



18 a 21 de novembro de 2014, Caldas Novas - Goiás

VIBRAÇÕES: AS FREQUÊNCIAS NATURAIS ESTIMADA E EXPERIMENTAL DE UMA ESTRUTURA

C.C. Bolina, ceciliabolina@bol.com.br¹

E. U. L. Palechor, erwin@aluno.unb.br²

M. P. R. Vásquez, mprv74@hotmail.com²

W. G. Nicacio, wanderlev.nicacio@gmail.com²

M. P. D. Gutierrez, mpazduque@gmail.com²

A. A. O. Lopez, macaleom@hotmail.com²

¹Pontifícia Universidade Católica de Goiás – Docente no Departamento de Engenharia Civil. Endereço: Av., Universitária 1.440, Setor Universitário, Goiânia-GO, CEP: 74.605-010.

²Universidade de Brasília – Departamento de Engenharia Civil. Doutorandos de Estruturas e Construção Civil. Bolsistas do CNPq e Capes. Endereço: Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília - CEP 70.910-900.

Resumo: Nas últimas décadas a engenharia estrutural tem registrado diversos casos de problemas de vibrações em estruturas sob a ação de carregamentos dinâmicos. A análise dinâmica pode ser caracterizada através de três propriedades fundamentais: os modos naturais de vibração, os fatores de amortecimento, e as frequências naturais da estrutura. A análise modal é o processo constituído de técnicas teóricas e experimentais que possibilitam a construção de um modelo matemático representativo do comportamento dinâmico do sistema em estudo, a fim de determinar os seus parâmetros modais. As frequências naturais indicam a taxa de oscilação livre da estrutura, depois de cessada a força que provocou o seu movimento. Em palavras similares, representa o quanto a estrutura vibra quando não há força aplicada sobre ela. Esta frequência é função direta da rigidez, e inversa da massa da estrutura, sendo designada por um número real positivo, e cuja unidade mais comum é o Hertz. Uma estrutura possui diversas frequências naturais pois ela pode vibrar livremente (após ter sido excitada por uma força) em diversas direções. A frequência natural mais importante é a primeira, menor entre todas, designada por fundamental. É importante ressaltar que, em estruturas convencionais, a primeira frequência é sempre a mais preponderante ao movimento oscilatório, sendo os demais modos de vibração insignificantes frente a este. Os modos de vibração são a forma como a estrutura vibra, relacionada a cada uma de suas frequências naturais. Ou seja: para cada frequência natural existe um modo de vibração específico, ou um perfil de vibração. O objetivo do presente trabalho é comparar os resultados obtidos por meio de cálculo analítico e via análise experimental do comportamento de uma estrutura submetida às vibrações para validação do modelo. O modelo experimental é formado por um pórtico suportando determinada massa, e assim, foi observado o seu desempenho dinâmico.

Palavras-chave: Frequência natural, aceleração, vibração.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas a engenharia estrutural tem registrado diversos casos de problemas de vibrações em estruturas sob a ação de carregamentos dinâmicos haja vista que houve ao longo dos anos execução de estruturas cada vez mais esbeltas, flexíveis e com menores seções transversais, portanto, mais suscetíveis às ações de natureza dinâmica (Varela, 2004; Silva e Vasconcelos, 2010).

A análise dinâmica pode ser caracterizada através de três propriedades fundamentais: os modos naturais de vibração, os fatores de amortecimento, e as frequências naturais da estrutura.

A análise modal é o processo constituído de técnicas teóricas e experimentais que possibilitam a construção de um modelo matemático representativo do comportamento dinâmico do sistema em estudo, a fim de determinar os seus parâmetros modais. As frequências naturais indicam a taxa de oscilação livre da estrutura, depois de cessada a força que provocou o seu movimento. Em palavras similares, representa o quanto a estrutura vibra quando não há força aplicada sobre ela. Esta frequência é função direta da rigidez, e inversa da massa da estrutura, sendo designada por um número real positivo, e cuja unidade mais comum é o Hertz. Uma estrutura possui diversas frequências naturais pois ela pode vibrar livremente (após ter sido excitada por uma força) em diversas direções. A frequência natural mais importante é a primeira, menor entre todas, designada por fundamental (Nóbrega; Hanai, 2005).

É importante ressaltar que, em estruturas convencionais, a primeira frequência é sempre a mais preponderante ao movimento oscilatório, sendo os demais modos de vibração insignificantes frente a este.

Os modos de vibração são a forma como a estrutura vibra, relacionada a cada uma de suas frequências naturais. Ou seja: para cada frequência natural existe um modo de vibração específico, ou um perfil de vibração.

2. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

O pórtico ensaiado foi construído a partir de 4 (quatro) barras de alumínio e 2 (duas) réguas de aço (Fig. 1).



Figura 1 – Foto do pórtico ensaiado.

Na Figura 2 é apresentado o esquema de configuração do pórtico, bem como suas coordenadas consideradas. As dimensões do pórtico estão representadas na Fig. 3.

