

## **ESTUDO DA DINÂMICA DE EDIFÍCIOS NA FORMA DE PÓRTICO DE QUATRO PAVIMENTOS COM UM SISTEMA DE CONTROLE TIPO TMD**

Valentina Alessandra Carvalho do Vale, [ale.vale.ssandra@gmail.com](mailto:ale.vale.ssandra@gmail.com)<sup>1</sup>

Fábio de Andrade Barroso, [fabioab@ibest.com.br](mailto:fabioab@ibest.com.br)<sup>1</sup>

Samara Barbosa Lima, [samara\\_lima@bol.com.br](mailto:samara_lima@bol.com.br)<sup>1</sup>

Frederico Antônio Melo do Vale, [fredvale@uol.com.br](mailto:fredvale@uol.com.br)<sup>1</sup>

Jacques Cesar dos Santos, [jacquesles@yahoo.com.br](mailto:jacquesles@yahoo.com.br)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal da Paraíba – Campus I, Centro de Tecnologia – Bloco F, CEP 58059-900,

**Resumo:** *Com o objetivo de aumentar os níveis de conforto e segurança das estruturas civis, o estudo da dinâmica de edifícios e de controles de vibrações dos mesmos tem sido um dos focos da área de engenharia de controle. Assim será estudada a dinâmica de edifícios na forma de pórtico e a ação de controle que não requer fonte de energia externa para gerar a ação desejada, utilizando para isso a própria dinâmica da estrutura. Estes sistemas de controles são denominados absorvedores dinâmicos de vibração, que nesse trabalho será posicionado um único sistema no topo do edifício de concreto de quatro pavimentos, variando a sua massa, com o objetivo de analisar a sua influência na ação de controle. Para fins do estudo da dinâmica, excitações senoidais deslocadas positivamente no eixo das abscissas, serão impostas com amplitudes variadas e crescentes ao longo da estrutura, com frequência natural igual a da mesma e com fase nula, de forma a simular a ação do vento.*

**Palavras-chave:** *absorvedor dinâmico de vibrações, estrutura, conforto*

### **1. INTRODUÇÃO**

As estruturas podem sofrer vibrações excessivas durante a ação de cargas dinâmicas, desenvolvendo grandes amplitudes de resposta, causando desconforto aos usuários e podendo acarretar danos estruturais.

Não só nos EUA, mas em outros países, como o Japão, Rússia e países da Europa, têm sido desenvolvidos trabalhos relevantes nesta área, e muitos sistemas de controle estão sendo utilizados para assegurar o conforto ambiental e segurança dos usuários.

Em geral, a análise dinâmica de uma estrutura é mais complexa que a análise estática, pois novos parâmetros tem que ser considerados, sendo a análise dinâmica necessária quando há a ação de cargas variáveis em módulo, direção e/ou sentido, no tempo sobre a estrutura.

Um exemplo de sistema de controle muito estudado e utilizado em grandes estruturas civis é o *Tuned Mass Damper* (TMD), ou simplesmente absorvedor dinâmico de vibração. O TMD consiste de um bloco secundário com aproximadamente 1% da massa da estrutura, posicionado geralmente no topo de um edifício, acoplado mediante uma mola e um amortecedor.

A primeira estrutura na qual foi instalado um TMD, diz respeito ao *Centerpoint Tower*, em Sidney, Austrália, havendo também nos EUA, dois edifícios com o TMD, *Citicorp Center*, em Nova Iorque e o *John Hancock Tower*, em Boston. No Japão, o primeiro TMD foi instalado no *Chiba Port Tower*, segundo Housner et al (1997). Outros sistemas de controle de estrutura são estudados por Castellane et al (1998) e Kawazoe et al (1998).

O presente estudo está relacionado ao efeito da força do vento sobre a estrutura no tempo, bem como a análise do comportamento da estrutura frente à variação brusca de sua intensidade. A análise contemplará também a resposta da estrutura quanto o aumento/diminuição da massa do absorvedor.

### **2. METODOLOGIA**

Será proposto um sistema de controle do tipo TMD para edifícios de quatro pavimentos na forma de pórtico, de forma que seu movimento se oponha ao da estrutura, servindo adequadamente para minimizar a ação do vento. Uma das vantagens do sistema TMD é que sua instalação não precisa de grandes modificações da estrutura, segundo Abé (1996).

O estudo é baseado em simulações realizadas com o programa MATLAB, versão 5.3. O modelamento do sistema será descrito a seguir, em que os sinais de excitação que representarão o vento serão funções senoidais deslocadas positivamente com amplitudes diferentes, Fig. (1), visto que o vento tende a soprar em um único sentido e com

intensidades variadas, observar que os pavimentos mais altos recebem uma maior intensidade de vento, devido à própria condição fluida do vento, sendo feita uma ponderação de acordo com o pavimento.

