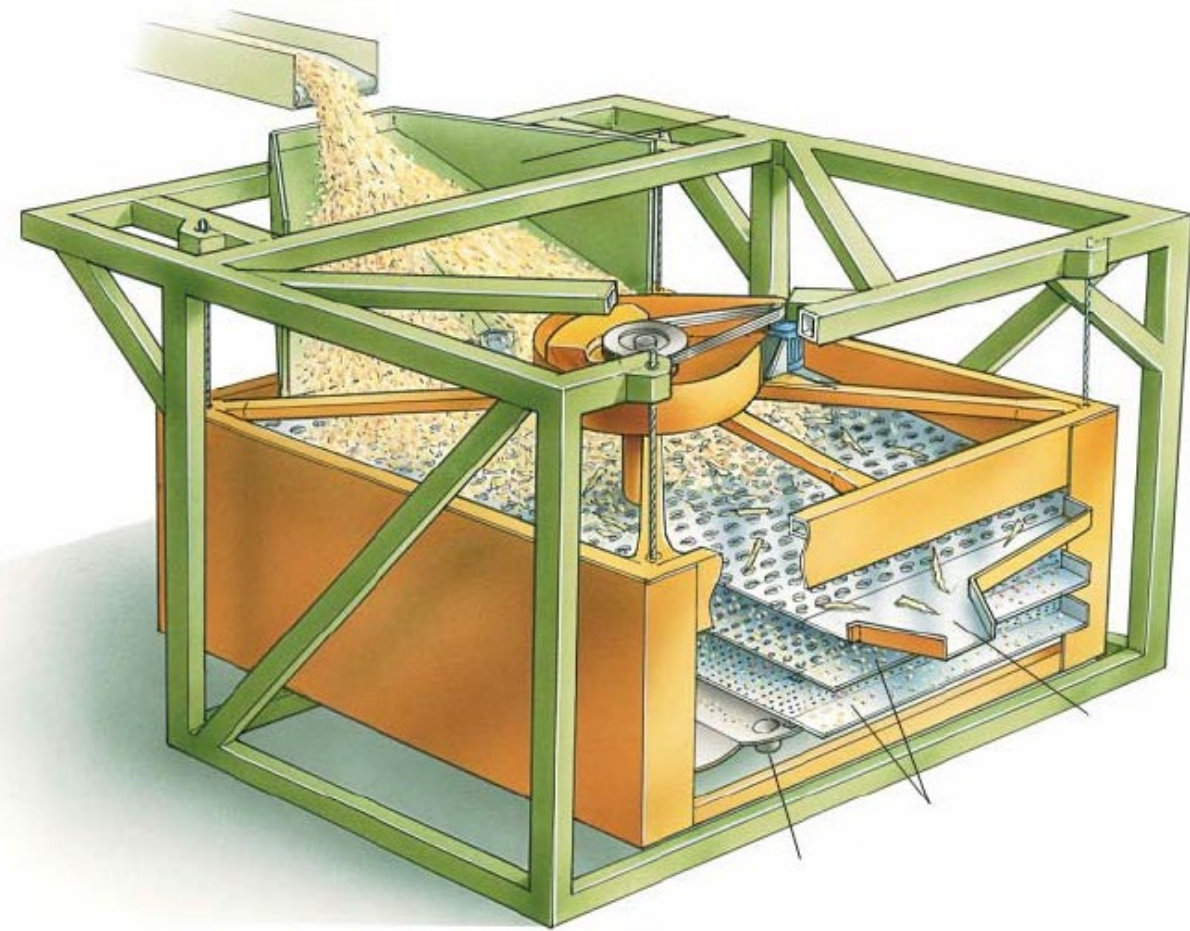


SAP2000

Filename: Predio Equipamento_CargaDinamica_Amplificação_16.11.sdb

Deformed Shape

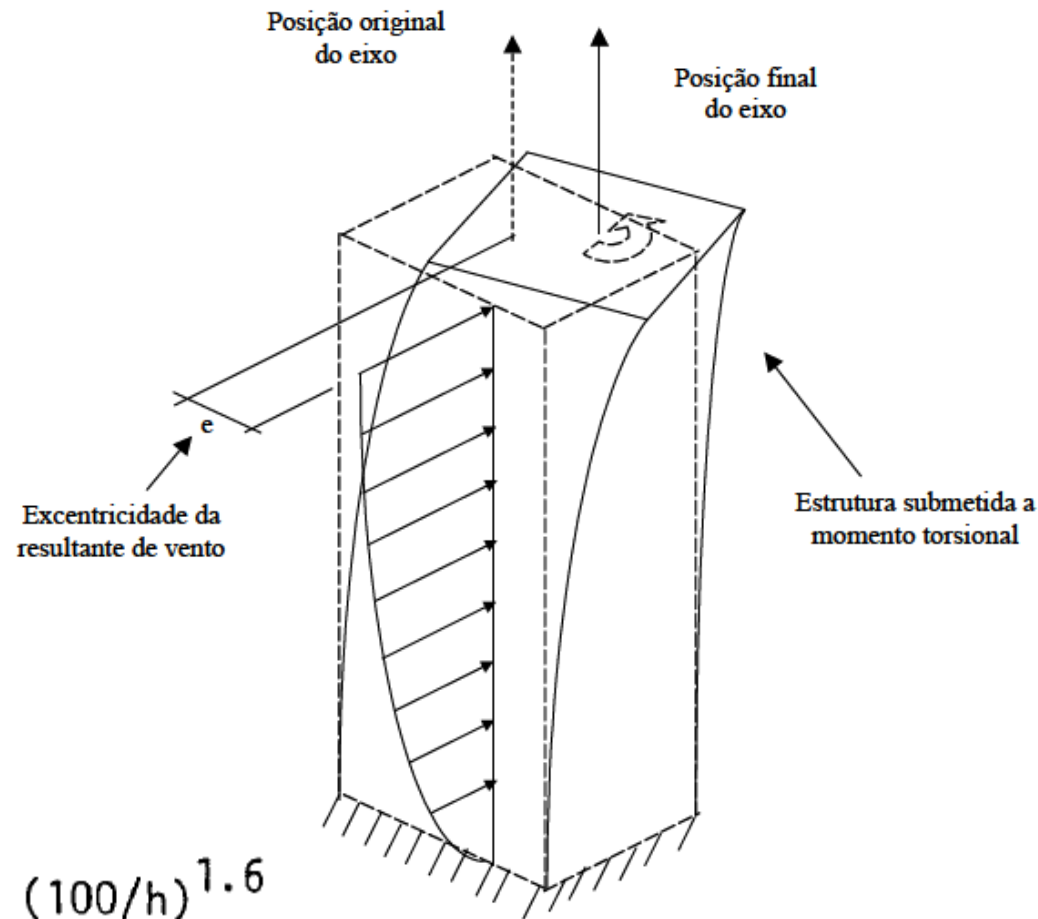




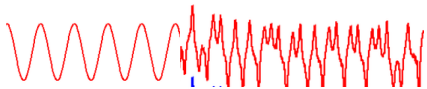
Zacarias Chamberlain 2023

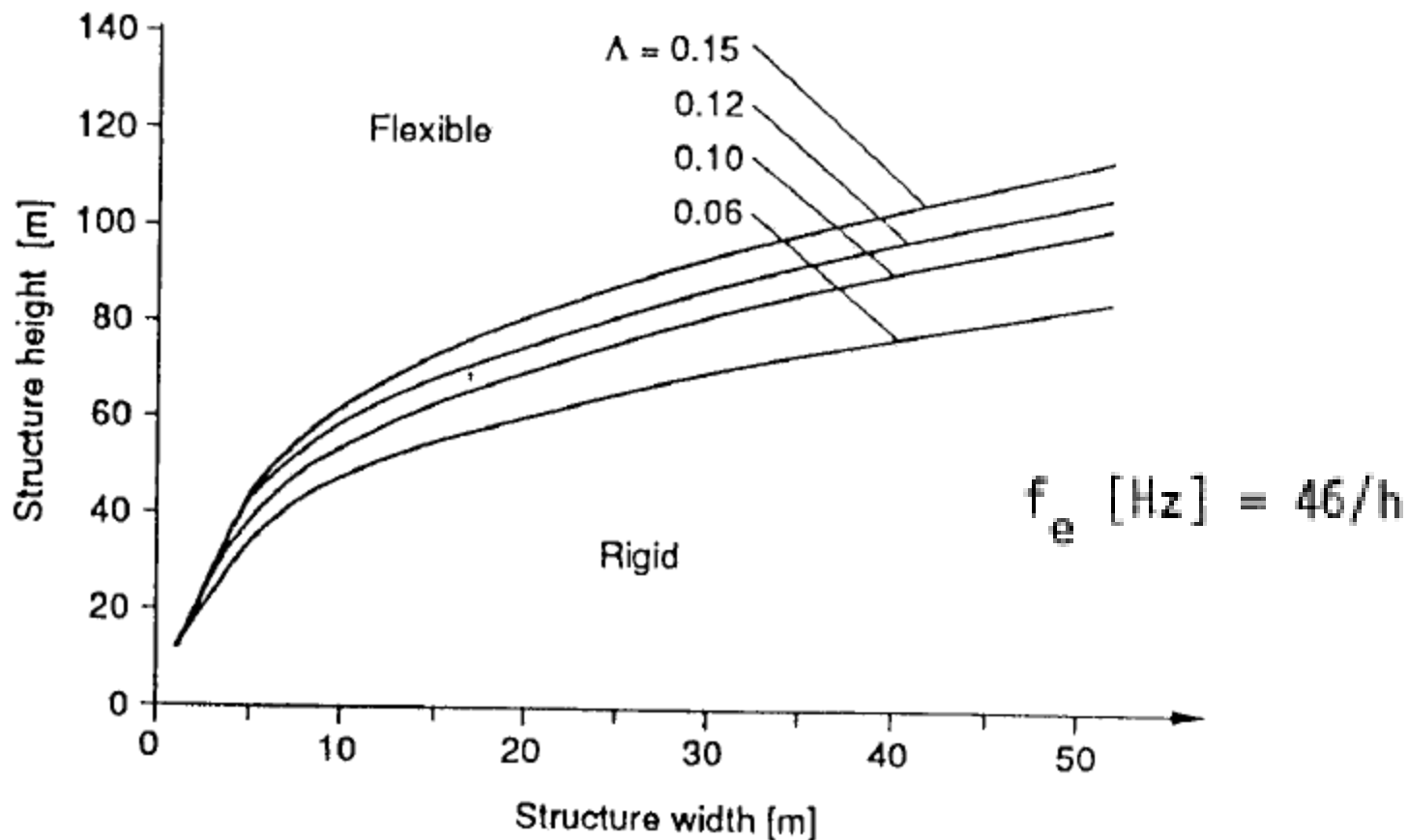
Vibrações devidas ao vento

Para aplicação no projeto de novas concepções de edifícios, a análise dinâmica sob ação do fluxo de vento, incluindo o efeito da turbulência, torna-se necessária para controlar as respostas em termos de deslocamento, velocidade ou aceleração das edificações. Deve-se incluir testes, através de modelos numéricos, com aplicação de perfis de velocidade média do vento e/ou rajadas leves e fortes com excitações em frequências abaixo de 1 Hz.

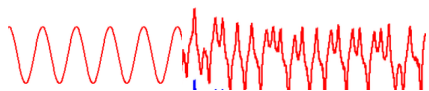


$$f_e [\text{Hz}] = 0.4 (100/h)^{1.6}$$





***Edificações acima de 50 metros de altura são esbeltas!!!
 Porém, edificações com menor altura podem exceder o período de 1 seg***



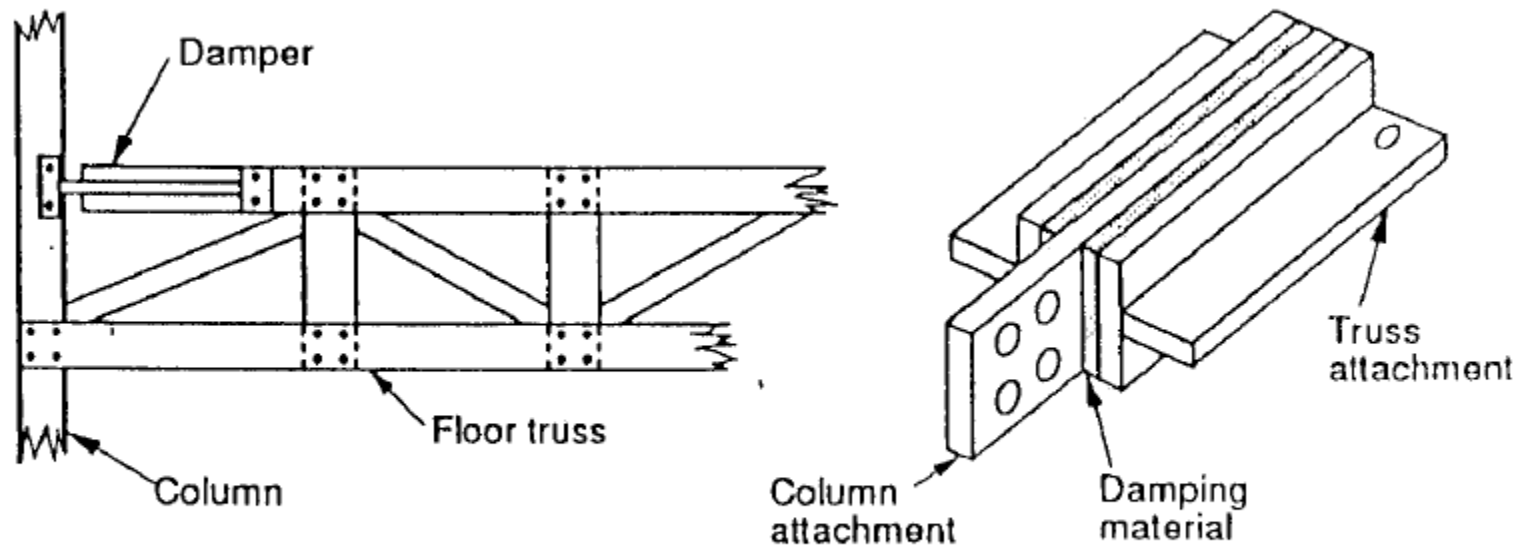
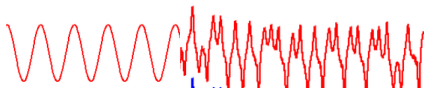


Figure 3.4: Friction dampers in the load bearing structure of the World Trade Center in Manhattan (New York)



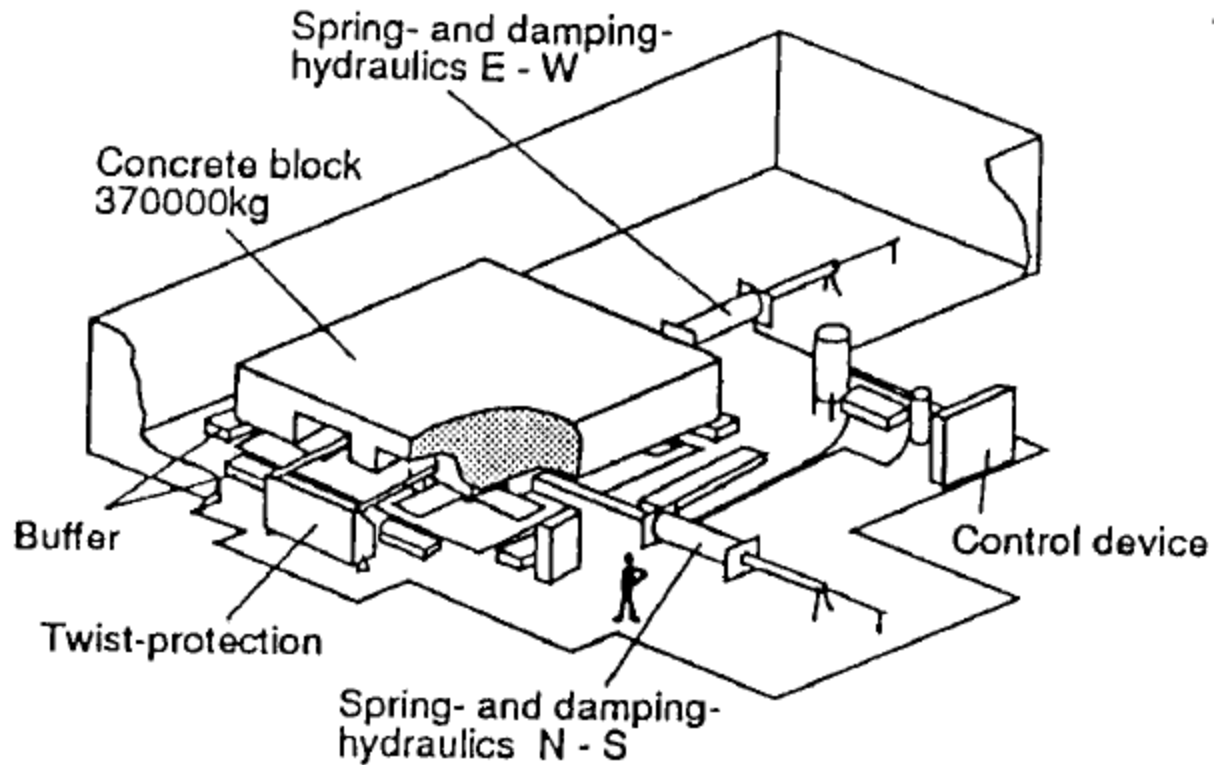
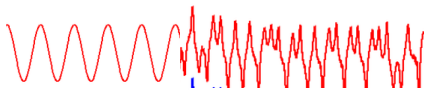