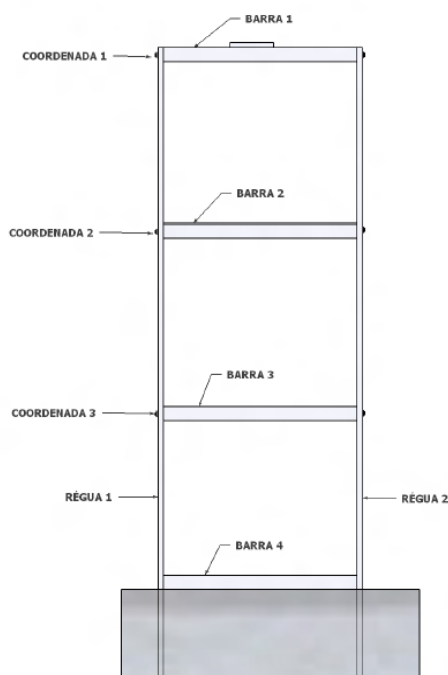


Figura 2 – Configuração do pórtico ensaiado.

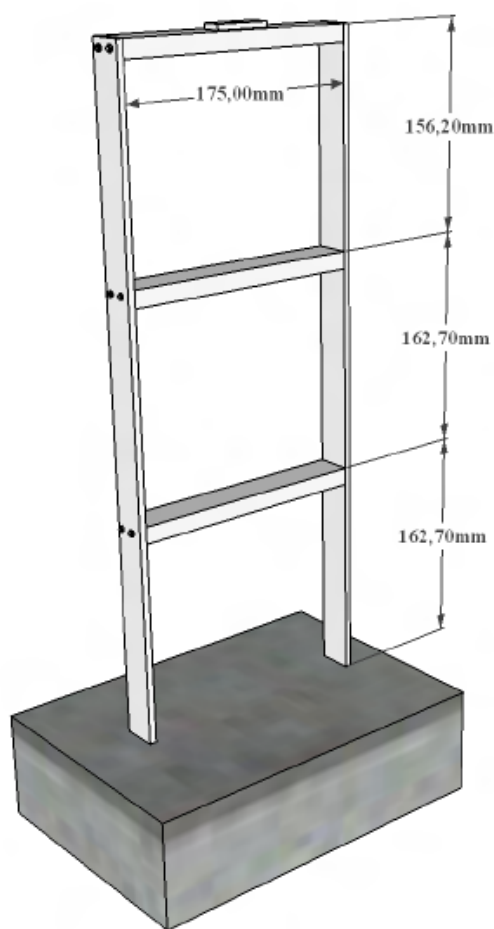


Figura 3 - Dimensões do pórtico

Para realização do ensaio, o pórtico foi fixado, por meio de parafusos, a um bloco de concreto de aproximadamente 50 Kg. Na coordenada (2) foi adicionada uma massa adicional com cerca de 210 g. Foi utilizado um acelerômetro piezoelétrico (Fig. 4) na coordenada (1) e os sinais provenientes foram adquiridos por meio de um equipamento de aquisição de dados. Mais detalhes sobre podem ser vistos nos procedimentos experimentais.



Figura 4 - Acelerômetro Piezoelétrico.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O pórtico foi fixado, por meio de parafusos, a um bloco de concreto com cerca de 50 kg apoiado sobre uma borracha a fim de evitar a vibração da base. Na coordenada (2) foi adicionada uma massa adicional com cerca de 210 g. Foi utilizado um acelerômetro piezoelétrico fixado à coordenada (1) do pórtico com massa de aproximadamente 10 g. Este acelerômetro foi ligado a um amplificador de sinal que por sua vez estava ligado a um equipamento de aquisição de dados.

Os sinais provenientes do acelerômetro instalado no pórtico foram adquiridos por meio do equipamento ADS 2000 que é fabricado no Brasil, pela Lynx Tecnologia Eletrônica, sediada em São Paulo. Cada unidade deste equipamento é constituída por um controlador de aquisição de sinais (driver) AC2122 e por 2 (dois) módulos de expansão (placas condicionadoras de sinais) AI2164-VA com 16 (dezesseis) canais cada (32 canais em cada unidade), conforme Fig. 5. O

equipamento é controlado por computador, via conexão Ethernet 10BaseT (10Mbps), com o programa AqDados 7, que controla a aquisição e a análise dos sinais.