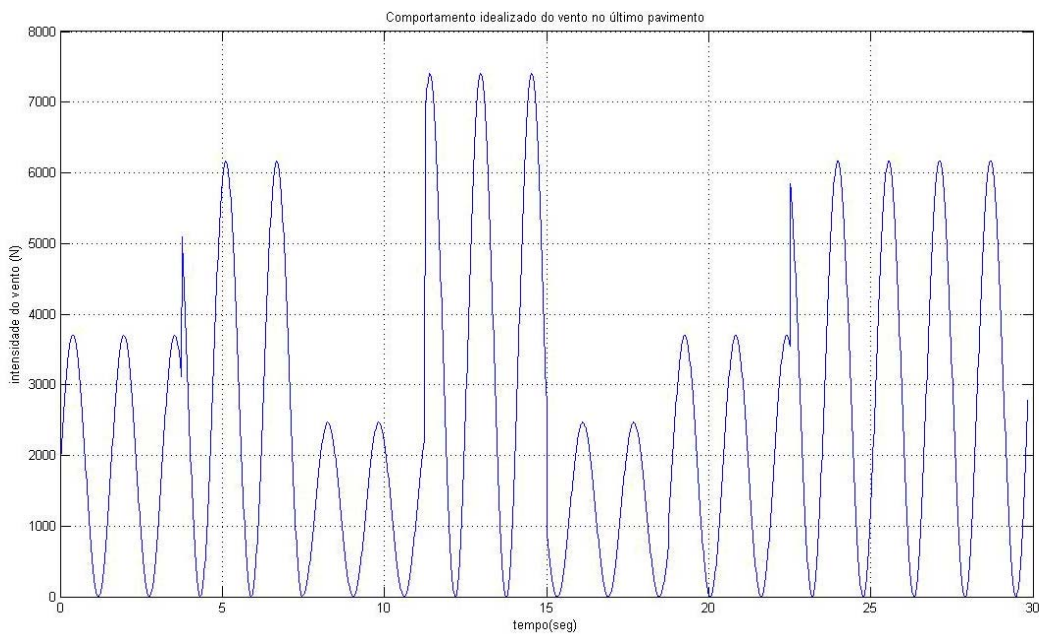


Figura 1. Esboço do sinal que representará o comportamento do vento no último pavimento

### 2.1. Modelamento do sistema para espaço de estado

Cada pavimento de um edifício pode ser representado pela sua massa ( $m_n$ ), constante de amortecimento ( $b_n$ ) e constante de rigidez ( $k_n$ ), em que “n” remete ao número referente ao pavimento, conforme esquema mostrado na Fig. 2.

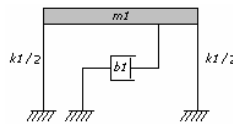


Figura 2. Esquema de um pavimento de um edifício

Assim a equação associada ao movimento axial do pavimento é dada pela Eq. (1), em que F é a força atuante.

$$m_1 \cdot \ddot{x} + b_1 \cdot \dot{x} + k_1 \cdot x = F \tag{1}$$

De maneira análoga é possível obter um esquema para um edifício de quatro pavimentos, Fig. 3.

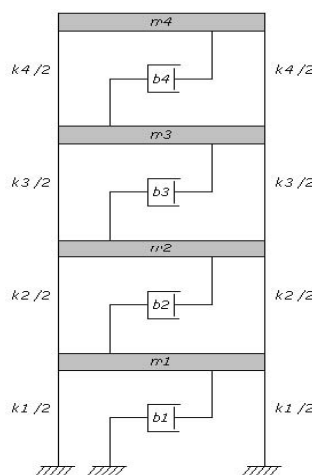


Figura 3. Esquema de um edifício de quatro pavimentos

A equação que descreve o movimento no sentido axial para essa estrutura de quatro pavimentos pode ser escrita na forma a seguir, onde  $\mathbf{M}$ ,  $\mathbf{B}$  e  $\mathbf{K}_G$  são matrizes referentes a massas, amortecimentos e rigidez, respectivamente na Eq. 2.

$$\mathbf{M} \cdot \ddot{\mathbf{x}} + \mathbf{B} \cdot \dot{\mathbf{x}} + \mathbf{K}_G \cdot \mathbf{x} = \mathbf{F} \quad (2)$$

Segundo Accioly (2000) as constantes de amortecimento são funções das massas e das constantes de rigidez de cada pavimento, enquanto que as constantes de rigidez são funções do material e das dimensões das vigas, na Eq. 3.

$$b_{n+1} = 2 \cdot k_{n+1} \cdot \xi_n \cdot \sqrt{\frac{m_n}{k_n + k_{n+1}}}, \quad (3)$$

$$\text{com: } \begin{cases} \xi_{n+1} = \xi_n \cdot \sqrt{\left(\frac{m_n}{m_{n+1}}\right) \cdot \left(\frac{k_{n+1} + k_{n+2}}{k_n + k_{n+1}}\right)}, \\ k_n = \varepsilon_o \cdot \frac{A_n}{L_n} \end{cases} \quad \text{onde: } \begin{cases} \xi_n - \text{razão de amortecimento} \\ \varepsilon_o - \text{módulo de elasticidade} \\ A_n - \text{área de secção da coluna} \\ L_n - \text{comprimento da coluna} \end{cases}$$

A matriz de massa é definida na forma diagonal, como vemos a seguir, onde o termo não nulo da linha corresponde à massa do respectivo pavimento (Eq. 4).

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 \end{bmatrix} \quad (4)$$

A matriz de amortecimento possui a forma dada a seguir, visto que o amortecimento de um pavimento superior exerce influência no pavimento inferior (Eq. 5).

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} b_1 + b_2 & -b_2 & 0 & 0 \\ -b_2 & b_2 + b_3 & -b_3 & 0 \\ 0 & -b_3 & b_3 + b_4 & -b_4 \\ 0 & 0 & -b_4 & b_4 \end{bmatrix} \quad (5)$$

A matriz  $\mathbf{K}_G$  é obtida através das condições de equilíbrio nos nós e nas vigas da estrutura em pórtico, segundo Gere e Weaver (1987), Fig. 4, onde as forças e momentos esquematizadas são definidas na Eq. 6.