Figure 3.5: Vibration absorber, Citicorp Center, New York

Absorvedores de vibração



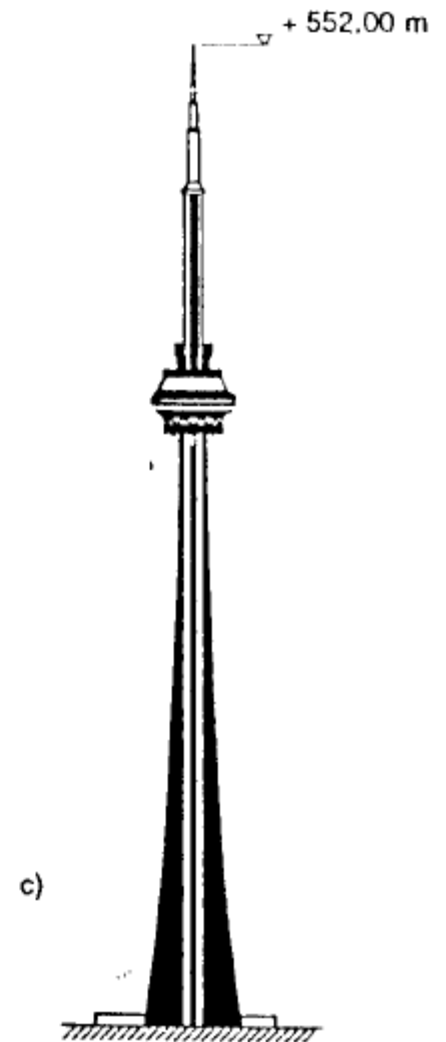
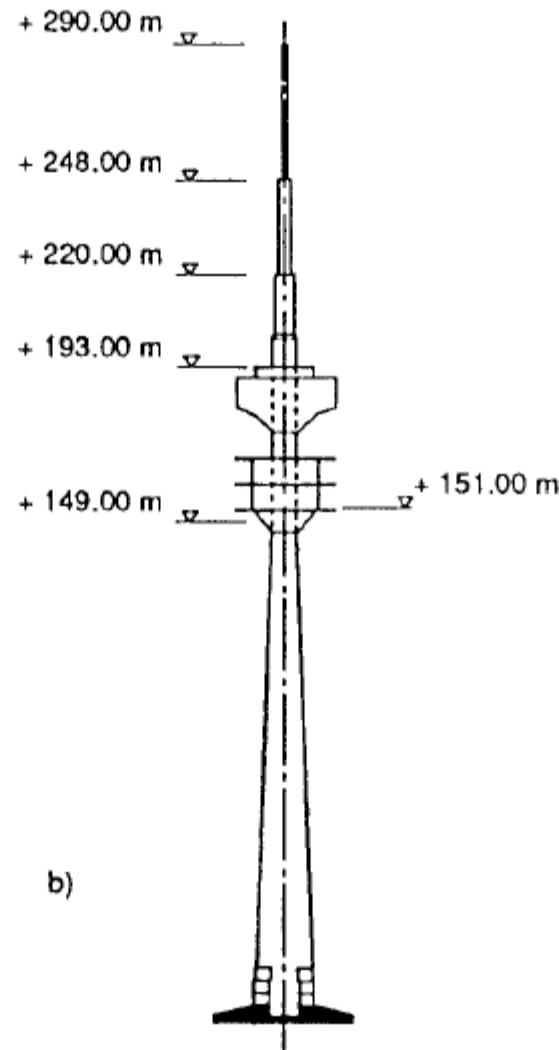
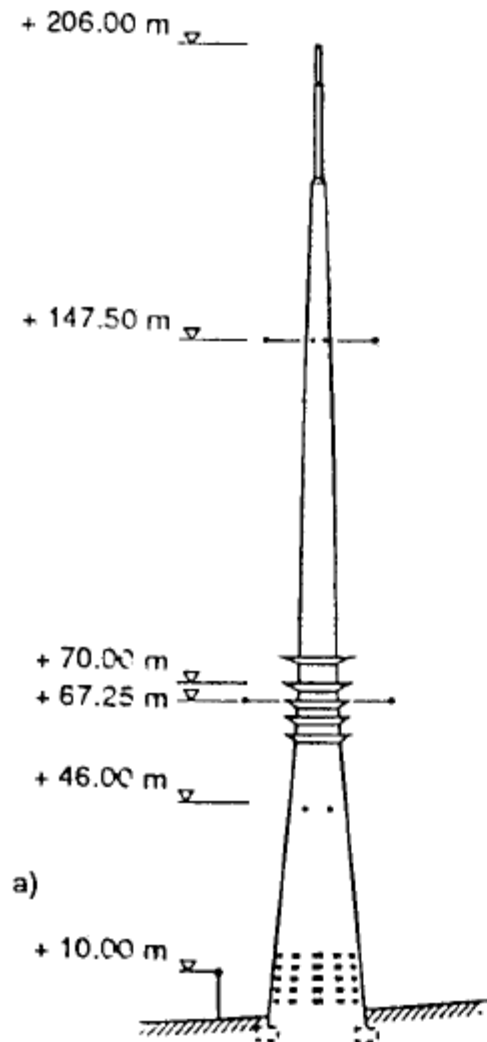


Figure 3.6: Telecommunication towers: a) Hornigsrinde, Germany [3.6], b) Munich [3.7], c) CN Tower, Toronto [3.8]

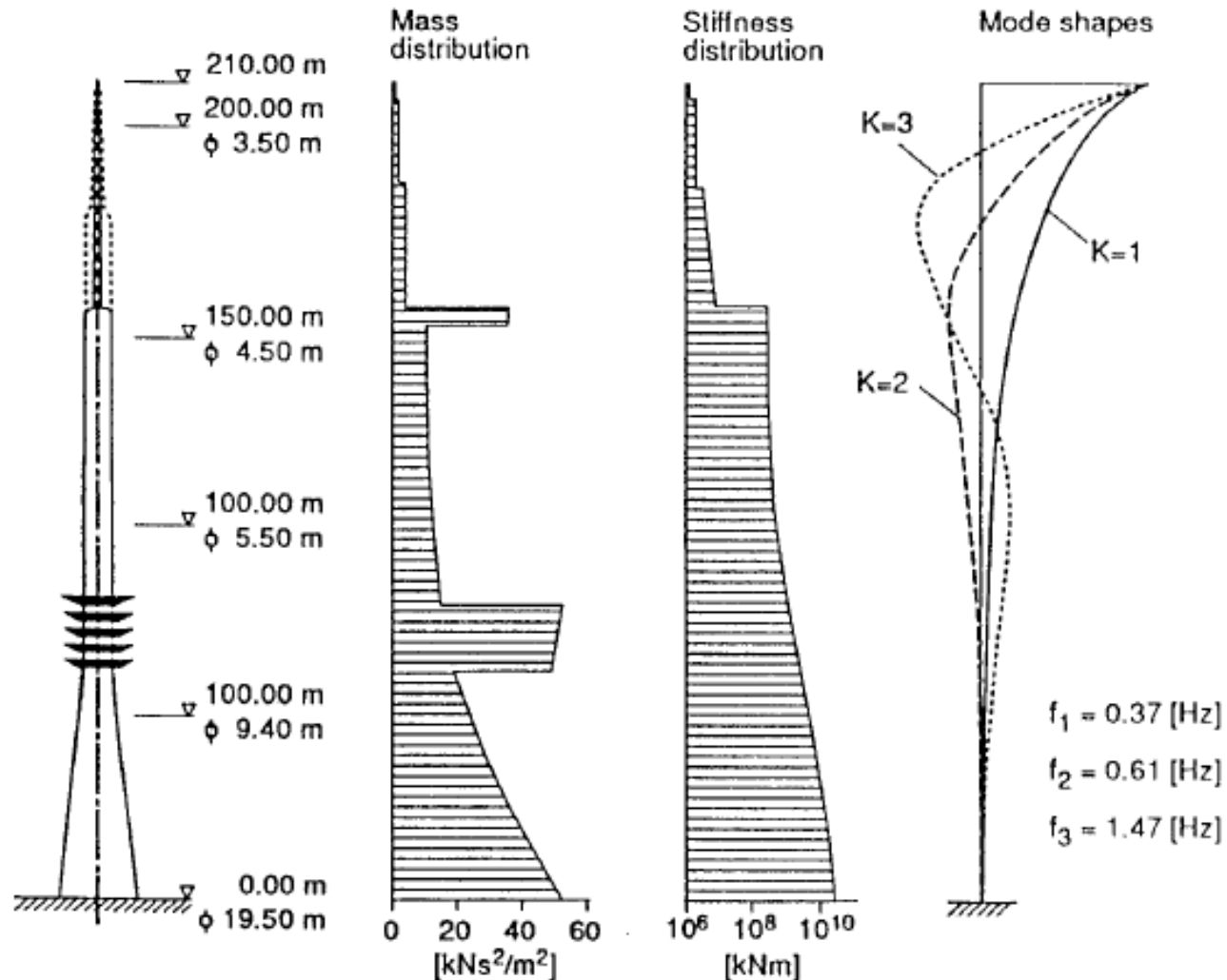
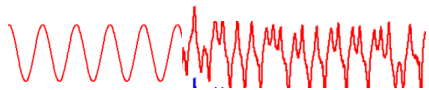


Figure 3.8: Telecommunications tower with mass distribution, stiffness distribution and natural modes of vibration (from [3.6])





ABNT-Associação
Brasileira de
Normas Técnicas

JUN 1988

NBR 6123

Forças devidas ao vento em edificações

Em edificações com período fundamental T_1 igual ou inferior a 1 s, a influência da resposta flutuante é pequena, sendo seus efeitos já considerados na determinação do intervalo de tempo adotado para o fator S_2 . Entretanto, edificações com período fundamental superior a 1 s, em particular aquelas fracamente amortecidas, podem apresentar importante resposta flutuante na direção do vento médio. A resposta dinâmica total, igual à superposição das respostas média e flutuante, pode ser calculada de acordo com as especificações deste capítulo. Exemplos de cálculos são apresentados no Anexo I.

9.2 Dados de entrada para a determinação da resposta dinâmica na direção do vento

9.2.1 Velocidade de projeto \bar{V}_p

A velocidade de projeto, correspondente à velocidade média sobre 10 min a 10 m de altura sobre o solo, em terreno de categoria II, é obtida pelo produto:

$$\bar{V}_p = 0,69 V_o S_1 S_3$$

9.2.2 Características dinâmicas da estrutura

9.2.2.1 Modelo contínuo simplificado

Pode ser adotado um modelo contínuo simplificado quando a edificação tiver seção constante e distribuição ao menos aproximadamente uniforme de massa. O método simplificado é aplicável a estruturas apoiadas exclusivamente na base e de altura inferior a 150 m, sendo considerada na resposta dinâmica destas unicamente a contribuição do modo fundamental. Em geral, a retenção só do primeiro modo na solução conduz a erros inferiores a 10%.

Admite-se que o primeiro modo de vibração pode ser representado com precisão pela equação:

$$x = (z/h)^\gamma$$

A Tabela 19 apresenta valores aproximados de γ e equações, também aproximadas, que permitem o cálculo direto da frequência fundamental f_1 (Hz) para vários tipos de edificações usuais. Alternativamente, f_1 e γ podem ser obtidos empregando métodos da teoria de vibrações de estruturas. A razão de amortecimento crítico ζ também está indicada na Tabela 19, em função do tipo de estrutura.

Tabela 19 - Parâmetros para a determinação de efeitos dinâmicos

Tipo de edificação	γ	ζ	$T_1 = 1 / f_1$
Edifícios com estrutura aporticada de concreto, sem cortinas	1,2	0,020	$0,05h + 0,015h$ (h em metros)
Edifícios com estrutura de concreto, com cortinas para a absorção de forças horizontais	1,6	0,015	$0,05h + 0,012h$
Torres e chaminés de concreto, seção variável	2,7	0,015	$0,02h$
Torres, mastros e chaminés de concreto, seção uniforme	1,7	0,010	$0,015h$
Edifícios com estrutura de aço soldada	1,2	0,010	$0,29 \sqrt{h} - 0,4$
Torres e chaminés de aço, seção uniforme	1,7	0,008	
Estruturas de madeira	--	0,030	

ANEXO I - Determinação da resposta dinâmica devida à turbulência atmosférica

I.1 Método simplificado

Será determinada a ação do vento, na direção da velocidade média, em um edifício de seção quadrada de 120,00 m de altura e 24,00 m de lado, localizado em terreno de categoria IV, sendo a velocidade $V_0 = 45$ m/s e os parâmetros $S_1 = 1,0$ e $S_3 = 1,0$.

Serão analisadas as seguintes alternativas:

- caso a: edifício com estrutura de concreto, na qual as forças horizontais são resistidas exclusivamente por pórticos.
- caso b: idem, com estrutura resistente de aço (uniões soldadas).

I.1.1 Calcula-se, primeiramente (ver 9.2.1):

$$\bar{V}_p = 0,69 \times 45 \times 1 \times 1 = 31,05 \text{ m/s}$$

ANEXO I - Determinação da resposta dinâmica devida à turbulência atmosférica

I.1.2 Os períodos fundamentais, para ambos os casos, foram baseados em medições feitas em edifícios similares. A forma modal (parâmetro γ) e a razão de amortecimento crítico foram obtidas da Tabela 19:

- caso a: $T_1 = 1,85$ s, $\gamma = 1$, $\zeta = 0,02$;

- caso b: $T_1 = 2,8$ s, $\gamma = 1$, $\zeta = 0,01$.

I.1.3 Determinação do coeficiente de amplificação dinâmica ξ :

- caso a: $\bar{V}_p / f_1 L = 31,05 \times 1,85 \times 1800 = 0,032$

Do gráfico da Figura 17, obtém-se, para $I_1/h = 24/120 = 0,2$ e $\zeta = 0,02$:

h (m):	25	100	300
ξ	1,69	1,16	0,62

- caso b: $\bar{V}_p / f_1 L = 31,05 \times 2,8 / 1800 = 0,048$

ANEXO I - Determinação da resposta dinâmica devida à turbulência atmosférica

Os valores correspondentes a $h = 120$ m podem ser determinados por interpolação gráfica, como ilustrado na Figura 25, resultando:

- caso a: $\xi = 1,07$ (concreto);

- caso b: $\xi = 1,40$ (aço).

