



**Capitão-de-Mar-e-Guerra (EN) Marcos Araujo Braz de Oliveira**

Chefe do Grupo de Gerenciamento dos Projetos e de Fiscalização das Obras Civas Relativas ao PROSUB, a cargo da DOCM

*Graduado em Engenharia Civil pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal Fluminense (UFF), cursando o Doutorado em Engenharia Civil pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Especializado em Engenharia de Avaliações*



**Primeiro-Tenente (EN) Vinícius Calazans Morais**

Membro do Grupo de Gerenciamento dos Projetos e de Fiscalização das Obras Civas Relativas ao PROSUB, a cargo da DOCM

*Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Mestrando em Engenharia Civil pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)*

# EDIFÍCIO BARÃO DE LADÁRIO

## RESPOSTA DINÂMICA - UMA AVALIAÇÃO APROXIMADA

### 1. INTRODUÇÃO

O presente artigo tem como objetivo avaliar a capacidade de resistência do Edifício Barão de Ladário (EBL) à ação de ventos, quanto ao aspecto de vibração com grandes amplitudes.

O Edifício Barão de Ladário (EBL) é um prédio de propriedade da Marinha do Brasil (MB), no qual estão instaladas a Diretoria-Geral do Material da Marinha (DGMM), bem como diversas Diretorias Técnicas Especializadas, entre elas a Diretoria de Obras Civas da Marinha (DOCM).