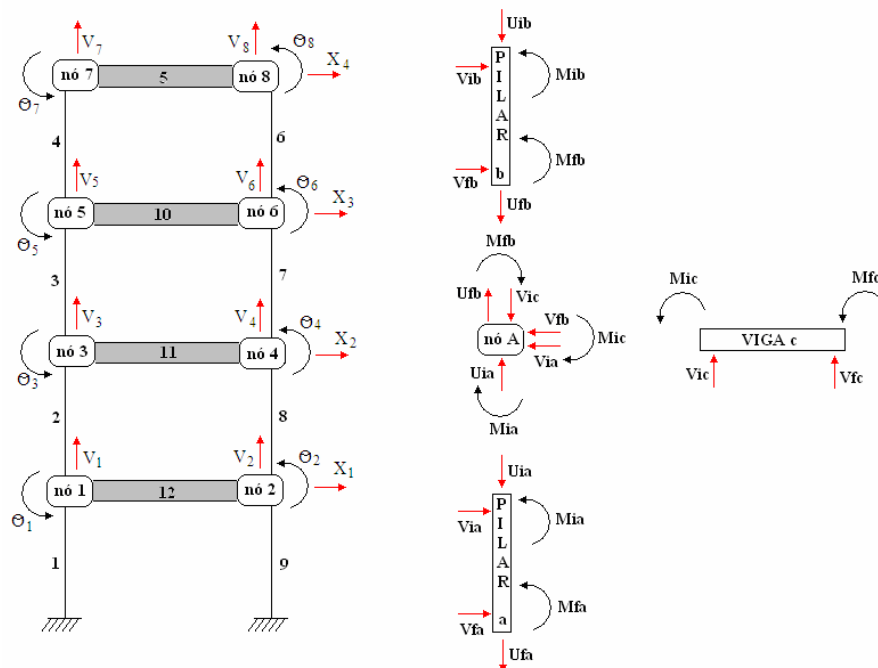


Figura 4. Forças atuantes em um nó

$$\begin{bmatrix} U_i \\ V_i \\ M_i \\ U_f \\ V_f \\ M_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\varepsilon_o \cdot A}{L} & 0 & 0 & -\frac{\varepsilon_o \cdot A}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 12 \cdot \frac{\varepsilon_o \cdot I}{L^3} & 6 \cdot \frac{\varepsilon_o \cdot I}{L^2} & 0 & -12 \cdot \frac{\varepsilon_o \cdot I}{L^3} & 6 \cdot \frac{\varepsilon_o \cdot I}{L^2} \\ 0 & 6 \cdot \frac{\varepsilon_o \cdot I}{L^2} & 4 \cdot \frac{\varepsilon_o \cdot I}{L} & 0 & -6 \cdot \frac{\varepsilon_o \cdot I}{L^2} & 2 \cdot \frac{\varepsilon_o \cdot I}{L} \\ -\frac{\varepsilon_o \cdot A}{L} & 0 & 0 & \frac{\varepsilon_o \cdot A}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -12 \cdot \frac{\varepsilon_o \cdot I}{L^3} & -6 \cdot \frac{\varepsilon_o \cdot I}{L^2} & 0 & 12 \cdot \frac{\varepsilon_o \cdot I}{L^3} & -6 \cdot \frac{\varepsilon_o \cdot I}{L^2} \\ 0 & 6 \cdot \frac{\varepsilon_o \cdot I}{L^2} & 2 \cdot \frac{\varepsilon_o \cdot I}{L} & 0 & -6 \cdot \frac{\varepsilon_o \cdot I}{L^2} & 4 \cdot \frac{\varepsilon_o \cdot I}{L} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_i \\ v_i \\ \theta_i \\ x_f \\ v_f \\ \theta_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} U_i^F \\ V_i^F \\ M_i^F \\ U_f^F \\ V_f^F \\ M_f^F \end{bmatrix} \quad (6)$$

com:  $I = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3$

onde:  $\left\{ \begin{array}{l} i - \text{inicial} \\ f - \text{final} \\ U - \text{forças laterais} \\ V - \text{forças verticais} \\ M - \text{momentos} \\ I - \text{momento de inércia de área} \\ b - \text{lado paralelo ao eixo que passa pelo centro da área considerada} \\ h - \text{lado que junto com "b" forma a área considerada} \end{array} \right.$

Assim, o somatório dos momentos e forças verticais em cada nó e as forças verticais em cada viga resulta nas funções a seguir, que dispostas na forma matricial resultará em uma matriz  $5n \times 5n$ . Para as  $2n$  primeiras linhas, temos as condições de equilíbrio de momento de cada nó, as  $2n$  linhas seguintes, as condições de equilíbrio das forças verticais de cada nó, e as  $n$  últimas linhas, às condições de equilíbrio das forças horizontais nas vigas (Eq. 7). Para as  $2n$  primeiras colunas, temos as variáveis referentes ao movimento angular, as  $2n$  colunas seguintes, as variáveis referentes ao movimento vertical, e as  $n$  últimas colunas, ao movimento horizontal, visto que as vigas são incompressíveis, ou seja, nós de mesmo pavimento possuem mesmo deslocamento lateral, como exposto na Fig. 4.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Somatório dos momentos: } M_i^1 + M_f^2 + M_i^{12} \\ \text{Somatório das forças verticais: } U_i^1 + U_f^2 - V_i^{12} \\ \text{Somatório das forças horizontais: } V_i^1 + V_f^2 + V_i^9 + V_f^8 \end{array} \right. \quad (7)$$

onde M, U e V são obtidos através da Eq. 6.

Em determinado tipo de análise estrutural, não há interesse em se considerar todos os graus de liberdade possíveis da estrutura. Isso pode ser percebido, por exemplo, em análise dinâmica de edifícios, quando se pretende estudar apenas as vibrações laterais, como é o caso considerado neste trabalho. Assim, a matriz de rigidez global ( $5n \times 5n$ ) pode ser condensada em uma matriz ( $n \times n$ ). Segundo Clough & Penzien (1993), a matriz global pode ser dividida em quatro seções (dependentes das angulações e das movimentações verticais e horizontais), como vemos na Eq. 8, fazendo as manipulações descritas a seguir, obtemos a matriz de rigidez global condensada.