Calculam-se, a seguir (ver 9.3.1):

$$q_0 b^2 = 0,613 \times 31,05^2 \times 0,71^2 = 298 \text{ N/m}^2$$

$$\frac{1+2\gamma}{1+\gamma+p} = \frac{1+2}{1+1+0,23} = 1,345$$

ANEXO I - Determinação da resposta dinâmica devida à turbulência atmosférica

A variação da pressão dinâmica com a altura é dada pela expressão (q em N/m^2 , z em m):

- caso a: $q(z) = 298 [(z/10)^{0,46} + (120/10)^{0,23} (z/120)^1 \times 1,345 \times 1,07]$

$$q(z) = 298 [(z/10)^{0,46} + 0,212 (z/10)]$$

- caso b: $q(z) = 298 [(z/10)^{0,46} + (120/10)^{0,23} (z/120)^1 \times 1,345 \times 1,40]$

$$q(z) = 298 [(z/10)^{0,46} + 0,277 (z/10)]$$

ANEXO I - Determinação da resposta dinâmica devida à turbulência atmosférica

No topo do edifício ($z = 120$ m), a pressão dinâmica resulta igual a 1693 N/m^2 no caso de edifício com estrutura de concreto armado e a 1925 N/m^2 no caso de edifício com estrutura de aço. O método estático conduz a um único valor, de 1557 N/m^2 (categoria IV, classe C, vento de baixa turbulência):

$$V_k = V_0 S_1 S_2 S_3 = 45 \times 1 \times 1,12 \times 1 = 50,4 \text{ m/s}$$

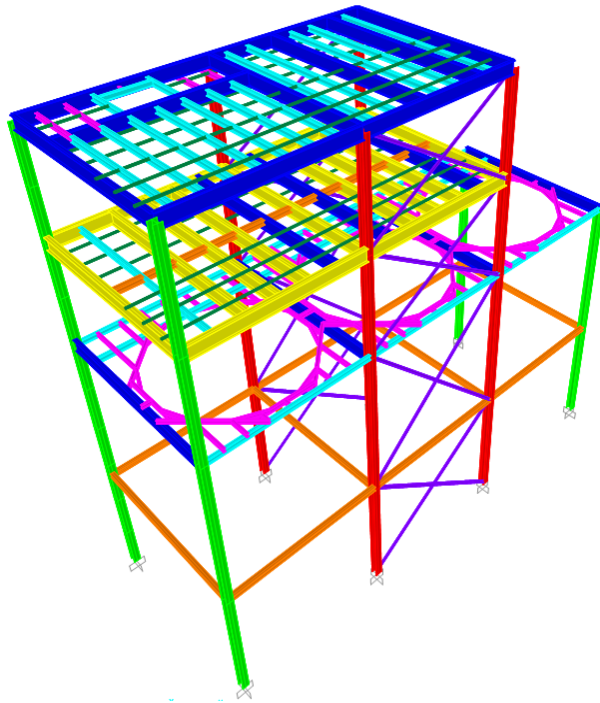
$$q = 0,613 V_k^2 = 1557 \text{ N/m}^2$$

I.1.4 A força estática equivalente, por unidade de altura, é obtida pela expressão (ver 9.3.1):

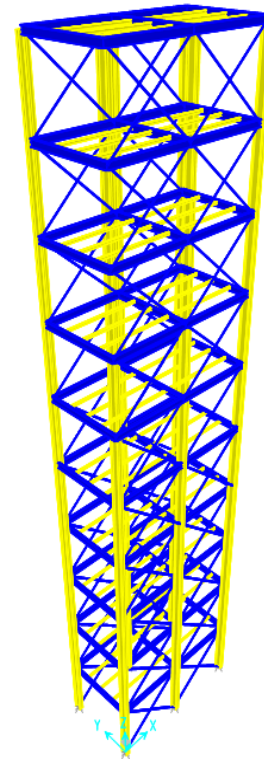
$$q(z) I_1 C_a$$

sendo I_1 a largura do edifício, igual a 24,00 m. O coeficiente de arrasto, C_a , é obtido do gráfico da Figura 4, ou, para os raros casos de vento de alta turbulência, do gráfico da Figura 5, sendo seu valor considerado invariável com Z .

Serão analisadas as duas estruturas descritas a seguir, pelos métodos estáticos e dinâmicos da NBR 6123/1988 e ASCE 7-10

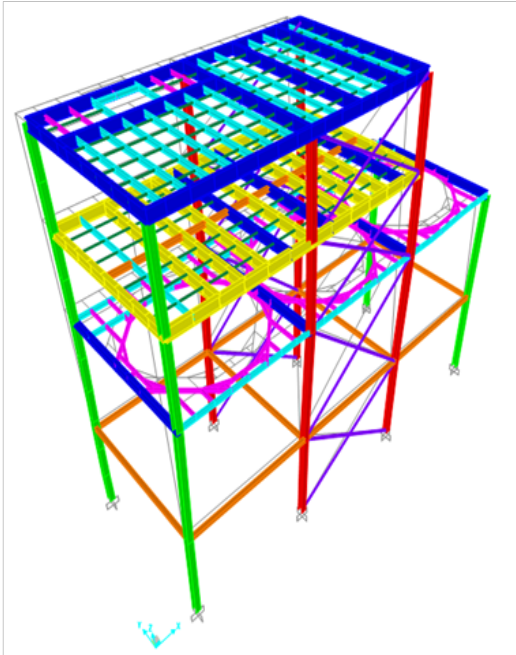


Edifício de processos: adaptação de uma usina de beneficiamento de cana de açúcar

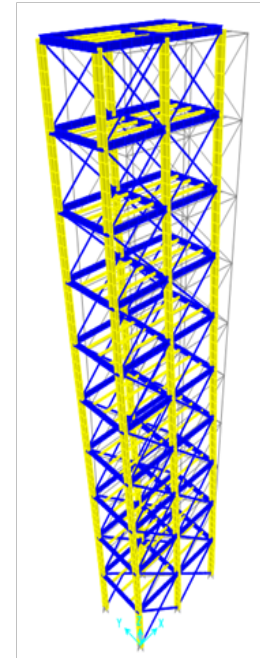


Torre reprodução de estrutura para suporte de equipamentos leves

Com auxílio do programa SAP 2000, realiza-se a análise estrutural e o dimensionamento, para posterior determinação automática da frequência natural fundamental de cada uma das estruturas.



Edifício de processos: Modo de vibração 01:
Período fundamental superior a um segundo.
 $f = 0,98797$



Torre metálica: Modo de vibração 01: Período
fundamental superior a um segundo.
 $f = 0,80614$

MÉTODO DAS FORÇAS ESTÁTICAS

NBR 6123:1988	ASCE 7-10
Velocidade Básica do vento, V_o (Isopletras)	Velocidade básica do vento, V (Isopletras)
Fator topográfico, S_1	Fator de direcionalidade do vento, K_d
Fator combinado S_2	Rugosidade superficial
Fator estatístico S_3	Categoria de exposição
Velocidade característica	Fator topográfico, K_{zt}
Pressão dinâmica	Coeficiente de pressão e exposição de velocidade
	Pressão de velocidade

NBR 6123:1988	ASCE 7-10
$V_k = V_o * S_1 * S_2 * S_3$ $q = 0,613 * V_k^2$	$q_z = 0,613 * K_z * K_{zt} * K_d * V^2$

EDIFÍCIO DE PROCESSOS

NBR 6123:1988		ASCE 7-10	
Velocidade Básica do Vento	45m/s	Risk Category	II
Rugosidade do Terreno	Cat. II	Basic Wind Speed V	45m/s
Classe da edificação	B	Exposure Category	C
Fator Topográfico S1	1,0	Surface Roughness	B
Fator Combinado S2	1,05	Topographic Factor Kzt	1,0
Fator Estatístico S3	1,0	Directionality Factor Kd	0,85
Velocidade Característica V _k	47,25m/s	Vel. Exposure Coefficient Kz	1,17
Pressão Estática q (N/m ²)	1368	Velocity Pressure q _z (N/m ²)	1235

TORRE METÁLICA

NBR 6123:1988		ASCE 7-10	
Velocidade Básica do Vento	45m/s	Risk Category	II
Rugosidade do Terreno	Cat. II	Basic Wind Speed V	45m/s
Classe da edificação	B	Exposure Category	C
Fator Topográfico S1	1,0	Surface Roughness	B
Fator Combinado S2	1,13	Topographic Factor Kzt	1,0
Fator Estatístico S3	1,0	Directionality Factor Kd	0,85
Velocidade Característica V _k	50,85m/s	Vel. Exposure Coefficient Kz	1,398
Pressão Dinâmica q (N/m ²)	1585	Velocity Pressure q _z (N/m ²)	1475

MÉTODOS DINÂMICOS

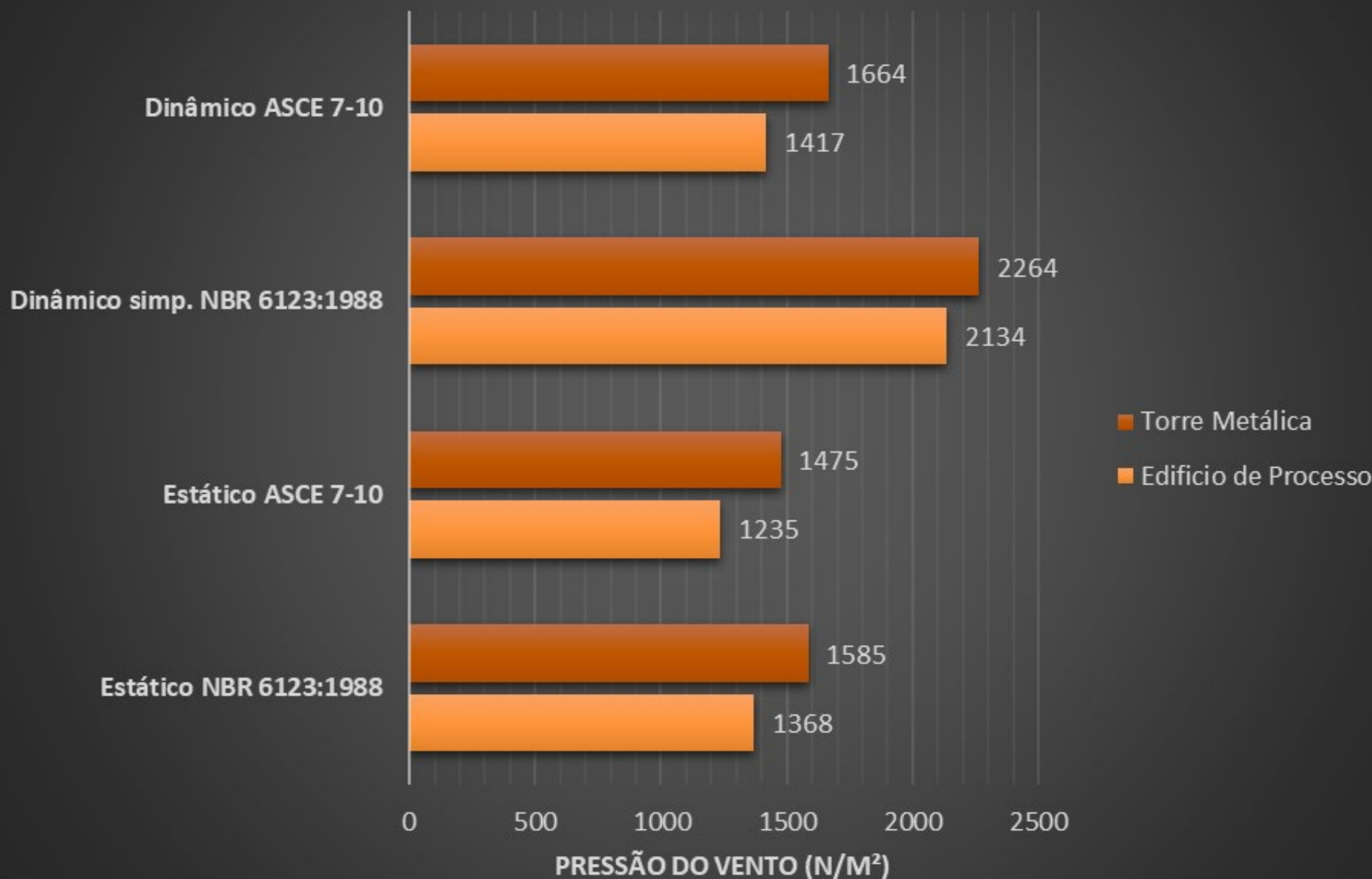
Segundo o item 9.3.1 da NBR 6123 a equação definida para o cálculo de nova pressão de vento pelo método dinâmico simplificado é definida por:

$$q(z) = q_0 \times b^2 [(z/z_r)^{2p} + (h/z_r)^p \times (z/h)^\gamma \times \frac{1 + 2\gamma}{1 + \gamma + p} \times t]$$

A ASCE 7:10 define pela equação a seguir, o fator de efeito rajada para edifícios flexíveis ou dinamicamente sensíveis, na equação 26.9-10:

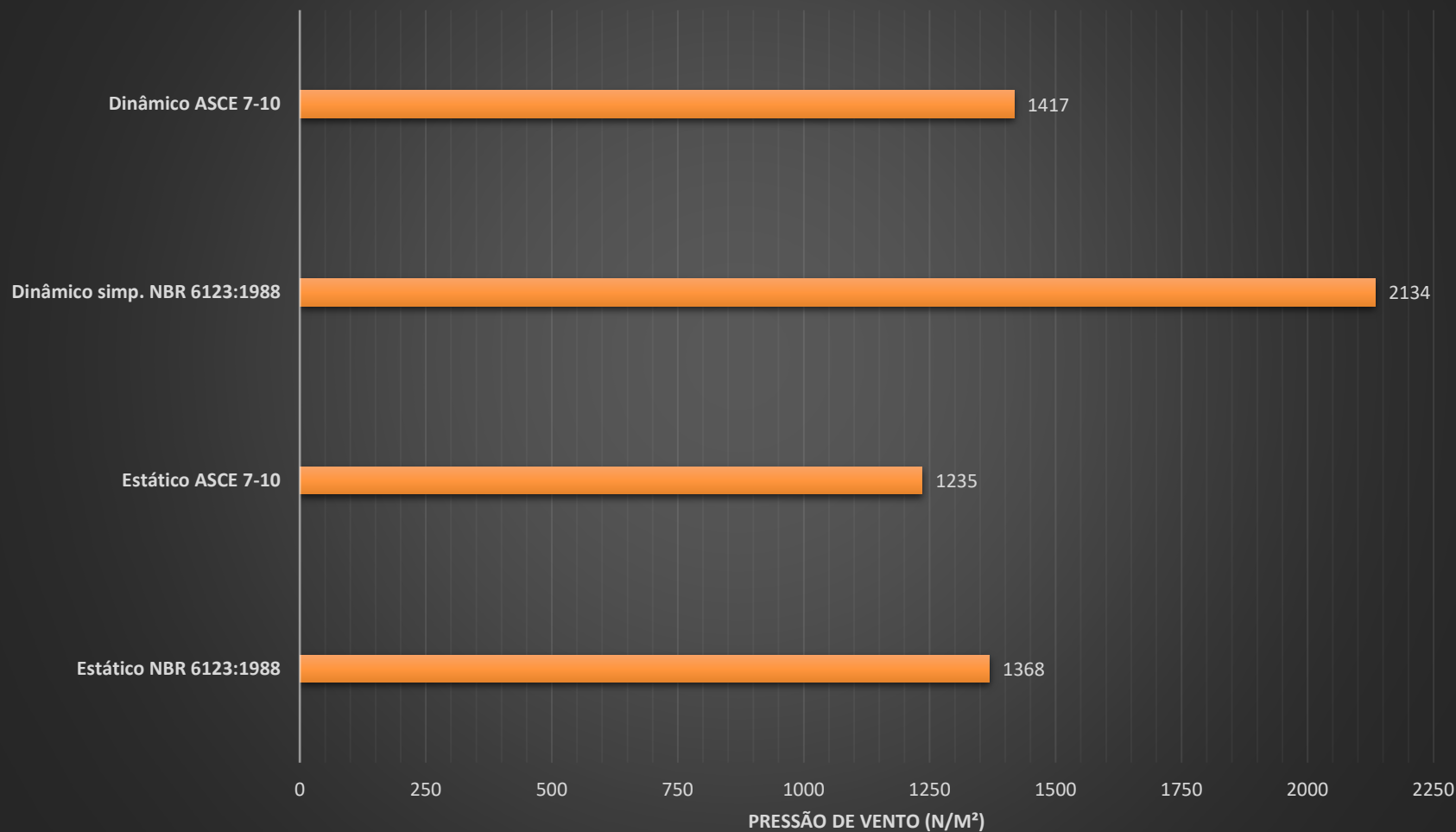
$$G_f = 0.925 \left(\frac{1 + 1.7 I_{\bar{z}} \sqrt{g_Q^2 Q^2 + g_R^2 R^2}}{1 + 1.7 g_v I_{\bar{z}}} \right)$$