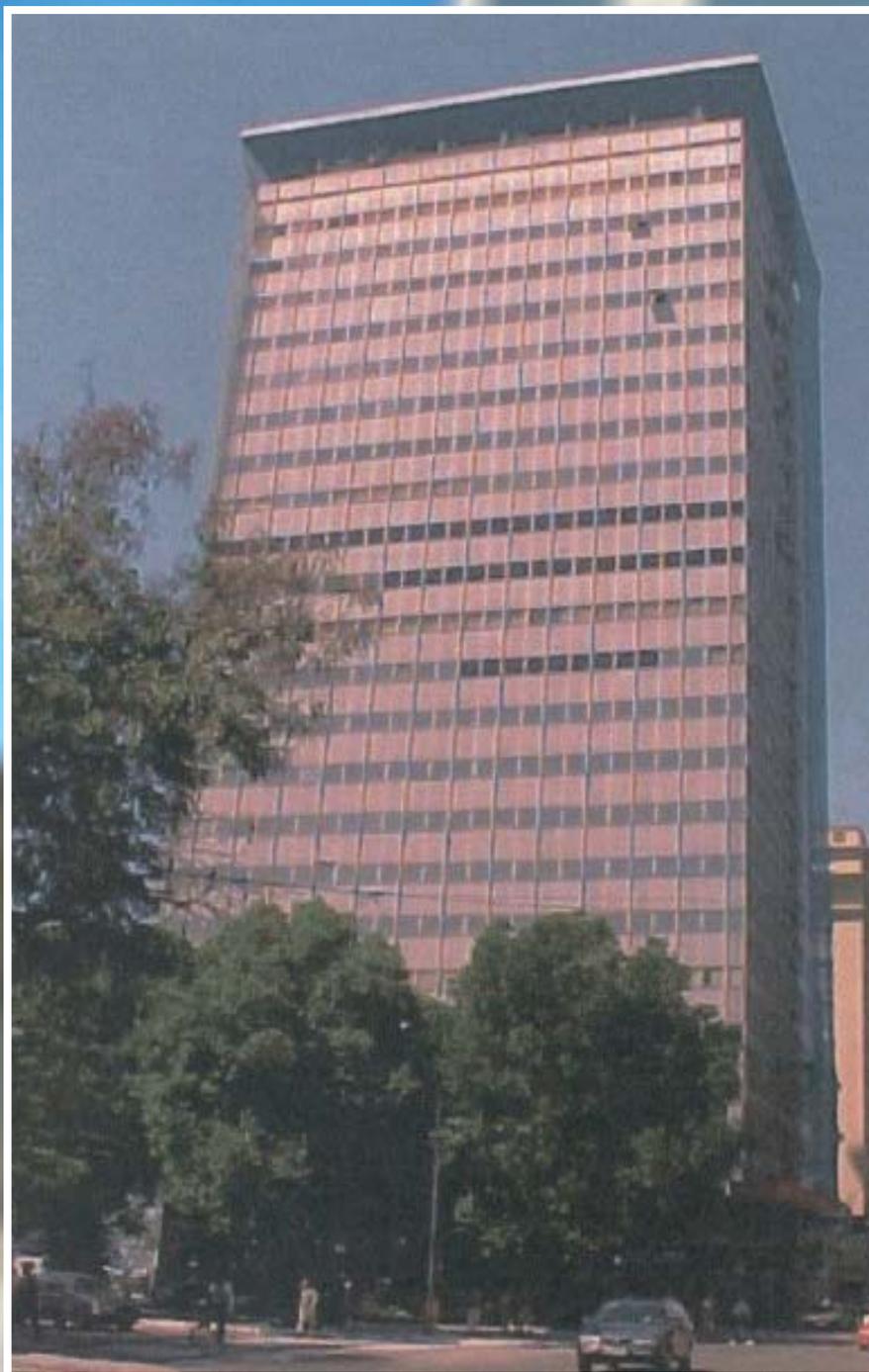


Figura 1 - EBL antes da modernização das fachadas [1] [2].

Sua construção remonta ao início da década de 70. Recentemente o EBL teve suas fachadas modernizadas, destacando-se dentre os prédios da circunvizinhança (Figuras 1 e 2)



Figura 2 - EBL após a modernização das fachadas [1] [2].



## 2. DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO

De arquitetura praticamente retangular, plano em toda a sua extensão e ao nível dos logradouros, situa-se num terreno de aproximadamente 710 m<sup>2</sup> [3].

O edifício possui uma sobreloja, dois subsolos, vinte e dois pavimentos e duas coberturas [3].

A estrutura do EBL é composta por pilares, vigas e lajes em concreto armado e paredes em alvenaria estrutural. Além disso, o edifício possui seis elevadores, uma escada interna e outra externa de emergência [3].

Figura 4 – Fachadas do EBL [2].



### 3. MODELAGEM NUMÉRICO-COMPUTACIONAL

O emprego de métodos numéricos, associados à ferramenta computacional, permite a solução de problemas complexos de engenharia, que envolvam um elevado número de variáveis, bem como uma grande quantidade de dados, em tempo reduzido [6].

Para a elaboração do modelo numérico aplicado ao EBL, foram utilizadas as técnicas usuais de discretização, via método dos elementos finitos e o programa computacional Ansys (Figura 5) [7].

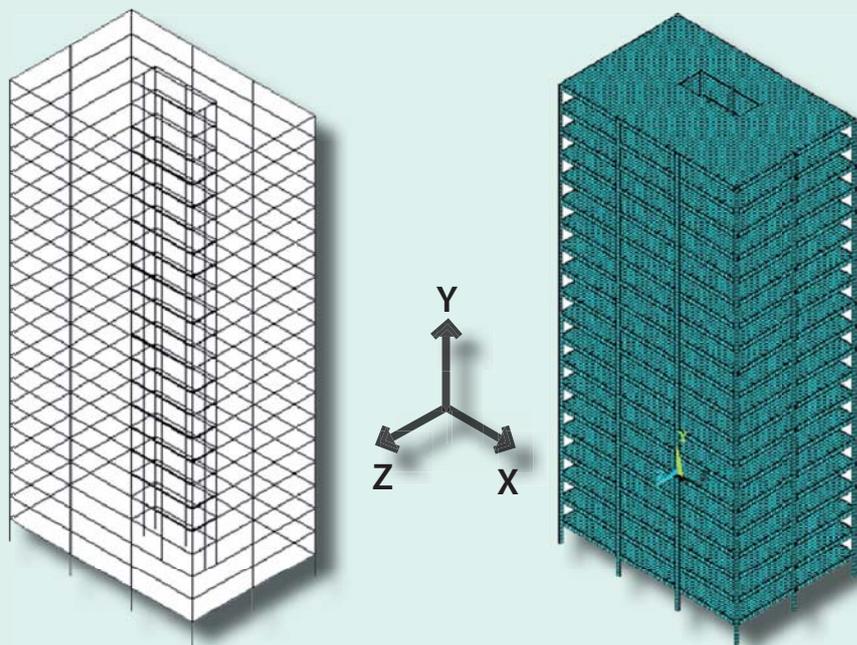


Figura 5 – Modelo numérico-computacional [7].

O modelo numérico-computacional estudado foi obtido da literatura especializada, a partir dos trabalhos desenvolvidos por Assis [8] e Filho [9], devido à similitude com o edifício real, conforme apresentado na tabela 1.