$$K_G = \begin{bmatrix} K_{\delta\delta}^{4n \times 4n} & K_{\delta x}^{4n \times n} \\ K_{x\delta}^{n \times 4n} & K_{xx}^{n \times n} \end{bmatrix} \quad (8)$$

onde  $K_{xx}$  é dado por  $K_{xx} = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 \\ 0 & 0 & -k_4 & k_4 \end{bmatrix}$ , que pode ser utilizado para calcular os  $b_n$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & M_{xx} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \ddot{\delta} \\ \dot{x} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & B_{xx} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{\delta} \\ x \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{\delta\delta} & K_{\delta x} \\ K_{x\delta} & K_{xx} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \delta \\ x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ F \end{bmatrix} \quad (9)$$

com:  $\delta = \begin{bmatrix} \theta \\ v \end{bmatrix}$ , onde:  $\begin{cases} \theta - \text{deslocamento angular} \\ v - \text{deslocamento vertical} \\ x - \text{deslocamento lateral} \\ K_G - \text{Matriz de rigidez global} \end{cases}$

Assim:  $\begin{cases} K_{\delta\delta} \cdot \delta + K_{\delta x} \cdot x = 0 \\ M_{xx} \cdot \ddot{x} + B_{xx} \cdot \dot{x} + K_{x\delta} \cdot \delta + K_{xx} \cdot x = F \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \delta = -K_{\delta\delta}^{-1} \cdot K_{\delta x} \cdot x \\ M_{xx} \cdot \ddot{x} + B_{xx} \cdot \dot{x} + K_{x\delta} \cdot (-K_{\delta\delta}^{-1} \cdot K_{\delta x} \cdot x) + K_{xx} \cdot x = F \end{cases}$

obtendo:  $M_{xx} \cdot \ddot{x} + B_{xx} \cdot \dot{x} + (K_{xx} - K_{x\delta} K_{\delta\delta}^{-1} \cdot K_{\delta x}) \cdot x = F \rightarrow K_C = K_{xx} - K_{x\delta} K_{\delta\delta}^{-1} \cdot K_{\delta x}$  (10)

$$K_C = \begin{bmatrix} K_C^{1,1} & K_C^{1,2} & K_C^{1,3} & K_C^{1,4} \\ K_C^{2,1} & K_C^{2,2} & K_C^{2,3} & K_C^{2,4} \\ K_C^{3,1} & K_C^{3,2} & K_C^{3,3} & K_C^{3,4} \\ K_C^{4,1} & K_C^{4,2} & K_C^{4,3} & K_C^{4,4} \end{bmatrix}$$

onde  $K_C$  - Matriz de rigidez global condensada

Fazendo:  $\begin{cases} x_1 = x \\ x_2 = \dot{x}_1 = \dot{x} \end{cases} \rightarrow \text{Temos: } \begin{cases} \dot{x}_1 = \dot{x} = x_2 \\ \dot{x}_2 = \ddot{x} \end{cases}$

Substituindo na EDO que rege o sistema:  $\begin{cases} \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & I_M \\ -M^{-1} \cdot K_C & -M^{-1} \cdot B \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ M^{-1} \end{bmatrix} \cdot F \\ y = [I_M \quad 0] \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \end{cases} \quad (11)$

onde:  $I_M$  - matriz identidade

## 2.2. Modelamento do sistema somado a um absorvedor dinâmico de vibrações

Acoplando o absorvedor dinâmico de vibrações no quarto pavimento, Fig. 5, o mesmo se comportará como um quinto pavimento com massa, constante de amortecimento e constante de mola (equivalente a de rigidez) iguais a  $m_t$ ,  $b_t$  e  $k_t$ , respectivamente.

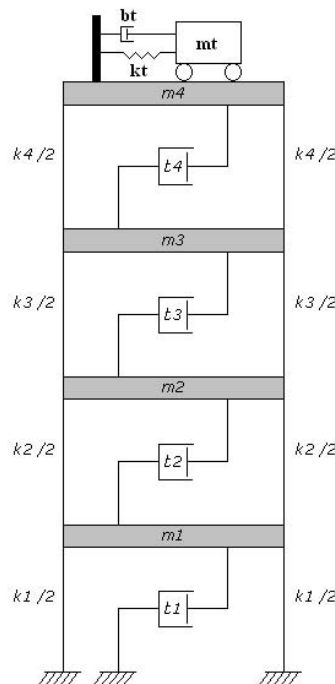


Figura 5. Acoplamento do absorvedor dinâmico ao edifício de quatro pavimentos

Obtendo a mesma equação de espaço de estado com as matrizes  $M$ ,  $B$  e  $K_{xx}$ , dadas a seguir.

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_t \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$B = \begin{bmatrix} b_1 + b_2 & -b_2 & 0 & 0 & 0 \\ -b_2 & b_2 + b_3 & -b_3 & 0 & 0 \\ 0 & -b_3 & b_3 + b_4 & -b_4 & 0 \\ 0 & 0 & -b_4 & b_4 + b_t & -b_t \\ 0 & 0 & 0 & -b_t & b_t \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$K_{xx} = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 & 0 \\ 0 & 0 & -k_4 & k_4 + k_t & -k_t \\ 0 & 0 & 0 & -k_t & k_t \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$K_C = \begin{bmatrix} K_C^{1,1} & K_C^{1,2} & K_C^{1,3} & K_C^{1,4} & 0 \\ K_C^{2,1} & K_C^{2,2} & K_C^{2,3} & K_C^{2,4} & 0 \\ K_C^{3,1} & K_C^{3,2} & K_C^{3,3} & K_C^{3,4} & 0 \\ K_C^{4,1} & K_C^{4,2} & K_C^{4,3} & K_C^{4,4} + \xi \cdot k_t & -\xi \cdot k_t \\ 0 & 0 & 0 & -\xi \cdot k_t & \xi \cdot k_t \end{bmatrix} \quad (15)$$

### 2.3. Respostas para um edifício de quatro pavimentos real

Os dados utilizados neste trabalho para a simulação de um sistema real, foram retirados da dissertação de mestrado da Sra. Márcia Maria Luna Accioly, no ano de 2.000. Os valores retirados serviram como teste para as primeiras simulações, e verificar se o modelamento estava correto. Os valores podem ser verificados a seguir na Tab. 1.