Comparativo Geral



Edifício de Processos

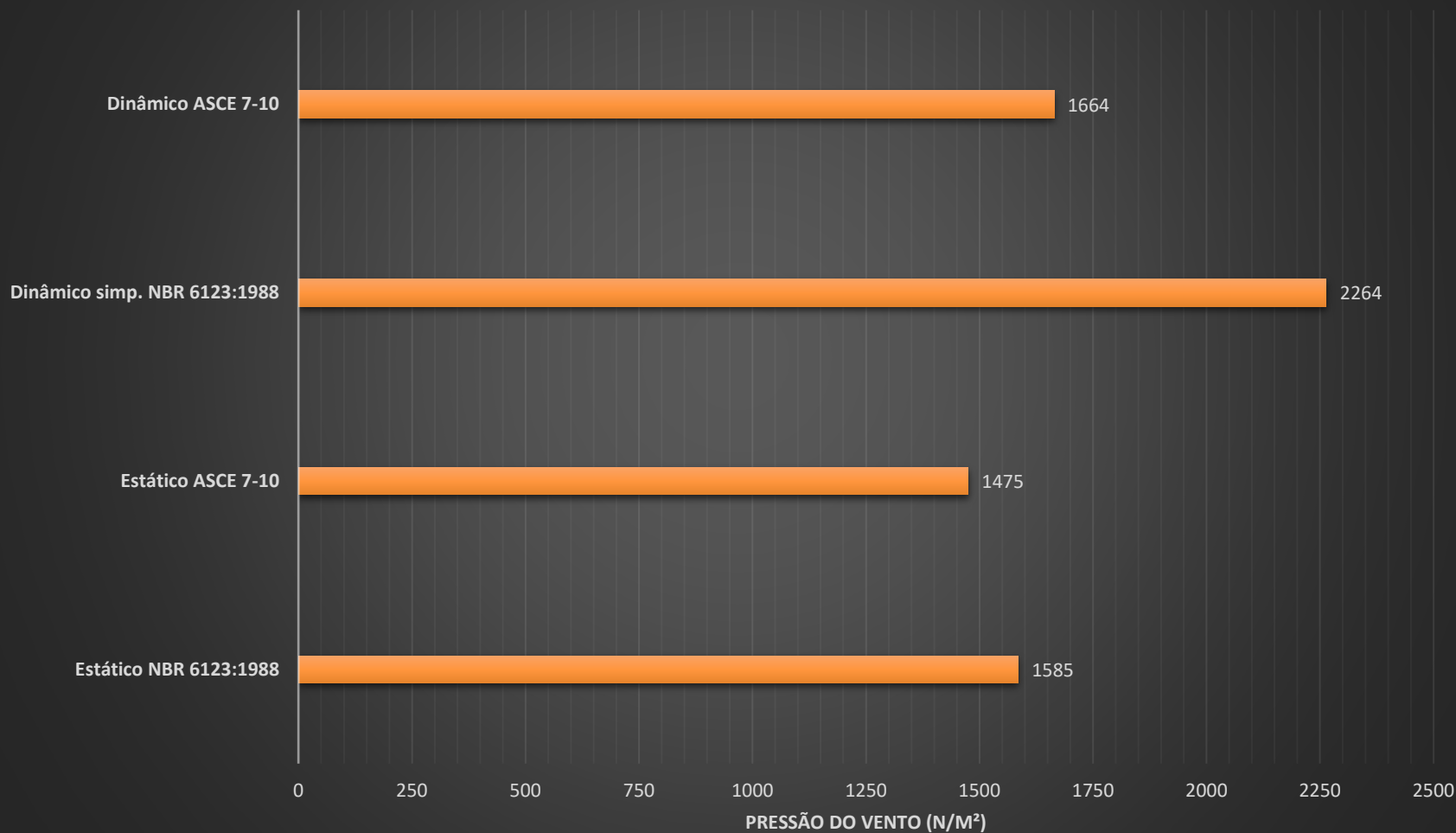
Altura = 21,5m
Frequencia Natural = 0,98797



Torre Metálica

Altura = 50m

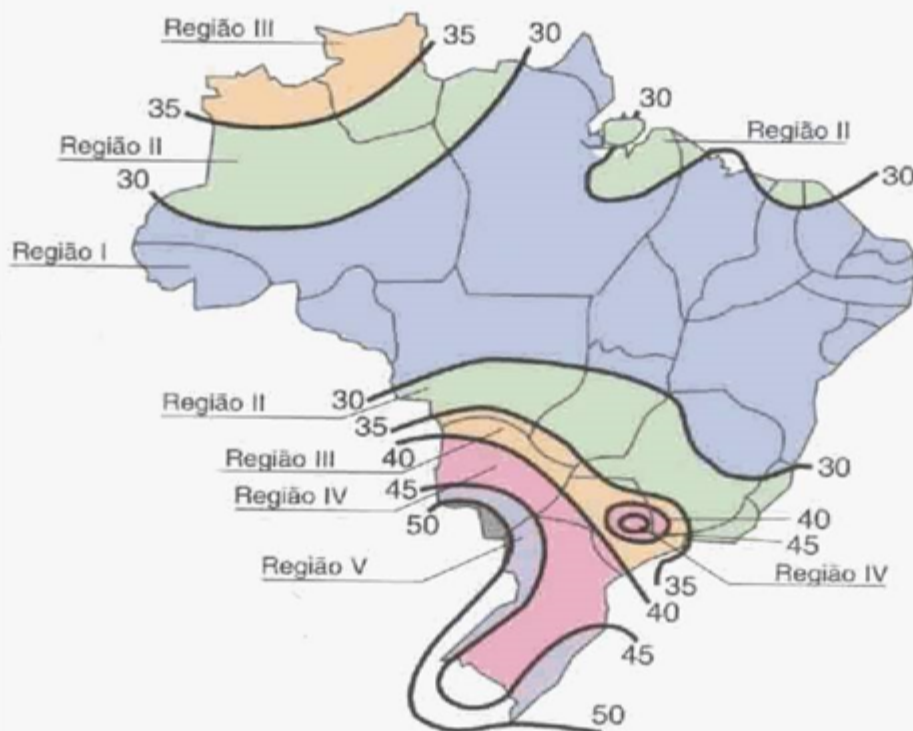
Frequencia Natural = 0,80614



CÁLCULO DA PRESSÃO DE VENTO SEGUNDO MÉTODO DINAMICO SIMPLIFICADO DA NBR 6123/1988

1.0 DEFINIÇÃO DA VELOCIDADE BÁSICA DE PROJETO

Obra	Edifício de Processos
Local da Obra	Passo Fundo RS



Vo (m/s)	45
----------	----

2.0 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS S1 e S3

Fator Topografico S1	1
Fator Estatístico S3	1

Fator estatístico S3

1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartais de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação e etc...)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais e etc...)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação e etc...)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos Grupos 1 a 3 durante a construção	0,83

Velocidade de Projeto V_p (m/s)

31,05

q_0 (N/m²)

591

3.0 DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS E EXPOENTES

Expoente b e parâmetro p					
Categoria de Rugosidade	I	II	III	IV	V
p	0,095	0,15	0,185	0,23	0,31
b	1,23	1	0,86	0,71	0,5

Categoria de Rugosidade	II
Parâmetro p	0,15
Expoente b	1
Altura livre do edifício (m)	21,5
Altura da ação do vento sobre a edificação (m)	10
Altura do edifício (m)	21,5

y segundo tabela 19 da NBR 6123

Tabela 19 - Parâmetros para a determinação de efeitos dinâmicos

Tipo de edificação	γ	ζ	$T_1 = 1 / f_1$
Edifícios com estrutura aporticada de concreto, sem cortinas	1,2	0,020	$0,05h + 0,015h$ (h em metros)
Edifícios com estrutura de concreto, com cortinas para a absorção de forças horizontais	1,6	0,015	$0,05h + 0,012h$
Torres e chaminés de concreto, seção variável	2,7	0,015	0,02h
Torres, mastros e chaminés de concreto, seção uniforme	1,7	0,010	0,015h
Edifícios com estrutura de aço soldada	1,2	0,010	$0,29 \sqrt{h} - 0,4$
Torres e chaminés de aço, seção uniforme	1,7	0,008	
Estruturas de madeira	--	0,030	

γ	1,2
t	0,01
f_j = Frequência fundamental (Hz)	0,98797
L = Dimensão característica do terreno (m)	1800
$V_p/(f_j * L)$	0,017460044
4.0 COEFICIENTE DE AMPLIFICAÇÃO DINÂMICA	
l_1 = Menor dimensão horizontal da edificação (m)	8,5
l_1/h	0,40

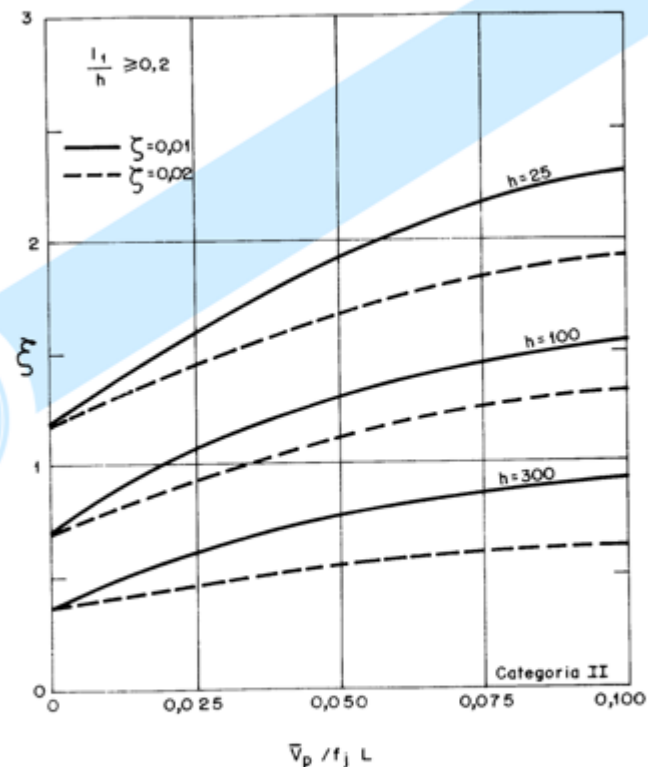
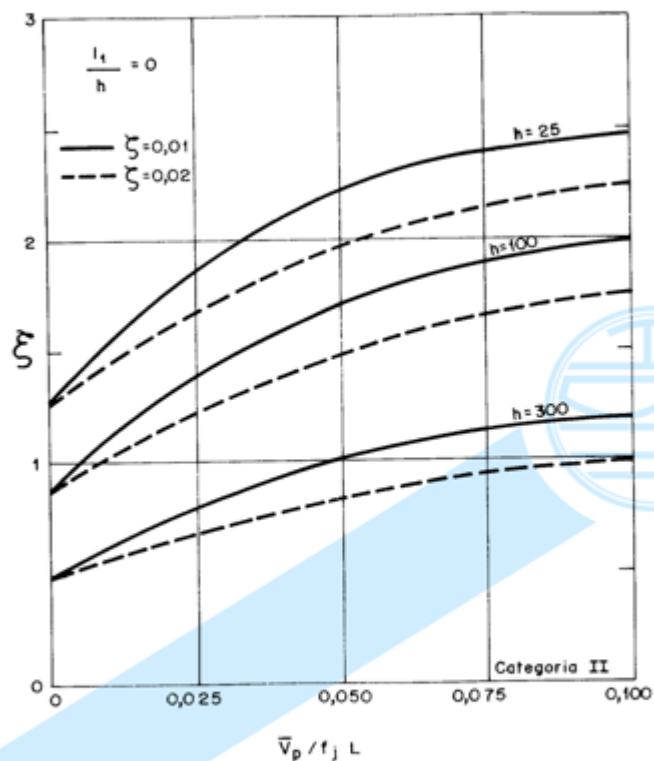
4.0 COEFICIENTE DE AMPLIFICAÇÃO DINÂMICA

l_1 = Menor dimensão horizontal da edificação (m)

8,5

l_1/h

0,40



Coeficiente de amplificação dinâmica (figura acima)

1,45

Resposta média

1,258

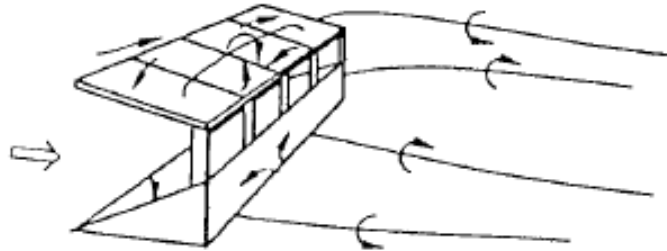
Amplitude máxima

2,353

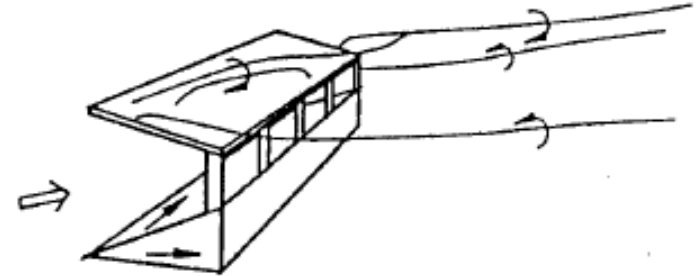
$q(z)$ - Pressão. Método dinâmico simplificado (N/m^2)

2134

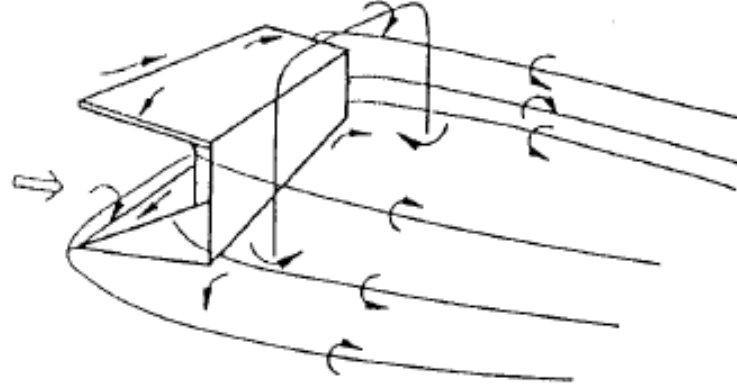
a) $B = 50\%$ $\beta = 0^\circ$



b) $B = 50\%$ $\beta = 45^\circ$



c) $B = 100\%$ $\beta = 0^\circ$



d) $B = 50\%$ $\beta = 180^\circ$

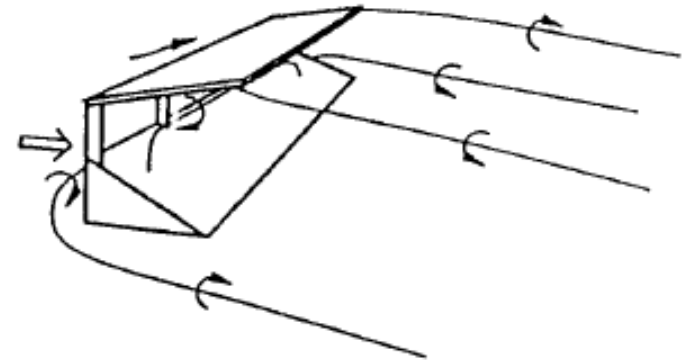
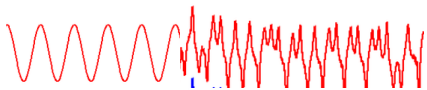
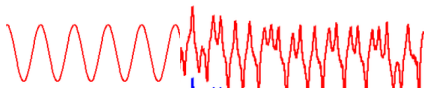
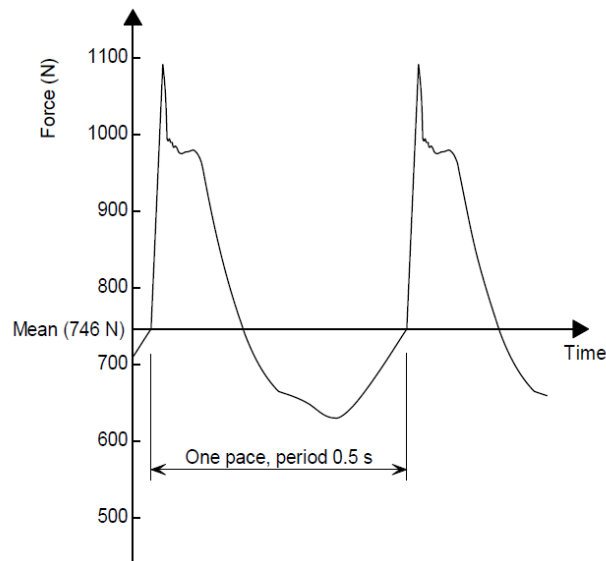


Figure 3.27: Cantilevered roof for various incident air flows and vortices



Vibrações induzidas Pelo movimento humano



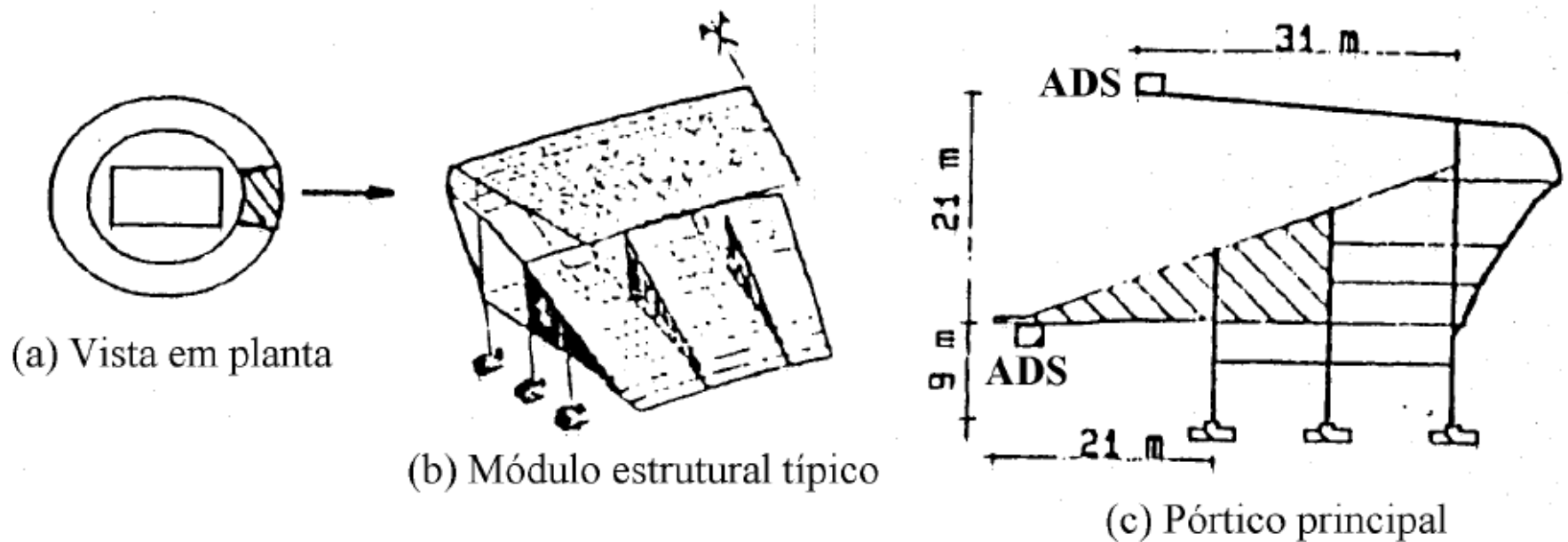
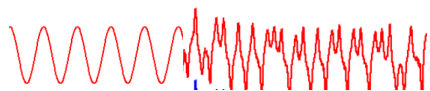


Figura III.5 (a-c) – Solução apresentada com o emprego de atenuadores dinâmicos (ADS) para reduzir as vibrações causadas pelo movimento ritmado do público no balanço das arquibancadas do estádio do Maracanã [75].