**Tabela 1** – Comparação entre o EBL e o modelo adotado [8] [9].

Edifício Barão de Ladário (EBL)		Modelo numérico-computacional	
Pavimentos tipo	22	Pavimentos tipo	20
Maior lado (m)	32,47	Maior lado (m)	30
Menor lado (m)	24,47	Menor lado (m)	20
Fck concreto	30 MPa – 40MPa	Fck concreto	30 MPa

### 4. ANÁLISE MODAL

A análise modal considera toda a massa da estrutura e sua flexibilidade para encontrar os vários períodos em que a estrutura pode naturalmente entrar em ressonância [10].

Quando um agente externo excitador (como por exemplo, a ação de ventos), fornece periodicamente energia a um sistema (no caso ao edifício), pode ocorrer a coincidência da frequência de excitação com uma das frequências naturais do sistema, no qual o correspondente modo natural de vibração

é excitado e amplificado, fazendo com que o sistema vibre com grandes amplitudes [11].

Desta forma, para que a estrutura não entre em colapso, é necessário que a frequência natural da estrutura não coincida com a frequência da excitação [11].

A ponte de Tacoma, em Puget Sound, no estado de Washington, Estados Unidos, é um exemplo prático da ocorrência deste fenômeno. Quatro meses após ser inaugurada e liberada para o tráfego, a ponte ruiu ao entrar em ressonância com

o vento [11], conforme mostrado na Figura (6).

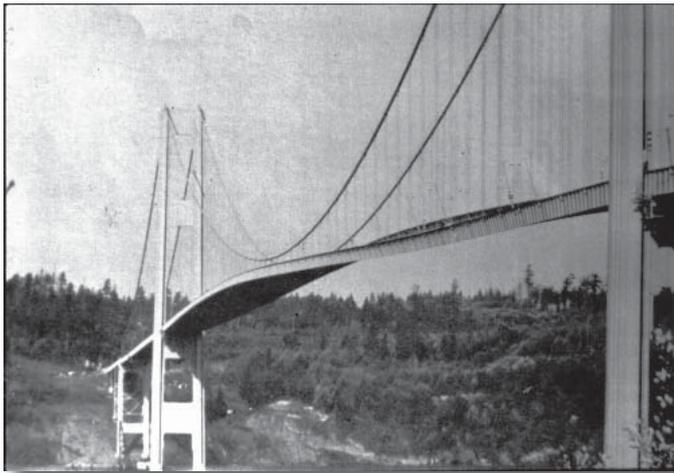


Figura 6 – Ponte de Tacoma em ressonância, 1940

### 5. ANÁLISES DAS FREQUÊNCIAS NATURAIS (AUTOVALORES)

O problema de autovalor, associado a uma análise de vibração livre, é resolvido empregando-se o programa computacional Ansys [7].

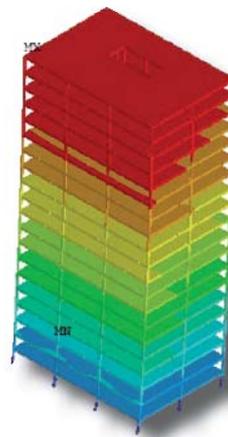
Os valores das frequências naturais foram obtidos até o décimo modo de vibração para o modelo numérico-computacional. A tabela 2 mostra os valores das frequências naturais da estrutura obtidas nas análises de vibração livre.

Tabela 2 – Frequências naturais da estrutura [7].

Frequências	Modelo numérico-computacional
f <sub>01</sub>	0,27 Hz
f <sub>02</sub>	0,29 Hz
f <sub>03</sub>	0,38 Hz
f <sub>04</sub>	0,77 Hz
f <sub>05</sub>	0,89 Hz
f <sub>06</sub>	1,11 Hz
f <sub>07</sub>	1,35 Hz
f <sub>08</sub>	1,65 Hz
f <sub>09</sub>	1,91 Hz
f <sub>10</sub>	1,92 Hz

### 6. ANÁLISES DOS MODOS DE VIBRAÇÃO (AUTOVALORES)

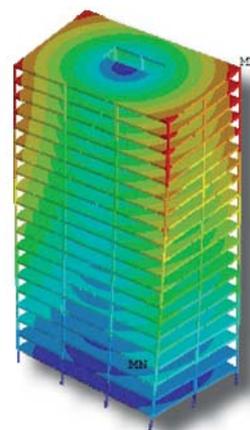
Na sequência são apresentadas as dez primeiras formas modais referentes ao modelo numérico-computacional, correspondentes às dez primeiras frequências naturais da estrutura investigada.