**Tabela 1. Dados para o sistema real**

Grandeza	z	Unidade
Massa – primeiro pavimento ( $m_1$ )	22287,5	kg
Massa – segundo pavimento ( $m_2$ )	22287,5	kg
Massa – terceiro pavimento ( $m_3$ )	21837,5	kg
Massa – quarto pavimento ( $m_4$ )	21837,5	kg
Dimensões das vigas ( $b \times h \times L$ )	0,15×0,5×5	m <sup>3</sup>
Dimensões dos pilares do primeiro e segundo pavimentos ( $b \times h \times L$ )	0,15×0,6×3	m <sup>3</sup>
Dimensões dos pilares do terceiro e quarto pavimentos ( $b \times h \times L$ )	0,15×0,4×3	m <sup>3</sup>
Módulo de elasticidade ( $\epsilon$ )	$2,9 \times 10^{10}$	N/m <sup>2</sup>
Razão de amortecimento ( $\xi$ )	2%	–
Massa do absorvedor ( $m_t$ )	$m_t$	kg
Constante de amortecimento do absorvedor ( $b_t$ )	$0,624238 \times 10^3$	N.seg/m
Constante da mola do absorvedor ( $k_t$ )	$1538,41 \times 10^3$	N/m

A partir de uma rotina no MATLAB, foram encontradas as matrizes de massa, amortecimento e rigidez. Para a matriz massa, foram apenas dispostos na Eq. 4 os respectivos valores encontrados na Tab. 1. Para a matriz de amortecimento, foram calculados os  $b_n$  através da Eq. 3 e dispostos os mesmos na Eq. 5. Para a matriz de rigidez global condensada, foi encontrada a matriz de rigidez global, através das condições de equilíbrio da Eq. 7 e aplicadas nas Eq. 8 e 10. As matrizes resultantes se encontram na segunda coluna da Tab. 2. Para o sistema com absorvedor dinâmico, partindo das Eq. 12, Eq. 13 e Eq. 15, e se obtém a terceira coluna da Tab. 2.

Tabela 2. Matrizes obtidas

Matriz	Sem absorvedor	Com absorvedor
Massa (M)	$\begin{bmatrix} 22287,5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 22287,5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 21837,5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 21837,5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 22287,5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 22287,5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 21837,5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 21837,5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_t \end{bmatrix}$
Amortecimento (B)	$10^4 \begin{bmatrix} 7,0455 & -3,5227 & 0 & 0 \\ -3,5227 & 4,5665 & -1,0438 & 0 \\ 0 & -1,0438 & 2,0875 & -1,0438 \\ 0 & 0 & -1,0438 & 1,0438 \end{bmatrix}$	$10^4 \begin{bmatrix} 7,0455 & -3,5227 & 0 & 0 & 0 \\ -3,5227 & 4,5665 & -1,0438 & 0 & 0 \\ 0 & -1,0438 & 2,0875 & -1,0438 & 0 \\ 0 & 0 & -1,0438 & 1,1062 & -0,0624 \\ 0 & 0 & 0 & -0,0624 & 0,0624 \end{bmatrix}$
Rigidez global condensada ( $K_C$ )	$10^8 \begin{bmatrix} 1,0834 & -0,5276 & 0,0885 & -0,0090 \\ -0,5276 & 0,5607 & -0,2471 & 0,0399 \\ 0,0885 & -0,2471 & 0,3281 & -0,1518 \\ -0,0090 & 0,0399 & -0,1518 & 0,1185 \end{bmatrix}$	$10^8 \begin{bmatrix} 1,0834 & -0,5276 & 0,0885 & -0,0090 & 0 \\ -0,5276 & 0,5607 & -0,2471 & 0,0399 & 0 \\ 0,0885 & -0,2471 & 0,3281 & -0,1518 & 0 \\ -0,0090 & 0,0399 & -0,1518 & 0,1188 & -0,0003 \\ 0 & 0 & 0 & -0,0003 & 0,0003 \end{bmatrix}$

Utilizando a equação de modelamento de espaço de estado, Eq. 11, e as matrizes que caracterizam o sistema, que se encontram na Tab. 2, foram simuladas as respostas à ação do vento (Fig. 1), este ponderado de forma que o primeiro pavimento recebeu 25% da intensidade do vento e o último pavimento recebeu 100% da intensidade.