Utilização, localidade	Ano [Ref.]	Tipo de laje	Ação humana	Pessoas reclamantes	Freq. da laje (Hz)	Solução adotada
Academias de ginástica:						
Suíça	1977 [79]	Grelha (C.A.)	Aeróbica, correr	Ocupantes de outros andares	4,9	Enrijecimento
Alemanha	1987 [24]	Nervuradas (C.A.)	Aeróbica, pulos	Ocupantes	5,2	Montantes de amortecimento
EUA	1988 [72]	C.A.	Aeróbica	Idem	5,0	Relocação
EUA	1988 [72]	Concreto pré-moldado	Aeróbica	Funcionários dos escritórios	4,5	Atenuadores dinâmicos
Escritórios:						
Canadá	1985 [72]	C.A.	Aeróbica em outro andar	Funcionários dos escritórios	4,4	Desconhecida
Canadá	1986 [72]	C.A.	Aeróbica	Idem	4,2	Fim da atividade ADS múltiplos (novidade tecnológica)
Brasil	2000 [80]	Mista Aço + lajes C.A.	Caminhar de pessoas	Idem	6,5 a 8,5	
Casas de shows:						
Suíça	1987 [24]	Celular (C.A.)	Show	Pessoas na platéia	4,3	Relocação
Alemanha	1990 [81]	C.A.	Pop Rock Shows de música	Idem	3,0	Atenuadores dinâmicos
Alemanha	1992 [82]	Mista: aço-concreto	Idem (palmas ritmadas)	Idem	2,4	Proibição de shows de rock pesado
EUA	1992 [83]	C.A.	Idem	Idem	3,2	Atenuadores dinâmicos
Brasil	1997 [84]	Mista Aço + lajes C.A.	Idem	Idem	5,5	Placa sanduíche com material visco-elástico
Salões de baile:						
Inglaterra	1974 [72]	C.A.	Danças (Rock)	Ocupantes	2,9	Controle da música
EUA	1983 [72]	C.A.	Aeróbica e danças	Participantes	---	Enrijecimento

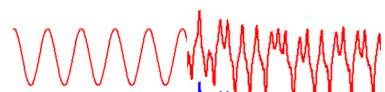




Figura III.6 - Aplicação de material visco-elástico entre a laje e a sobrelaje da estrutura de piso de um teatro [84].

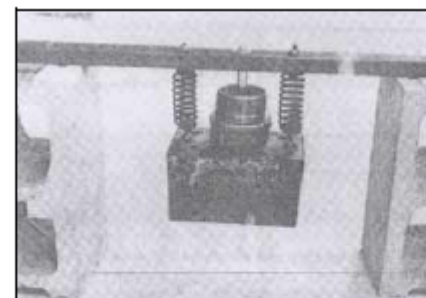
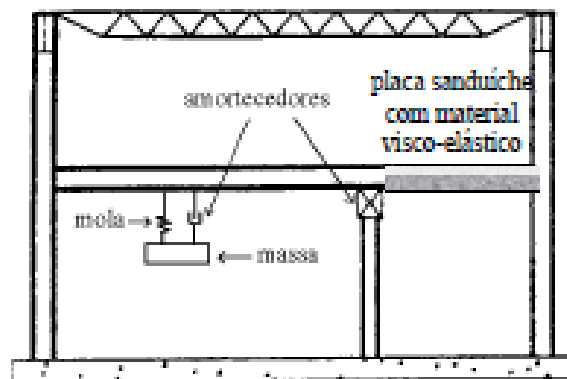


Figura III.8 – Unidade de amortecimento para lajes relatada por LENZEN [59].

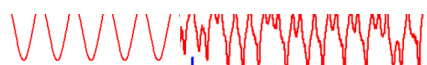


(a) Colunas adicionais ou montantes de divisórias com amortecedores, ADS, e placa sanduíche com material visco-elástico.

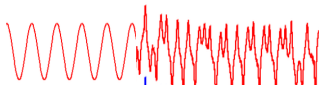
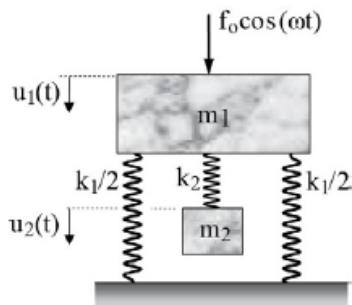
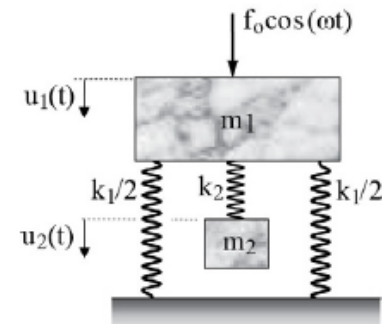


(b) Enrijecimento e amortecimento por adição de montantes amortecedores.

Figura III.7 (a,b) – Soluções para redução de vibrações de estruturas de piso.

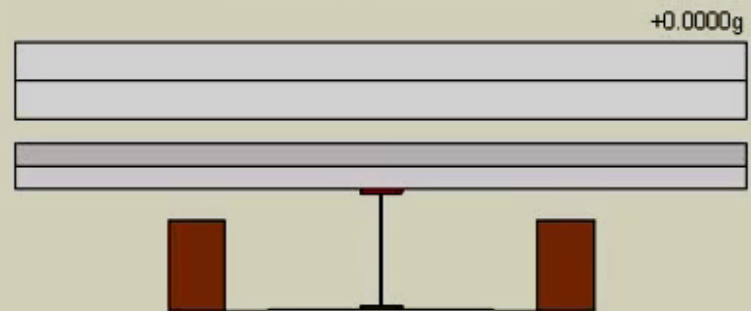
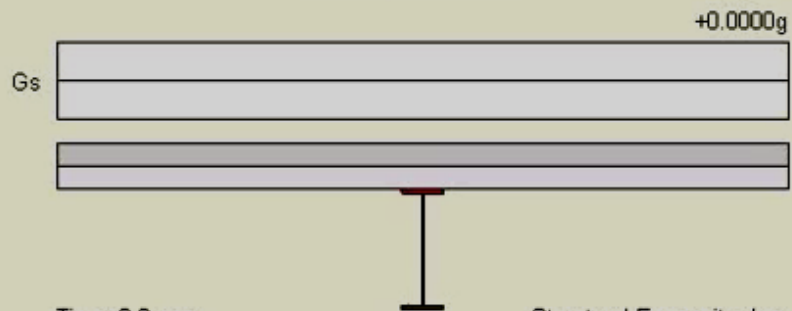


AMORTECEDOR NÃO AMORTECIDO DE MASSA SINTONIZADA



Existing Structure

With Tuned-Mass Damper



Time: 0.0 sec
Displacements 350 times actual

Structural Engenuity, Inc.
www.structuralengenuity.com

O sistema composto tem as equações de movimento:

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \ddot{u}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_o \\ 0 \end{Bmatrix} \cos(\omega t)$$

de solução particular expressa na Equação 4-4.2, que se repete por conveniência:

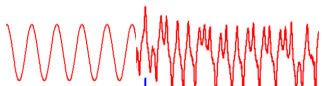
$$\begin{Bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{Bmatrix} \cos(\omega t)$$

Essa solução tem amplitudes que se escrevem com base na Equação 4-4.4:

$$\begin{cases} a_1 = \frac{(k_2 - m_2 \omega^2) f_o}{(k_1 + k_2 - m_1 \omega^2)(k_2 - m_2 \omega^2) - k_2^2} \\ a_2 = \frac{k_2 f_o}{(k_1 + k_2 - m_1 \omega^2)(k_2 - m_2 \omega^2) - k_2^2} \end{cases}$$

Além disso, com as notações:

$$\begin{cases} \omega_1^* = \sqrt{k_1 / m_1} \\ \omega_2^* = \sqrt{k_2 / m_2} \\ \mu = m_2 / m_1 \end{cases}$$

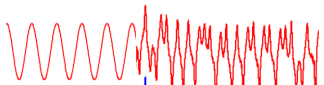


as referidas amplitudes tomam as novas formas:

$$\begin{cases} a_1 = \frac{f_o}{k_1} \frac{1 - (\omega / \omega_2^*)^2}{\left(1 + m(\omega_2^* / \omega_1^*)^2 - (\omega / \omega_1^*)^2\right) \left(1 - (\omega / \omega_2^*)^2\right) - m(\omega_2^* / \omega_1^*)^2} \\ a_2 = \frac{f_o}{k_1} \frac{1}{\left(1 + m(\omega_2^* / \omega_1^*)^2 - (\omega / \omega_1^*)^2\right) \left(1 - (\omega / \omega_2^*)^2\right) - m(\omega_2^* / \omega_1^*)^2} \end{cases}$$

A primeira expressão do par anterior mostra que, com $(\omega_2^* = \omega)$, a amplitude do sistema principal se anula. Isto é, esse sistema fica imóvel, o que ocorre na condição de:

$$m_2 = \frac{k_2}{\omega^2}$$



$$(E) \quad \begin{cases} a_1 = \frac{f_0}{k_1} \frac{1 - (\omega / \omega_2^*)^2}{\left(1 + m(\omega_2^* / \omega_1^*)^2 - (\omega / \omega_1^*)^2\right) \left(1 - (\omega / \omega_2^*)^2\right) - m(\omega_2^* / \omega_1^*)^2} \\ a_2 = \frac{f_0}{k_1} \frac{1}{\left(1 + m(\omega_2^* / \omega_1^*)^2 - (\omega / \omega_1^*)^2\right) \left(1 - (\omega / \omega_2^*)^2\right) - m(\omega_2^* / \omega_1^*)^2} \end{cases}$$

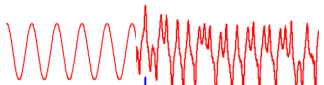
Diz-se, então, que o sistema secundário está em *sintonia* com o principal, condição em que a segunda das expressões da Equação (E) fornece:

$$a_2 = \frac{f_0}{k_1 - m(\omega_2^* / \omega_1^*)^2} \rightarrow a_2 = -\frac{f_0}{k_2}$$

Logo, obtém-se a força atuante na massa do sistema secundário:

$$f_2(t) = k_2 u_2(t) = k_2 a_2 \cos(\omega t) \rightarrow \boxed{f_2(t) = -f_0 \cos(\omega t)}$$

Assim, na referida condição, o sistema secundário exerce sobre o principal uma força igual e contrária à força externa aplicada à massa m_1 , o que explica o fato de essa ficar imóvel.



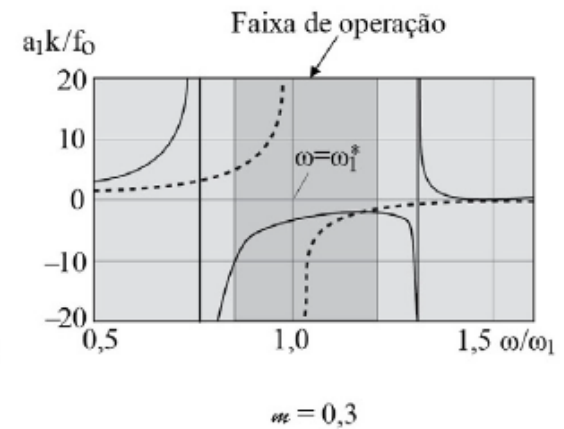
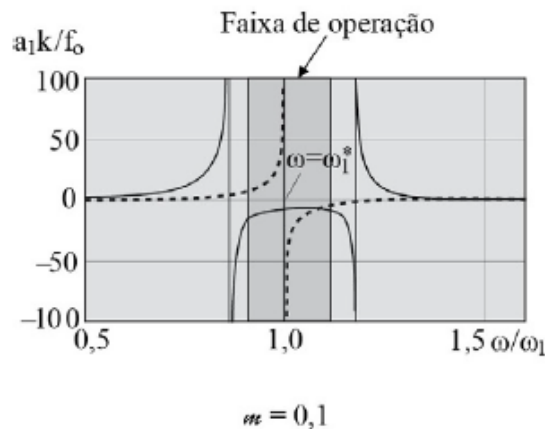
Como ilustração, com ($\omega_1^* = \omega_2^*$), a primeira das expressões da Equação 2-3.4 fornece a função de resposta em frequência:

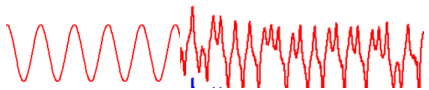
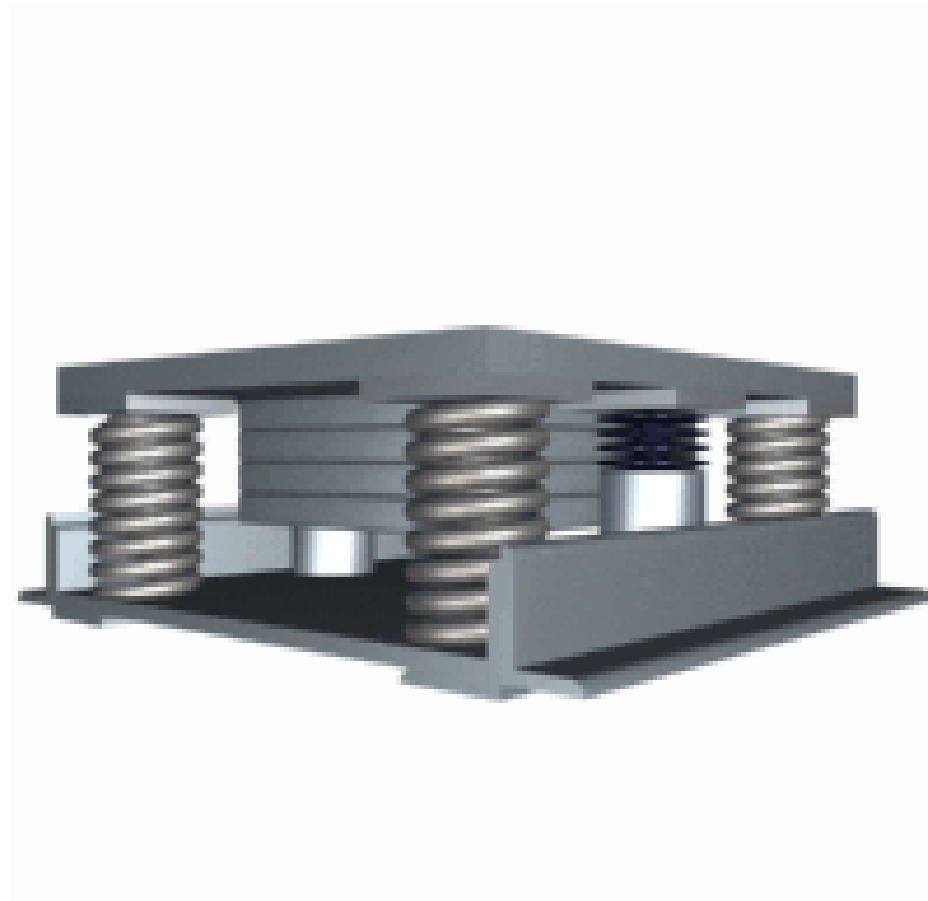
$$\left(\begin{array}{l} a_1 = \frac{f_o}{k_1} \frac{1 - (\omega / \omega_2^*)^2}{(1 + m(\omega_2^* / \omega_1^*)^2 - (\omega / \omega_1^*)^2)(1 - (\omega / \omega_2^*)^2) - m(\omega_2^* / \omega_1^*)^2} \\ a_2 = \frac{f_o}{k_1} \frac{1}{(1 + m(\omega_2^* / \omega_1^*)^2 - (\omega / \omega_1^*)^2)(1 - (\omega / \omega_2^*)^2) - m(\omega_2^* / \omega_1^*)^2} \end{array} \right)$$