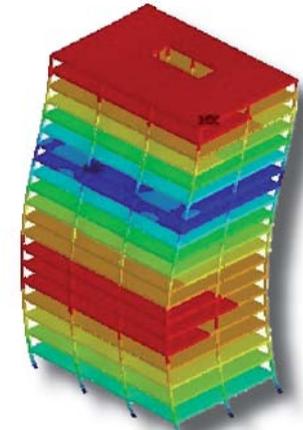
Primeiro modo de vibração  
(f<sub>01</sub> = 0,27 Hz).



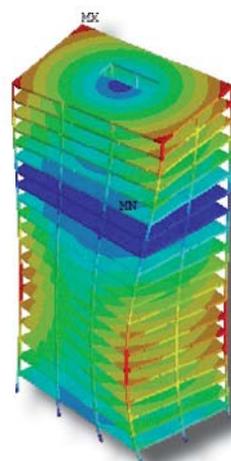
Segundo modo de vibração  
(f<sub>02</sub> = 0,29 Hz).



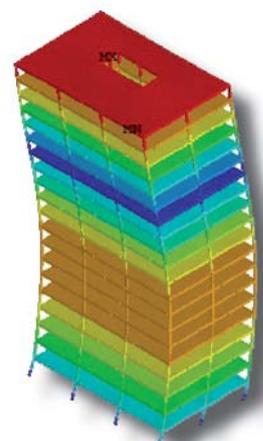
Terceiro modo de vibração  
(f<sub>03</sub> = 0,38 Hz).



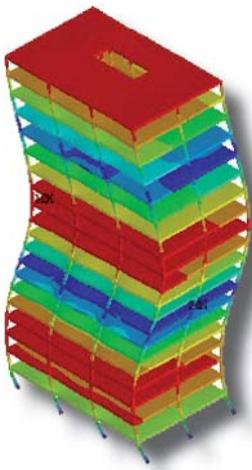
Quarto modo de vibração  
(f<sub>04</sub> = 0,77 Hz).



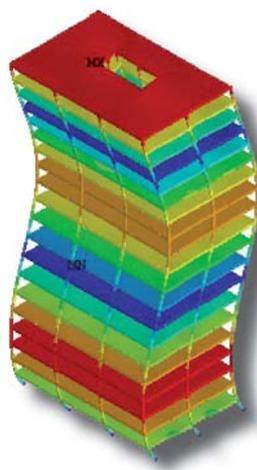
Quinto modo de vibração  
(f<sub>05</sub> = 0,89 Hz).



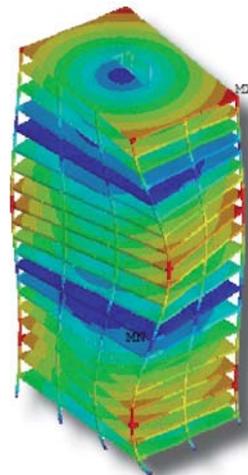
Sextoo modo de vibração  
(f<sub>06</sub> = 1,11 Hz).



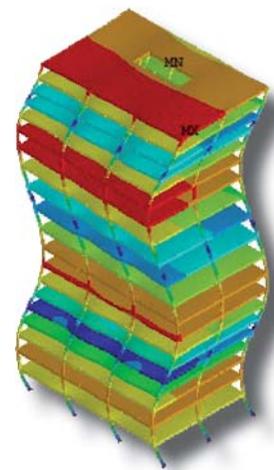
Sétimo modo de vibração  
( $f_{07} = 1,35$  Hz).



Oitavo modo de vibração  
( $f_{08} = 1,65$  Hz).



Nono modo de vibração  
( $f_{09} = 1,91$  Hz).



Décimo modo de vibração  
( $f_{10} = 1,92$  Hz).

## 7. ANÁLISE DOS RESULTADOS

As figuras anteriores apresentaram os dez primeiros modos de vibração da estrutura. Analisando-se as figuras, verifica-se que, no primeiro modo de vibrar, há a preponderância dos efeitos de flexão em relação ao eixo z (eixo paralelo ao menor lado da edificação).