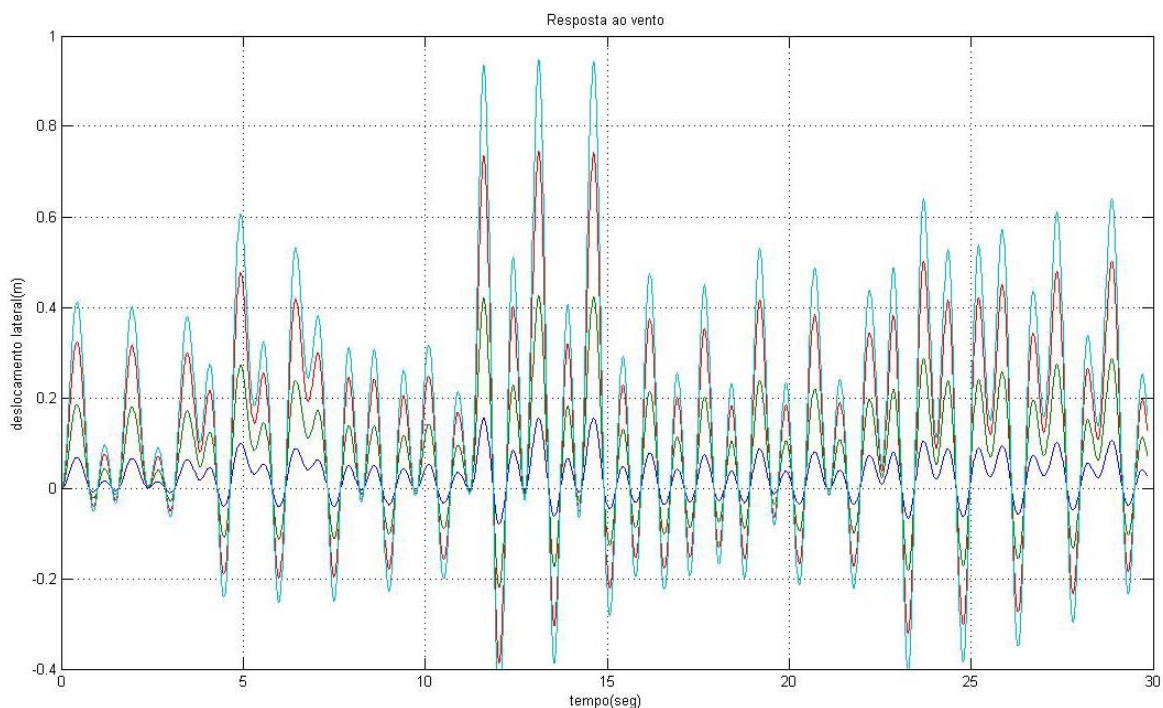


Figura 6. Resposta ao vento de todos os pavimentos do edifício sem absorvedor

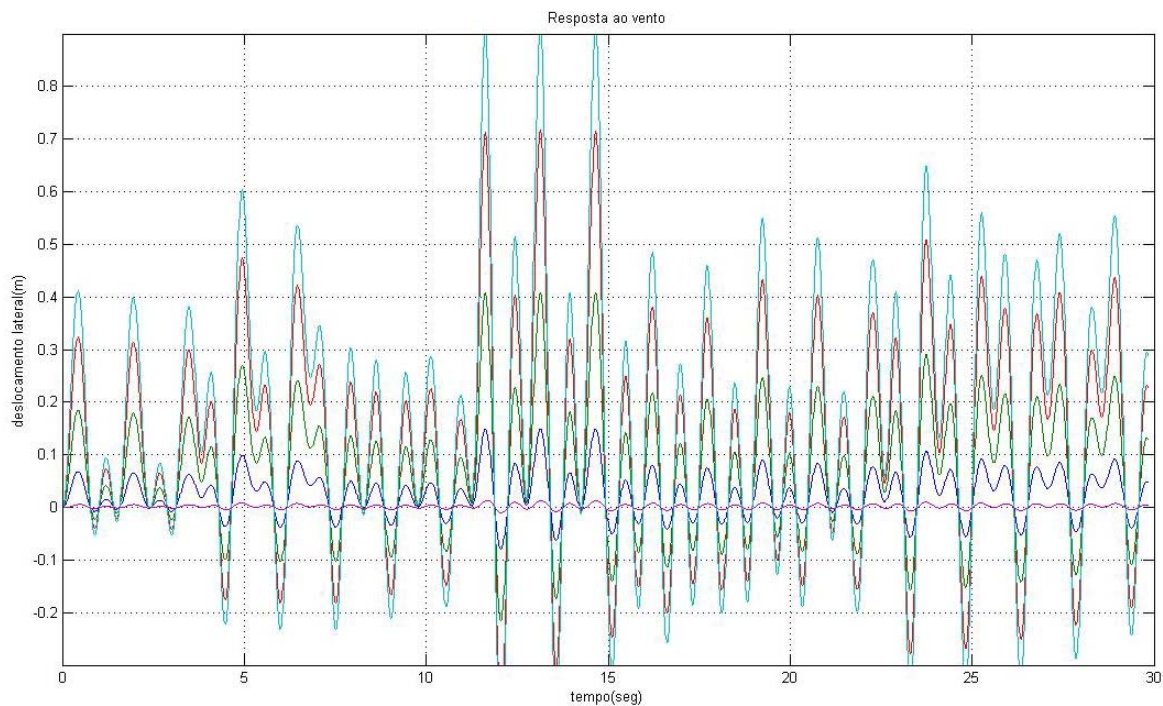


Figura 7. Resposta ao vento de todos os pavimentos do edifício com absorvedor de massa  $m_t=220,62\text{kg}$