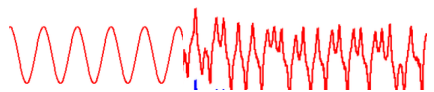
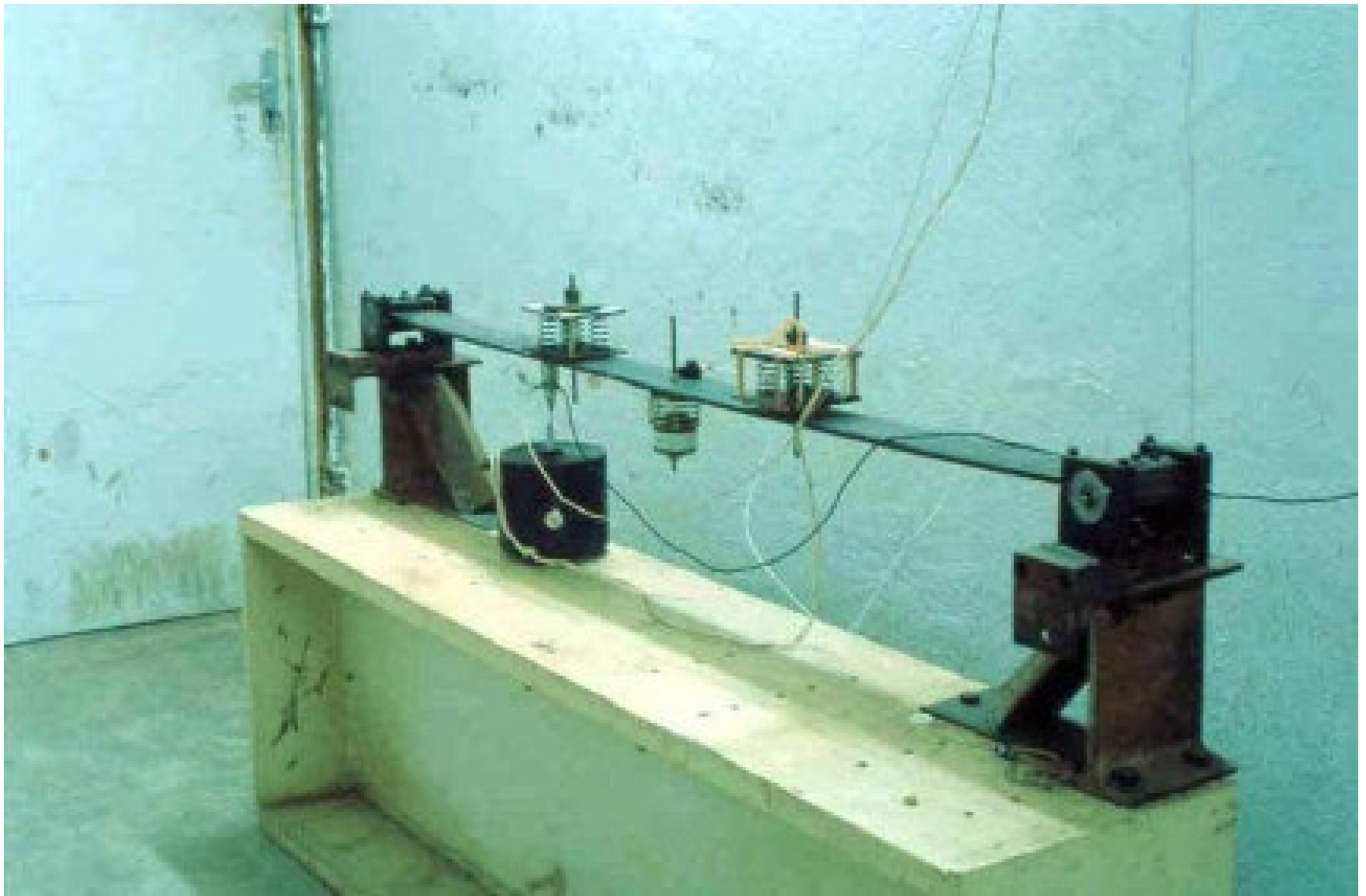
$$\frac{a_1 k_1}{f_o} = \frac{1 - (\omega / \omega_1^*)^2}{1 - (2 + m)(\omega / \omega_1^*)^2 + (\omega / \omega_1^*)^4}$$

A Figura 2-3.5 mostra, em linha contínua, as representações dessa função nos casos de ($m = 0,1$) e ($m = 0,3$). Também mostra, em pontilhado, as representações da amplitude normalizada do sistema principal na ausência do secundário, o que é obtido com base na Equação 2-3.4 e que, com as notações atuais, se escreve:

$$\frac{a_1 k_1}{f_o} = \frac{1}{1 - (\omega / \omega_1^*)^2}$$



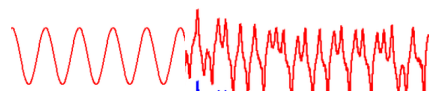


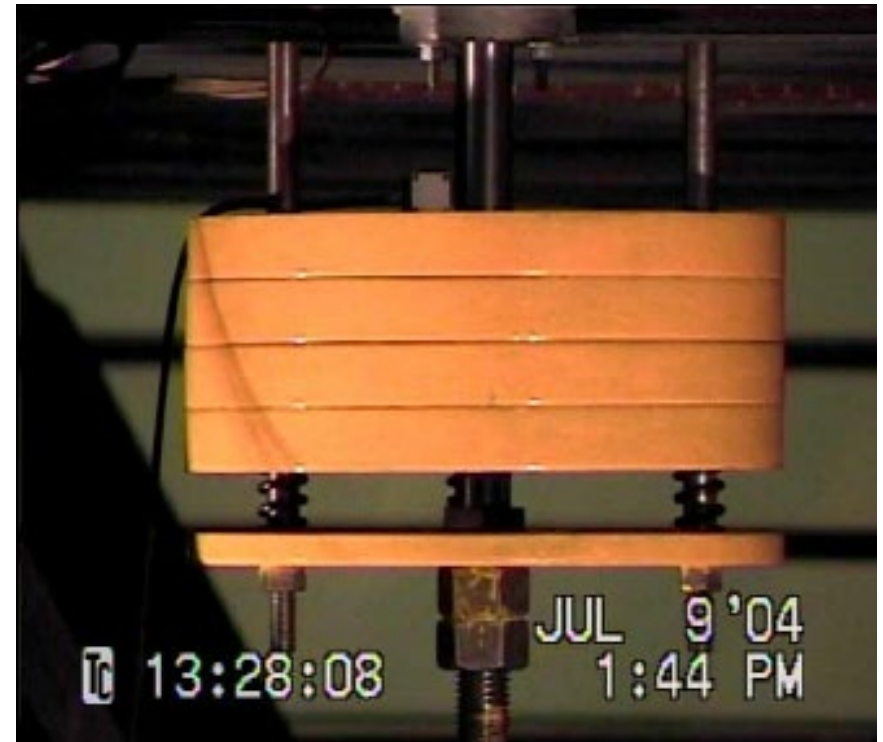


Zacarias Chamberlain 2023



Figura III.11 - Conjunto de ADS projetados por BATTISTA [80,100] e instalados na estrutura.





Controle de Vibrações através de massas sintonizadas (Tuned Mass Damper)

Vibrações de grande amplitude aparecem em um sistema quando sujeito a uma excitação harmônica com frequência Ω próxima da frequência natural do sistema. A amplitude de resposta pode ser reduzida mudando-se a massa e/ou a rigidez para tentar evitar a ressonância. Esse procedimento é, em geral, ineficiente e dispendioso. Alternativamente, um grau de liberdade adicional pode ser adicionado, de forma a que as duas frequências resultantes afastem-se da frequência da excitação.

Um absorvedor de vibrações (*tuned mass damper*, TMD, em inglês) é um sistema massa-mola, convenientemente sintonizado, acoplado ao corpo vibrante de forma a minimizar suas oscilações. Considere-se o sistema da Figura 4.4. A massa principal m_1 está sobre uma fundação com rigidez k_1 e é excitada por uma carga harmônica de frequência próxima à ressonância. Um absorvedor m_2 é conectado por meio de um elemento elástico de rigidez k_2 .

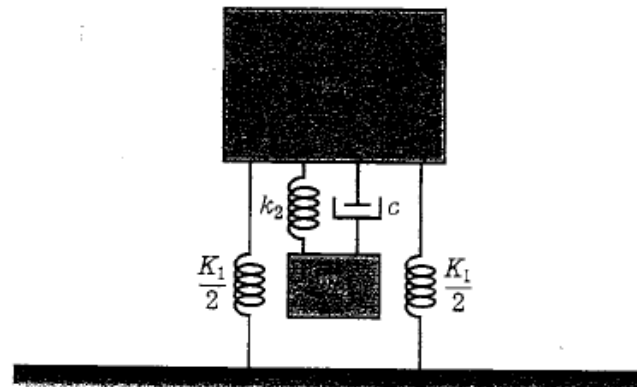
Controle de Vibrações através de massas sintonizadas (Tuned Mass Damper)

As frequências iniciais dos dois sistemas isolados são:

$$\omega_{10} = \sqrt{\frac{k_1}{m_1}} \quad \text{e} \quad \omega_{20} = \sqrt{\frac{k_2}{m_2}}.$$

A equação do movimento dos dois vibradores acoplados, negligenciado o amortecimento, é

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \ddot{u}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} p_0 \\ 0 \end{Bmatrix} \sin \Omega t.$$



Controle de Vibrações através de massas sintonizadas (Tuned Mass Damper)

A solução é também harmônica e em fase, na forma

$$\begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{Bmatrix} \text{sen } \Omega t,$$

onde U_1 e U_2 são as amplitudes dos movimentos harmônicos das duas massas. Essa solução, substituída na equação do movimento, cancelada a função seno (não nula, no geral), leva a

$$\begin{bmatrix} -\Omega^2 m_1 + k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & -\Omega^2 m_2 + k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} p_0 \\ 0 \end{Bmatrix}.$$

Controle de Vibrações através de massas sintonizadas (Tuned Mass Damper)

A solução dessa equação algébrica para as amplitudes leva a uma relação entre elas dada por

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{-\Omega^2 m_2 + k_2}{k_2} = 1 - \beta_2^2,$$

onde

$$\beta_2 = \frac{\Omega}{\omega_{20}}.$$

Assim, quando se querem anular os deslocamentos em regime permanente da massa principal, deve-se colocar a frequência do absorvedor em ressonância com a excitação. Nessas condições, a amplitude de vibração da massa secundária é

$$U_2 = \frac{p_0}{k_2}.$$

Entretanto, quando projetando um absorvedor de vibrações como esse, é preciso ter em mente as indicações que se seguem.

Quando o absorvedor de vibrações é sintonizado com a frequência de excitação, uma das duas frequências resultantes é menor que esse valor e outra maior. Assim, passa-se pela mais baixa durante a aceleração ou desligamento da máquina, podendo-se chegar a grandes vibrações nos transientes.

Controle de Vibrações através de massas sintonizadas (Tuned Mass Damper)

Exemplo 4.4

Uma máquina de massa 150 kg com um desbalanceamento de 0,5 kgm foi montada no meio do vão de uma viga biapoiada de 2 m de comprimento L . A velocidade de operação é de 1.200 rpm. A viga é de aço ($E = 2,1 \times 10^{11}$ Pa) e seção com momento de inércia $I = 2,1 \times 10^{-6}$ m⁴. Projetar um absorvedor dinâmico de vibrações anexado ao meio do vão da viga de forma a cessar as vibrações da máquina e a que a amplitude do movimento em regime permanente do absorvedor seja menos que 2 cm. Quais as frequências naturais do sistema com o absorvedor montado? Desconsiderar a massa própria da viga e a presença de amortecimento.

Rigidez para movimentos verticais da seção central da viga:

$$k_1 = \frac{48EI}{L^3} = \frac{48(2,1 \times 10^{11} \text{ N/m}^2)(2,1 \times 10^{-6} \text{ m}^4)}{(2 \text{ m})^3} = 2,646 \times 10^6 \text{ N/m.}$$

Frequência inicial do sistema sem o absorvedor

$$\omega_{10} = \sqrt{\frac{k_1}{m_1}} = \sqrt{\frac{2,65 \times 10^6 \text{ N/m}}{150 \text{ kg}}} = 132,8157 \text{ rad/s} = 21,1383 \text{ Hz.}$$

A velocidade de operação é

$$\Omega = (1.200 \text{ rpm}) \left(2\pi \frac{\text{rad}}{\text{rev}} \right) \left(1 \frac{\text{min}}{60 \text{ s}} \right) = 125,6637 \text{ rad/s} = 20 \text{ Hz.}$$

Controle de Vibrações através de massas sintonizadas (Tuned Mass Damper)

Assim, vibrações de grande amplitude devem ser esperadas sem o absorvedor. Adota-se a frequência inicial do absorvedor desacoplado ao sistema coincidindo com a velocidade de operação

$$\omega_{20} = \sqrt{\frac{k_2}{m_2}} = 125,6 \text{ rad/s.}$$

Para limitar o deslocamento máximo da massa secundária a 2 cm, tem-se

$$k_2 = \frac{p_0}{U_{2\text{máx}}} = \frac{m e \Omega^2}{U_{2\text{máx}}} = \frac{(0,5 \text{ kgm})(125,6 \text{ rad/s})^2}{0,02 \text{ m}} = 3,94784 \times 10^5 \text{ N/m.}$$

A massa secundária necessária é

$$m_2 = \frac{k_2}{\omega_{20}^2} = 25 \text{ kg.}$$

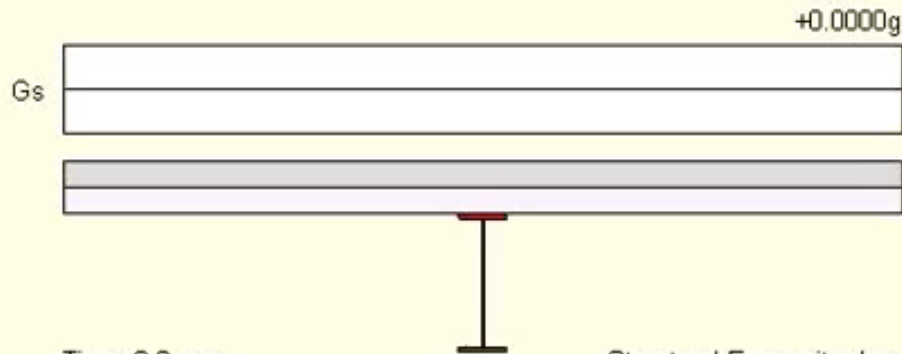
O cálculo das duas frequências do sistema acoplado resulta em

$$\omega_1 = 105,86 \text{ rad/s} = 16,8484 \text{ Hz} \quad \omega_2 = 157,66 \text{ rad/s} = 25,0923 \text{ Hz.}$$

Com se vê, a frequência de operação da máquina ficou entre esses dois valores. Se ela operar estritamente na frequência especificada, as vibrações do suporte da máquina seriam nulas, se o amortecimento for nulo. Caso contrário, a determinação de uma faixa de operação entre essas frequências dentro da qual essas vibrações são aceitáveis deveria ser feita. Uma sugestão seria algo como 10% acima da mais baixa e 10% abaixo da mais alta, isto é, aproximadamente $115 < \Omega < 140 \text{ rad/s}$.