Enquanto que, no segundo modo de vibração, predomina os efeitos de flexão em relação ao eixo x (eixo paralelo ao maior lado da edificação).

O terceiro modo de vibrar apresenta preponderância dos efeitos de torção em relação ao eixo y (eixo vertical).

Continuando a análise, observou-se que, no quarto modo de vibração, há novamente a preponderância dos efeitos de flexão em relação ao eixo z. Em virtude disso, pode-se afirmar que, este é o segundo modo de flexão relativo ao primeiro modo de vibração.

De maneira similar, tem-se para o quinto e sexto modos de vibrar a preponderância dos efeitos de flexão em relação ao eixo x (segundo modo de flexão relativo ao segundo modo de vibração), e a preponderância dos efeitos de torção em relação ao eixo vertical y (segundo modo de torção relativo ao terceiro modo de vibração), respectivamente.

Para o sétimo modo de vibrar, há preponderância dos efeitos de flexão em relação ao eixo z, representando o terceiro modo de flexão relativo ao primeiro modo de vibração.

Além disso, verificou-se que, no oitavo modo

de vibração, houve preponderância dos efeitos de flexão em relação ao eixo x, sendo este o terceiro modo de flexão relativo ao segundo modo de vibração.

No nono modo de vibração ocorreu a preponderância dos efeitos de flexão em relação ao eixo z (quarto modo de flexão relativo ao primeiro modo de vibração).

E, finalmente, no décimo modo, houve preponderância dos efeitos de torção em relação ao eixo vertical y, representando o terceiro modo de torção relativo ao terceiro modo de vibração.

## 8. CONCLUSÃO

A similaridade entre as características geométricas do modelo numérico-computacional e do edifício Barão de Ladário, levou a adoção do mesmo, servindo como uma boa aproximação para o modelo real. O modelo numérico-computacional foi então analisado quanto aos possíveis modos de vibrar da estrutura.

A análise modal tem por objetivo verificar a resposta dinâmica de uma estrutura submetida à uma força excitadora (i.e. vento, terremoto, etc). Os resultados permitiram avaliar o provável comportamento dinâmico do edifício Barão de Ladário quando submetido à excitação do vento. Os efeitos preponderantes resultantes das análises foram os de flexão em relação ao menor e ao maior lado do edifício, além do efeito da torção em relação ao eixo vertical da edificação.

Pode ser constatado que o EBL é seguro quanto à ação dos ventos que historicamente ocorrem na região onde está localizado.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1]. Informativo DOCM. *Modernização das fachadas do edifício Barão de Ladário*. Rio de Janeiro: s.n., 06 08, 2009. Vol. 1, Diretoria de Obras Civis da Marinha. 1.

[2]. <http://www.insitearquitetos.com.br>. *Insite Arquitetos*. [Online] 2004. [Cited:0513,2013.] <http://www.insitearquitetos.com.br/pt-BR/projects/retrofit-edificio-barao-de-ladario>.

[3]. Laudo de avaliação da Bolsa de Imóveis do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro : s.n.

[4]. DPHDM. [http://www.mar.mil.br/dphdm/c\\_chegar/chegar\\_hist.htm](http://www.mar.mil.br/dphdm/c_chegar/chegar_hist.htm). *Como chegar - Historia marítima e naval*. [Online] [Cited: 05 27, 2013.]

[5]. DOCM. Plano do dia n.110. *A tecnologia mais moderna em elevadores presente neste edifício*. Rio de Janeiro: Diretoria de Obras Civis da Marinha, JUN 26, 2013.

[6]. Wikipedia. *Modelagem computacional*. [Online] [Cited: 06 30, 2013.] [http://pt.wikipedia.org/wiki/Modelagem\\_computacional](http://pt.wikipedia.org/wiki/Modelagem_computacional).

[7]. ANSYS, Inc. ANSYS Multiphysics. version 12.1 2009.

[8]. ASSIS, V. M. Análise de edifícios de andares múltiplos com estrutura metálica. Belo Horizonte : Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2001.

[9]. FILHO, G. da S. Estudo do comportamento dinâmico de edifícios mistos (aço-concreto). Rio de Janeiro : Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2012.

[10].Wikipedia. *Análise Modal*. [Online] [Cited: 06 30, 2013.] [http://pt.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lise\\_modal](http://pt.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lise_modal).

[11]. FILHO, A. A. *Elementos de tecnologia CAE / análise dinâmica*. São Paulo : Érica Ltda, 2005.