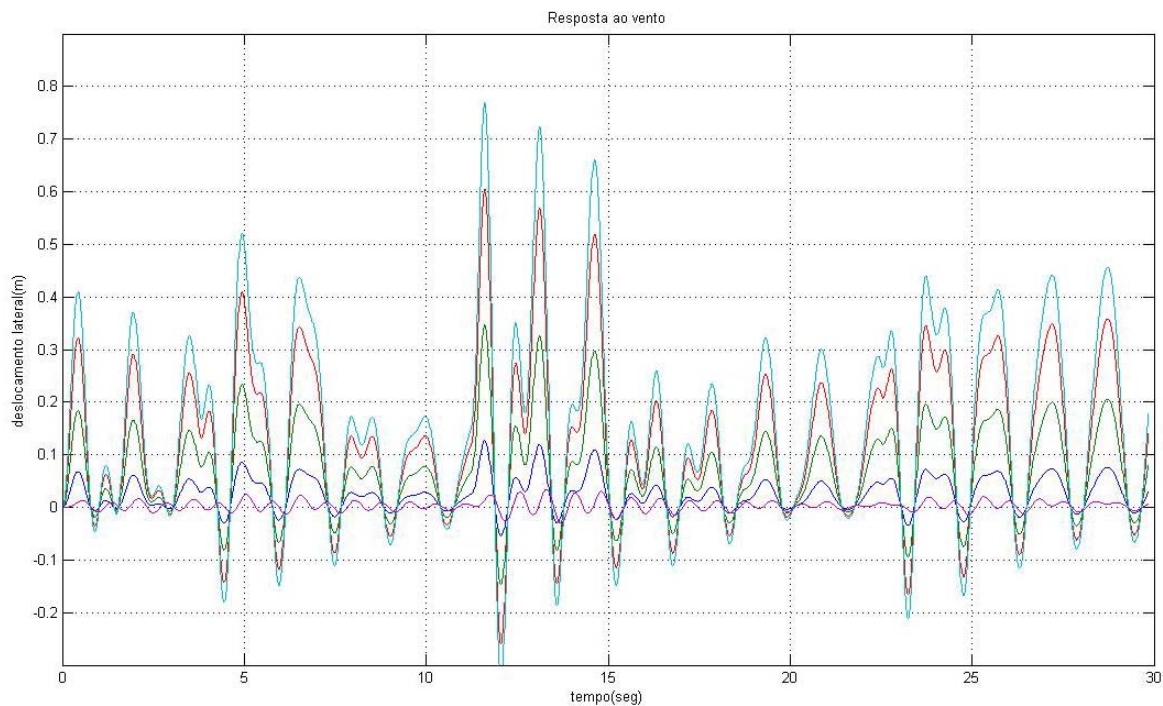


Figura 8. Resposta ao vento de todos os pavimentos do edifício com absorvedor de massa  $m_t=441,25\text{kg}$



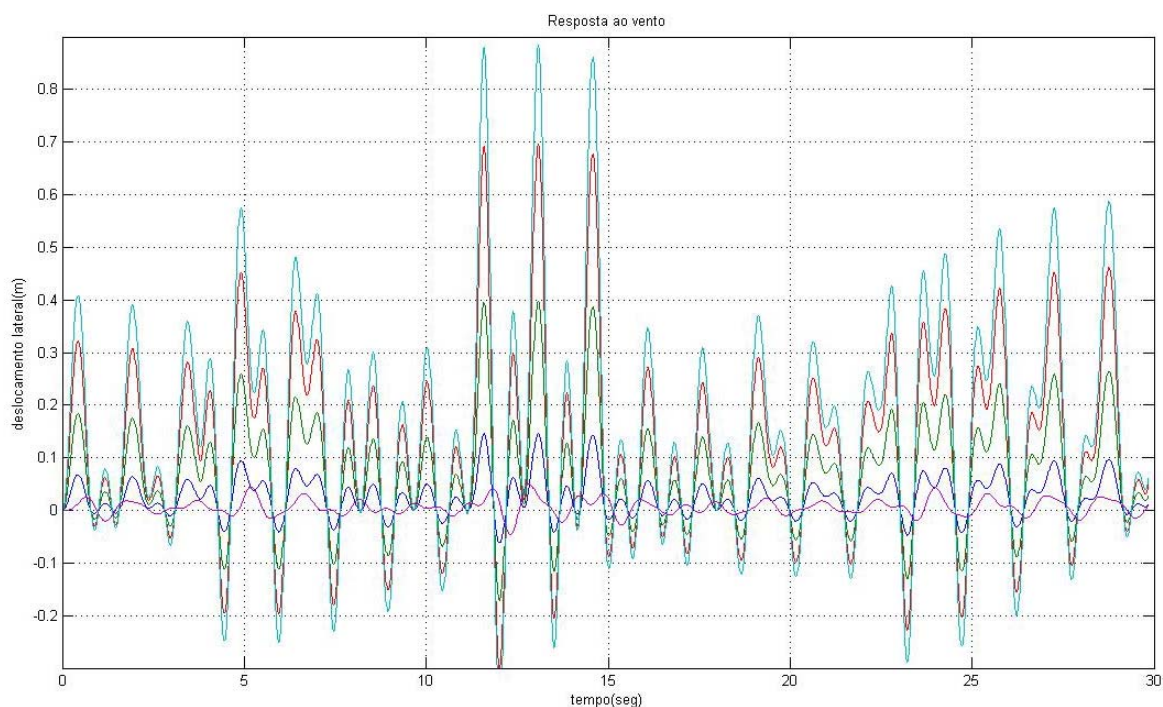


Figura 9. Resposta ao vento de todos os pavimentos do edifício com absorvedor de massa  $m_t=882,50\text{kg}$