Controle de Vibrações através de massas sintonizadas (Tuned Mass Damper)

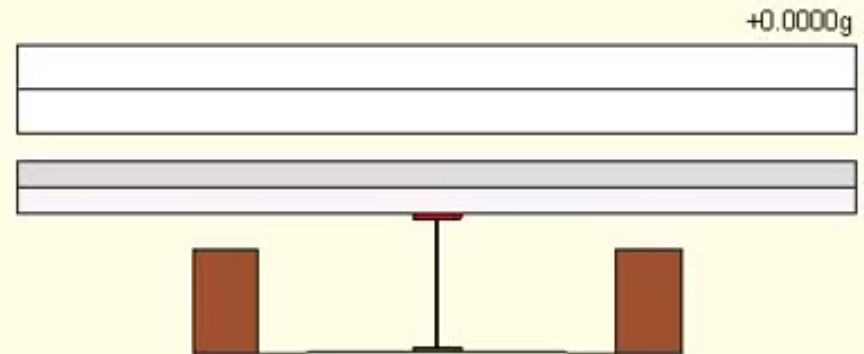
Existing Structure



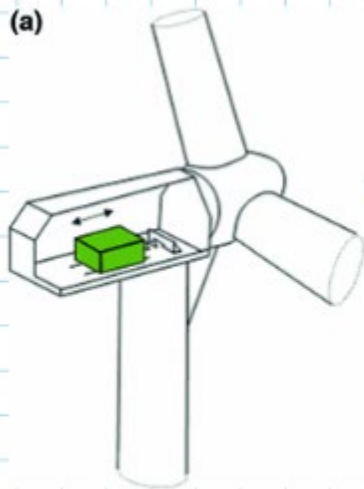
Time: 0.0 sec
Displacements 350 times actual

Structural Engenuity, Inc.
www.structuralengenuity.com

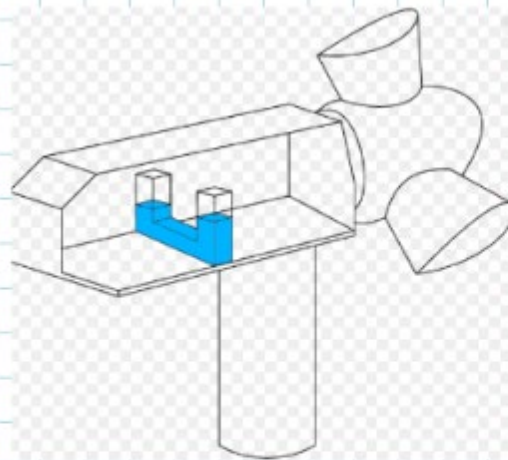
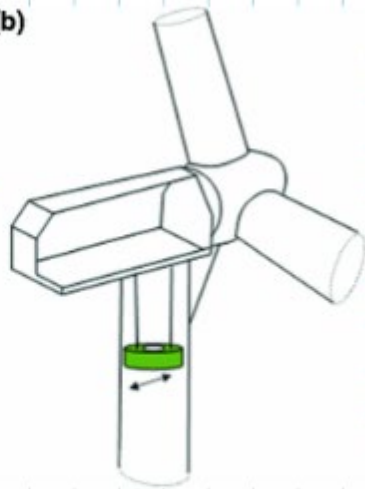
With Tuned-Mass Damper



(a)

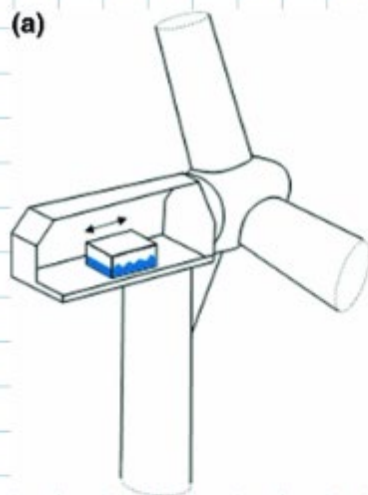


(b)

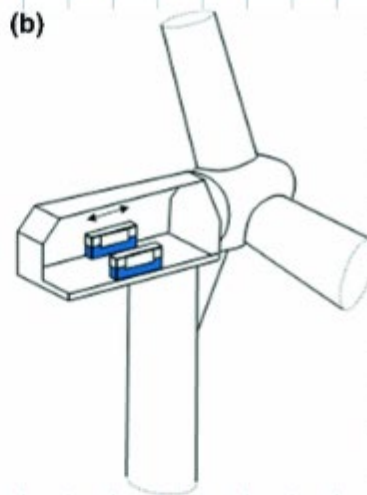


Wind turbine

(a)

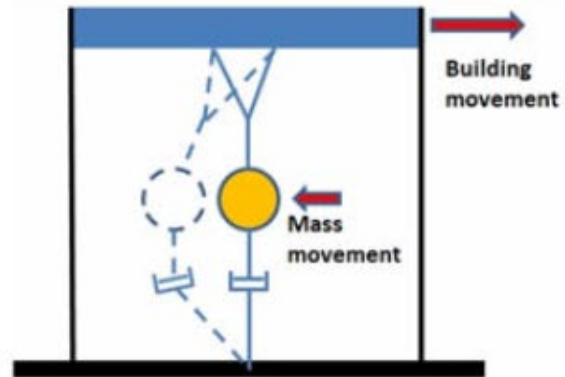


(b)



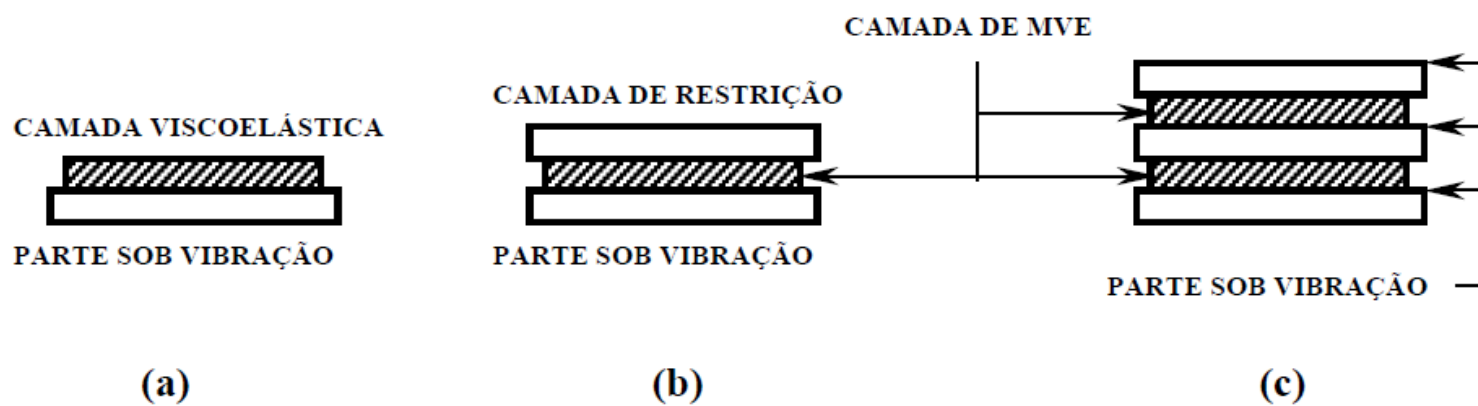
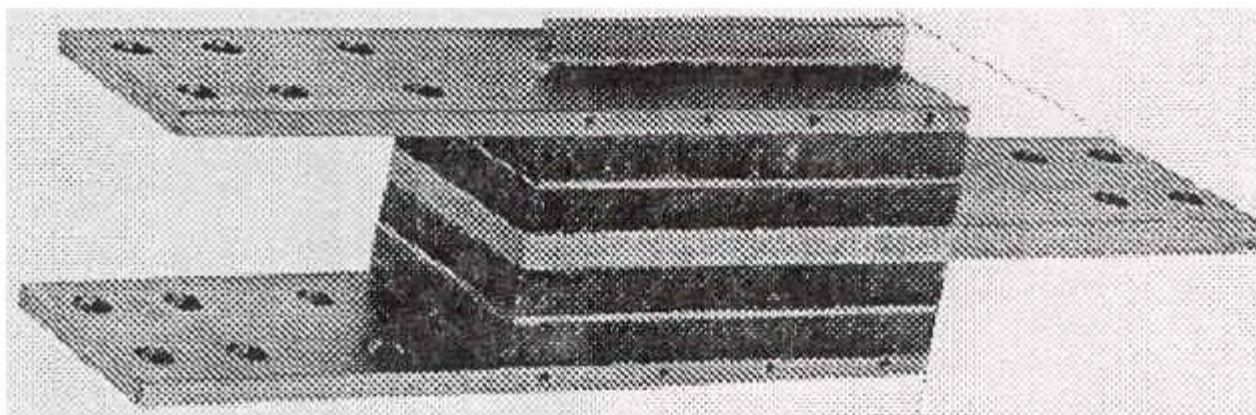


Mass damper on the underside of a bridge

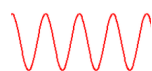


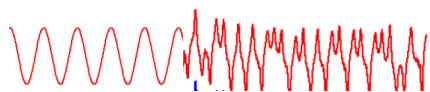
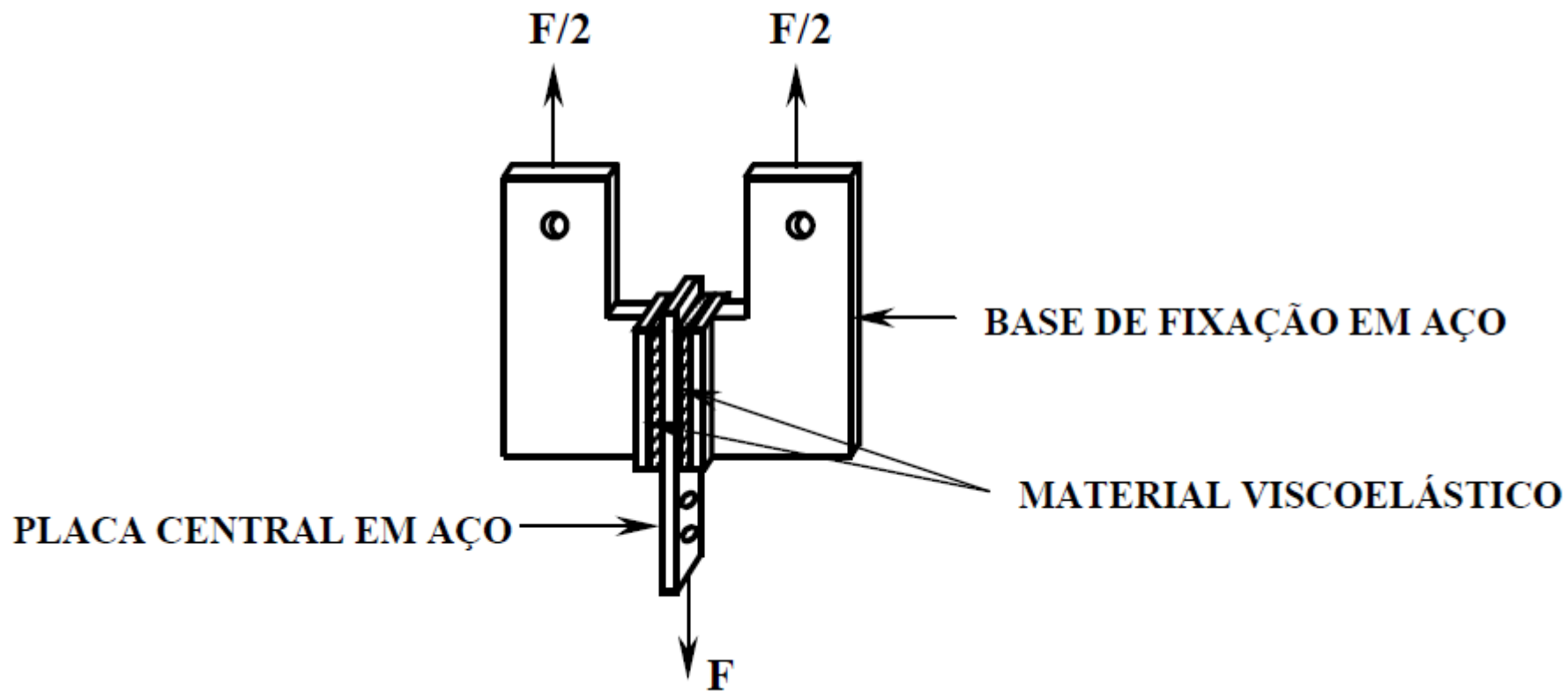
Mass damper scheme to reduce building oscillation

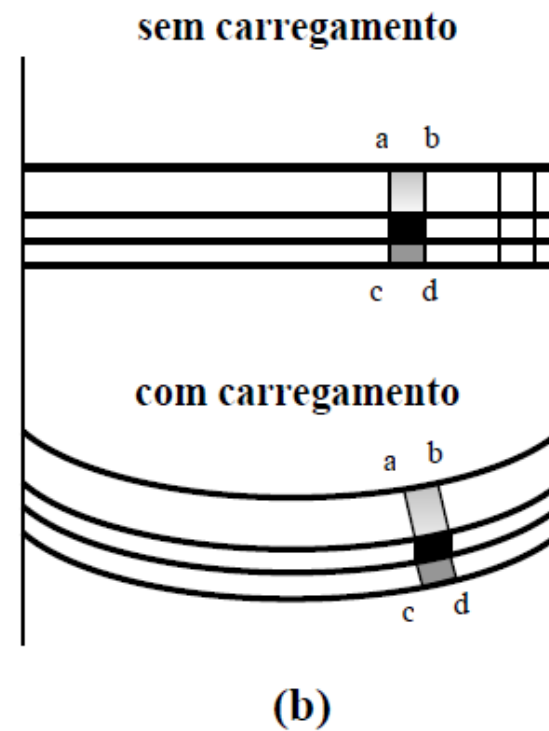
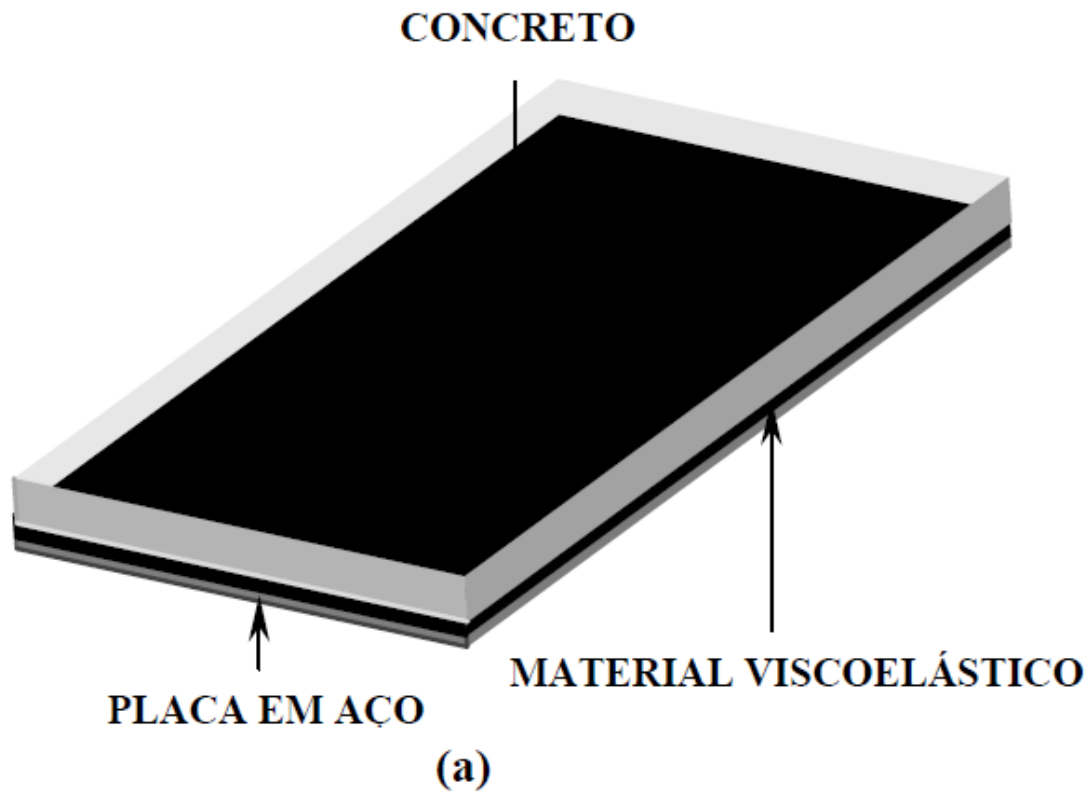




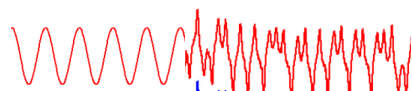
Diferentes configurações para amortecedores viscoelásticos: (a) simples camada de MVE, (b) com camada de restrição, e (c) duplo sanduíche.



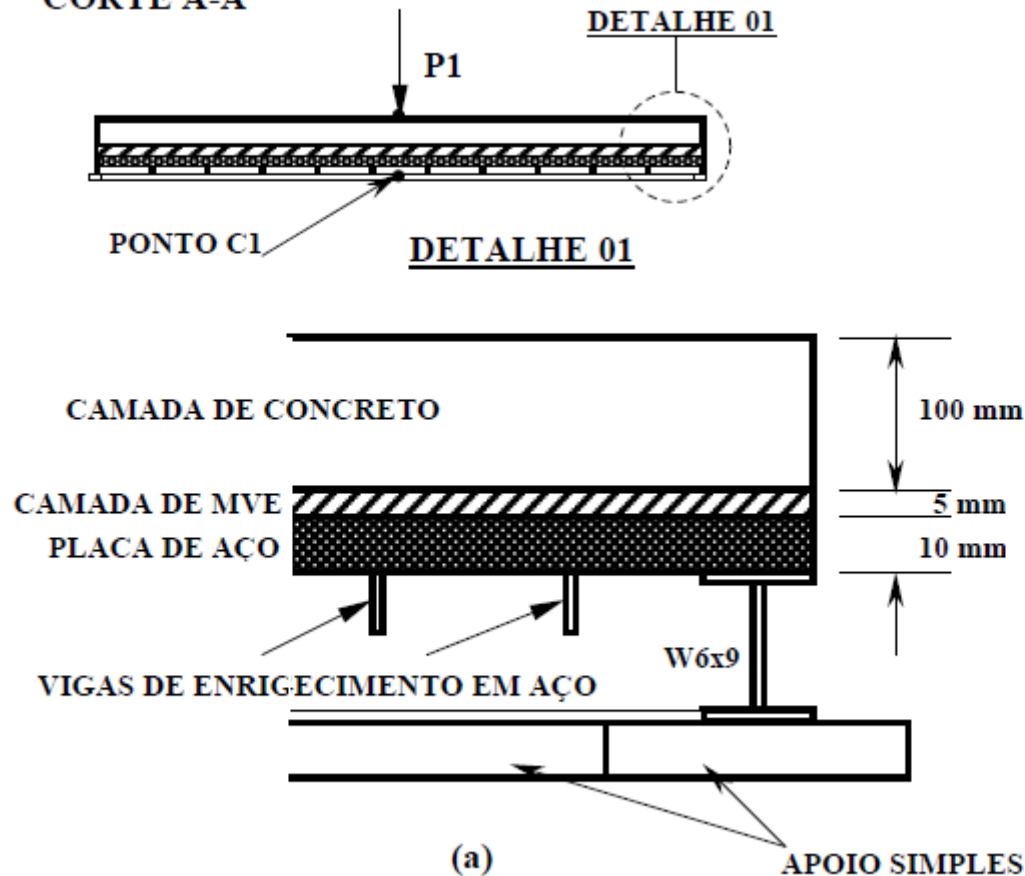




Designação	Descrição
CR	Policloropreno (Neoprene da DuPont)
EPR	Borrachas de Etileno-Propileno
IIR	Borracha Butílica - Poliisobutileno
IR	Poliisopreno
NBR	Borracha Nitrílica (Acrilonitrila – Butadieno)
NR	Borracha Natural
SBR	Borracha de Estireno – Butadieno
BR	Polibutadieno
EPDM	Borracha de Etileno – Propileno Dieno
ACM	Borrachas Acrílicas (outra sigla – AEM)
ECO	Borracha de Epicloridrina (outra sigla – CO)
CSM	Polietilenos Cloro Sulfonados (Hypalon da Dupont)
CFM	Borrachas Fluoradas (Viton da Dupont) – ou FPM, FKM
T	Polissulfetos (Thiokol)
PUR	Borrachas de Poliuretano (outras siglas – AU, EU, PU)
MVQ	Borrachas de Silicone (outra sigla – Si)
FMVQ	Borrachas de Silicone Fluoradas
HNBR	Borrachas Nitrílica Hidrogenada
TPE	Borrachas Termoplásticas (Outras Siglas – TPR ou TR)
GPO	Elastômeros de Óxido de Propeno



CORTE A-A



PERFIL W6x9



$h = 149,86 \text{ mm}$
 $b = 100,076 \text{ mm}$
 $t_f = 5,461 \text{ mm}$
 $t_w = 4,318 \text{ mm}$

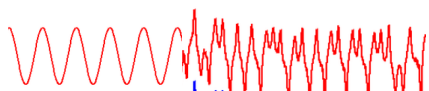
VIGA DE ENRIGECIMENTO

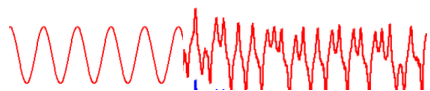
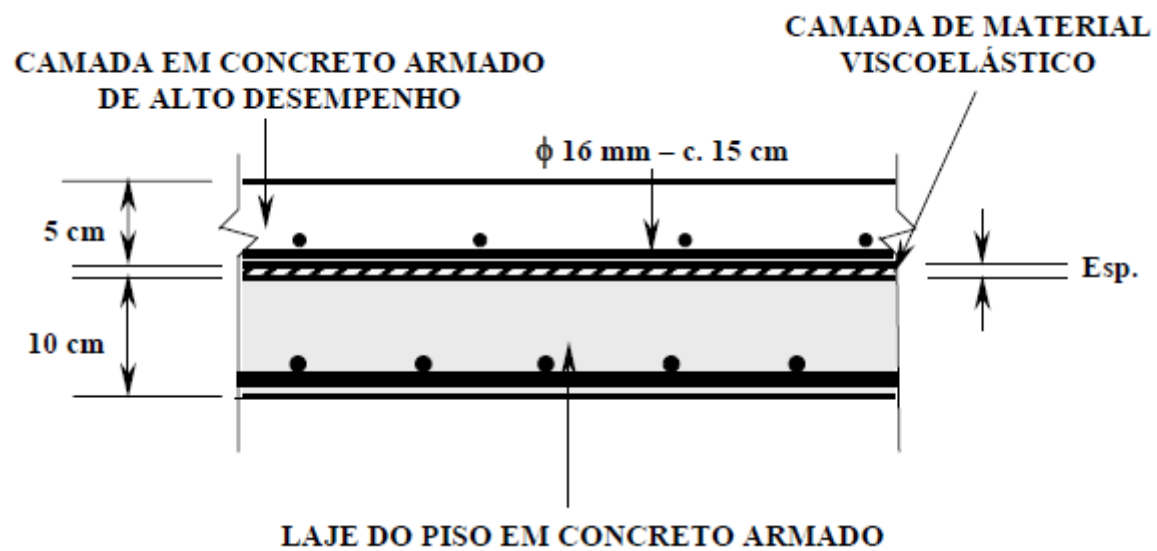


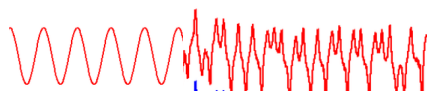
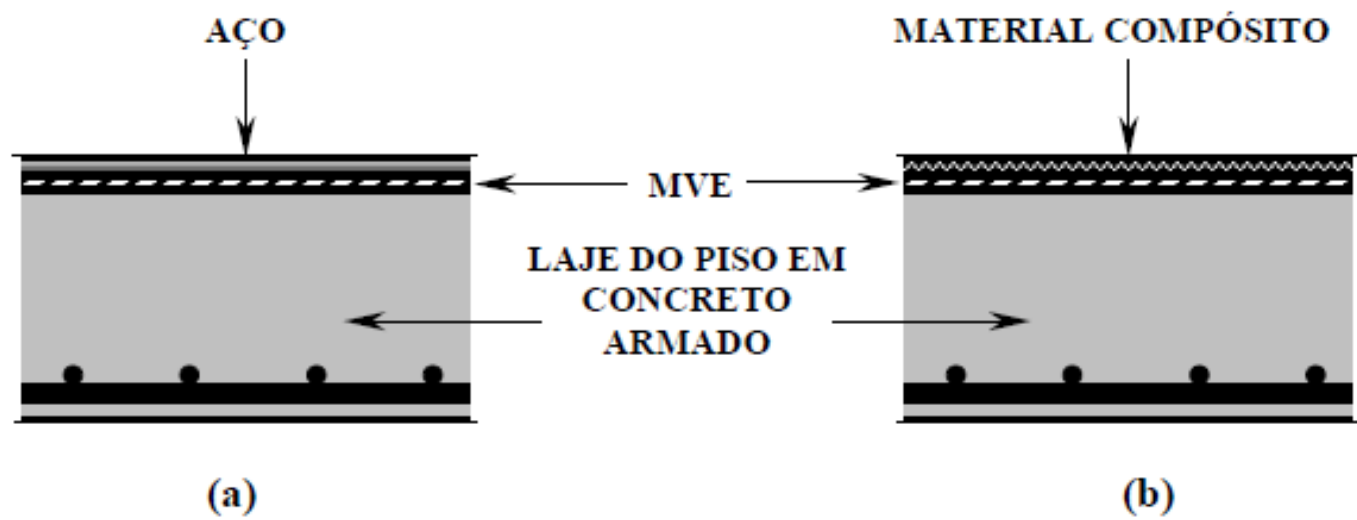
$h = 50 \text{ mm}$
 $b = 4,318 \text{ mm}$

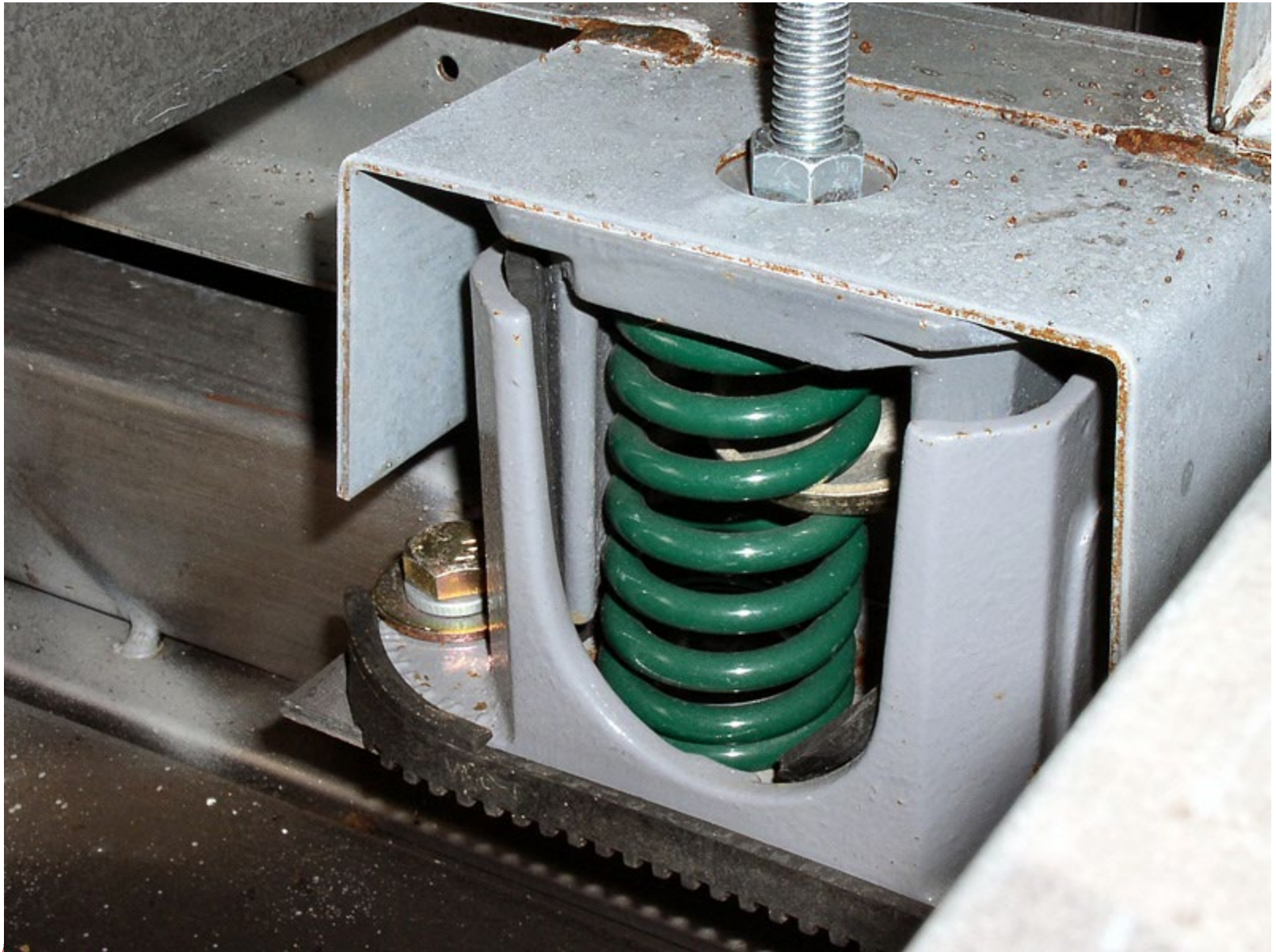
(b)

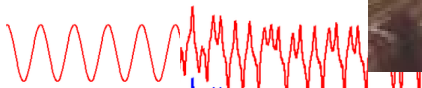
(a)











Zacarias Chamberlain 2023

6. STATIC LOADS

Crusher causes static loads that result from the crusher mass (crusher, supporting brackets, flywheels, wedge adjustment and jaw dies) and the mass of the feed. The loads don't include the weight of the drive unit. The forces are:

- Front frame static load FF_{stat}
- Rear end static load FR_{stat}

Feed in the crusher cavity, when it is full with rocks, is about 6 % of the crusher's weight (3 % included in static loads for both ends, refer to table 1).

Loads in both ends need to be divided in half to discover the load that affects to one bracket. The loads mentioned in the table 1 affect the center of the supporting brackets as seen in the figure 14.

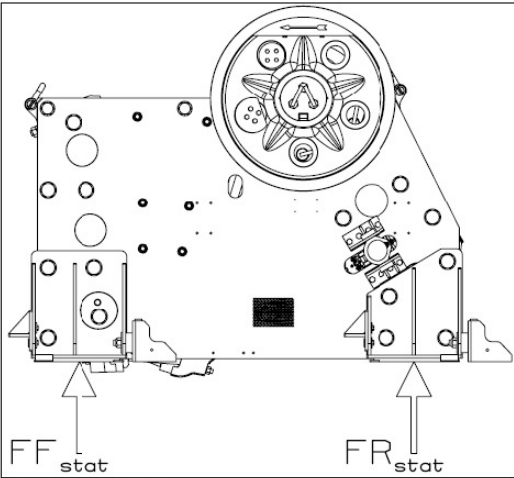


Figure 14. Static loads.

Table 1. Static loads without options.

CRUSHER	STATIC LOADS (N)	
	FRONT END FF_{stat}	REAR END FR_{stat}
C80	43 300	43 300
C96	62 900	39 400
C100	130 600	107 900
C106	88 600	70 500
C116	109 000	87 400
C110	124 100	148 800
C3054	136 900	125 800
C120	158 000	119 700
C125	208 900	188 000
C130	219 200	215 400
C140	260 300	237 600
C145	290 000	276 100
C150	305 900	210 100
C160	407 200	368 100
C200	644 600	581 600

7. DYNAMIC LOADS

Crusher causes dynamic loads which result from the use of the crusher. Crusher's mechanics and the rocks that are fed to the crusher cause four kinds of loads (refer to figure 15 and table 2):

- Vertical, front end FF_{vert}
- Vertical, rear end FR_{vert}
- Horizontal, machine direction F_{MD}
- Horizontal, cross direction F_{CD}

Vertical loads in both ends need to be divided in half to discover the load that affects to one bracket. The vertical loads mentioned in the table 2 affect the center of the supporting brackets as seen in the figure 15.

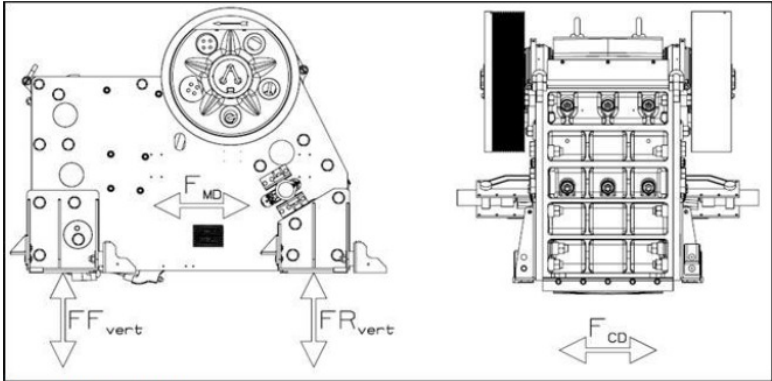


Figure 15. Dynamic loads.

Table 2. Dynamic loads without options.

CRUSHER	DYNAMIC LOADS (N)				FREQUENCY OF UNBALANCED FORCES (Hz)
	FRONT END Peak-to-peak FF_{vert}	REAR END Peak-to-peak FR_{vert}	MACHINE DIRECTION Peak-to-peak F_{MD}	CROSS DIRECTION Peak-to-peak F_{CD}	
C80	6 000	6 000	5 400	2 700	5,84
C96	37 100	10 200	10 700	5 400	5,34
C100	62 800	5 300	20 200	10 100	4,34
C106	59 100	27 500	18 000	9 000	4,67
C116	45 500	31 200	46 500	23 300	4,34
C110	70 300	20 800	18 200	9 100	3,84
C3054	83 100	32 500	22 200	11 100	4,34
C120	74 300	35 400	28 900	14 500	3,84
C125	76 300	29 500	10 400	5 200	3,67



new measurement

load measurement