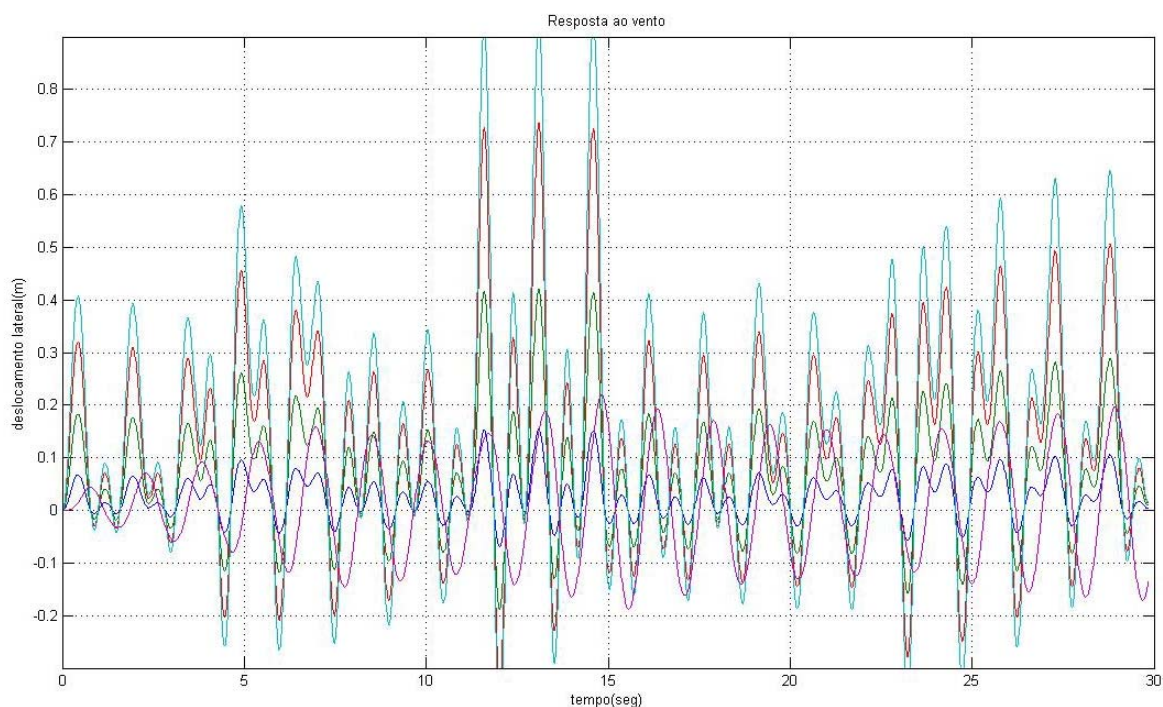


Figura 10. Resposta ao vento de todos os pavimentos do edifício com absorvedor de massa  $m_t=1765,00\text{kg}$

#### 2.4. Análise dos resultados

O valor sugerido de 1% da massa do absorvedor do tipo TMD, não apresentou a melhor solução para este caso em particular. Para isto, realizamos simulações para absorvedores de massa equivalente a 0,25%, 0,5%, 1% e 2% da massa da estrutura. Podemos notar que para valores inferiores à 0,5% e acima de 1%, o comportamento da estrutura foi semelhante à ausência de absorvedor.

Diante dos resultados obtidos nas figuras referentes às respostas do edifício, sem e com absorvedor ao vento, Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9 e Fig. 10, pode-se dizer que o melhor absorvedor dinâmico para este caso em particular é o que possui massa referente a 0,5% da massa da estrutura ( $m_t = 441,25\text{kg}$ ). Na análise da edificação sem o absorvedor, a amplitude da oscilação em favor do vento é aproximadamente 23% superior a com o melhor absorvedor, comparando

seus respectivos momentos de pico.

O edifício teve um maior deslocamento lateral nos pavimentos superiores, como o esperado, visto que o mesmo se comporta como um pêndulo invertido.

Apesar do edifício se deslocar mais para o lado a favor do vento, em ambos os casos, do edifício com e sem absorvedor, ele continua sofrendo um deslocamento no sentido contrário, devido à inércia da edificação. Porém o absorvedor também diminui e limita a oscilação no sentido inverso.

### 3. AGRADECIMENTOS

Aos nossos professores, em especial aos de Matemática Aplicada e Servomecanismos e Controle, por nos apresentar ferramentas para soluções dos problemas práticos.

### 4. REFERÊNCIAS

- Abé, M., 1996, "Rule-based control algorithm for active mass dampers", *Journal of Engineering Mechanics*, v. 122, n. 8, p. 705-713.
- Accioly, Márcia M. L., 2000, "Controle de Vibrações em Edifícios Submetidos à Ação de Cargas Dinâmicas", Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, João Pessoa, PB. UFPB, 148p.
- Castellani, A. et al. *Elastomeric materials used for vibration isolation of railway lines. Journal of Engineering Mechanics*, v. 124, n.6, p. 614-621, 1998.
- Clough, R. W. and Penzien, J., 1993, "Dynamics of structures", 2nd ed. Singapore: McGraw-Hill International editions.
- Gere, J. M. and WEAVER Jr., W., 1987, "Análise de estruturas reticuladas", Rio de Janeiro: Editora Guanabara S. A..
- Housner, G. W. et al. *Structural control: past, present and future. Journal of Engineering Mechanics*, v. 123, n.9, p. 897-971, 1997.
- Kawazoe, K. et al. *Beam-type dynamic vibration absorber comprised of free-free beam. Journal of Engineering Mechanics*, v. 124, n. 4, p. 476-479, 1998.
- Lopez-Yanez, P. A. e Accioly, M. M. L., 2000, "Controle de vibrações em edifícios submetidos à ação de cargas dinâmicas", I COLÓQUIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA, Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, Campus João Pessoa.
- Ogata, K., "Engenharia de Controle Moderno", 1998, 3ed., Rio de Janeiro: Prentice Hall do Brasil.
- Thomson, W. T., "Teoria das vibrações com aplicações", 1978, Rio de Janeiro: Editora Interciência.

### 5. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído nesse trabalho.

## BUILDS DINAMIC STUDY USING PORTICS WITH FOUR FLOORS WITH TMD CONTROL SYSTEM

Valentina Alessandra Carvalho do Vale, [ale.vale.ssandra@gmail.com](mailto:ale.vale.ssandra@gmail.com)<sup>1</sup>  
Fábio de Andrade Barroso, [fabiopb@ibest.com.br](mailto:fabiopb@ibest.com.br)<sup>1</sup>  
Samara Barbosa Lima, [samara\\_lima@bol.com.br](mailto:samara_lima@bol.com.br)<sup>1</sup>  
Frederico Antônio Melo do Vale, [fredvale@uol.com.br](mailto:fredvale@uol.com.br)<sup>1</sup>  
Jacques Cesar dos Santos, [jacquesles@yahoo.com.br](mailto:jacquesles@yahoo.com.br)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal da Paraíba – Campus I, Centro de Tecnologia – Bloco F, CEP 58059-900,

**Abstract:** Aiming to increase levels of comfort and safety of civil structures, the study of the dynamics of buildings and controls the vibrations of them has been a focus area of control engineering. So will study the dynamics of buildings in the form of gantry and control action that requires no external power source to generate the desired action, using the dynamics of this structure. These control systems are called dynamic vibration absorbers, which work in one system that will be positioned on a top of the concrete building of four floors, changing your mass, with the aim of analyzing their influence on the control action. For purposes of the study of dynamics, sinusoidal excitations positively displaced in the abscissa axis will be enforced with varying amplitudes and growing along the structure with natural frequency and phase equal to the same, to simulate the wind action.

**Keywords:** dynamic vibration absorbers, structure, comfort