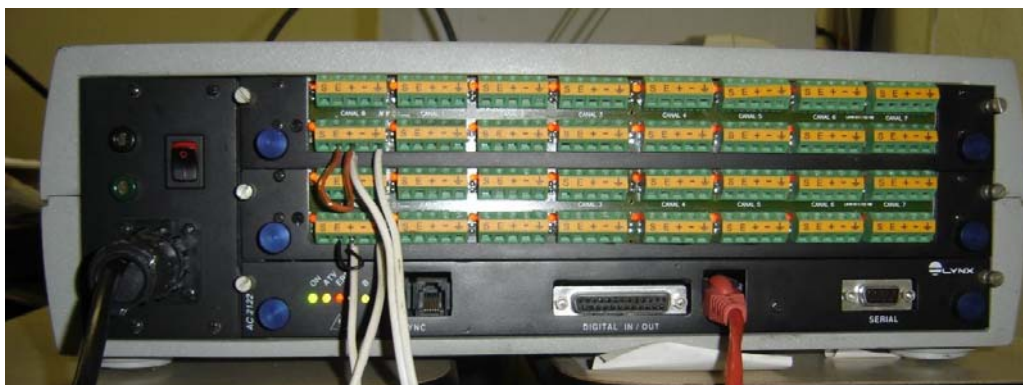


Figura 5 - Condicionador de sinais AI2164 (Lynx, 2013).

As Figuras 6 e 7 mostram alguns aspectos do equipamento e do software AqDados.

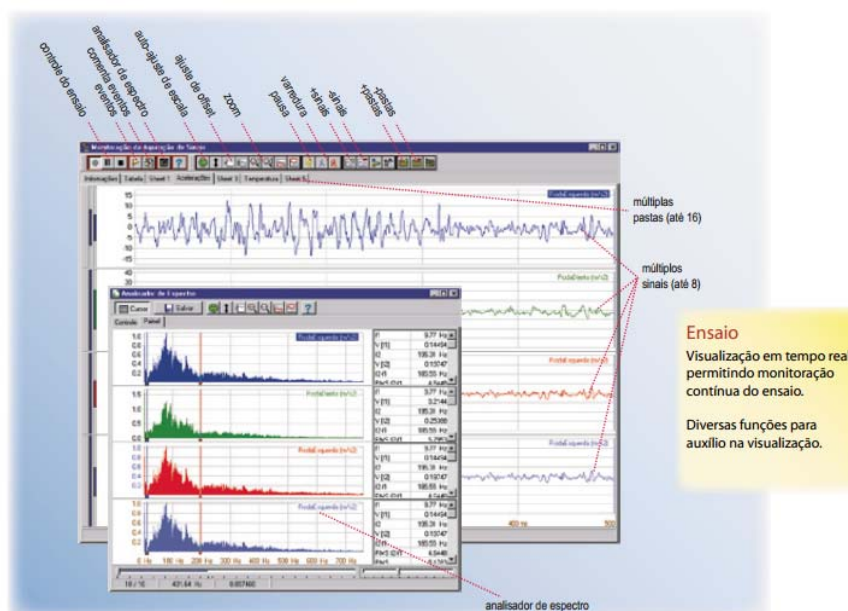


Figura 6 - Tela AqDados 7 para visualização em tempo real do ensaio (Lynx, 2013).

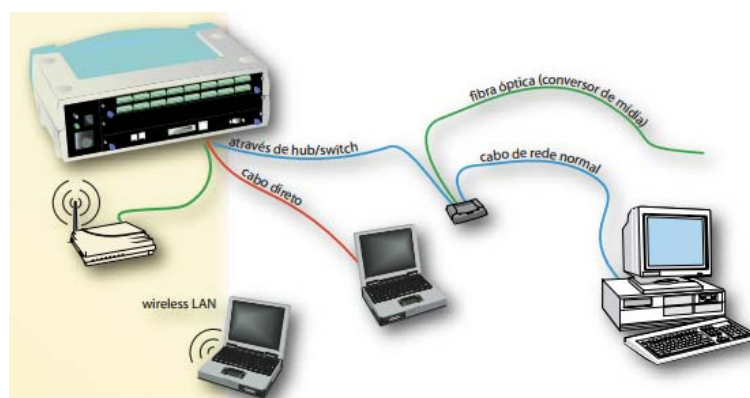


Figura 7 - Esquema de ligação ADS 2000 (Lynx, 2013).

Foram realizados dois ensaios no pórtico de vibração livre sendo pórtico excitado por meio de impacto na coordenada (2). O equipamento de aquisição foi configurado para adquirir os registros provenientes de um canal. A

frequência de amostragem adotada foi de 200 Hz ($1/\Delta t$), a frequência de corte ou de Nyquist foi de 100 Hz ($1/2\Delta t$) e a duração de cada ensaio foi de 15 s.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1. Resultados Analíticos

Para os cálculos analíticos foram consideradas as informações que constam na dissertação de Brasiliano (2005). A matriz de massa, M , do pórtico leva em consideração, além das massas das barras e das réguas, as do acelerômetro usado no ensaio, do suporte metálico e dos parafusos que fixavam as barras às réguas. Os valores das massas consideradas no cálculo e as propriedades físicas dos elementos encontram-se respectivamente nas Tab. 1 e 2.

Tabela 1 – Massas dos elementos

Peças	Massas (Kg)
Barra 1	0,15941
Barra 2	0,15938
Barra 3	0,15903
Barra 4	0,15892
Régua 1	0,10503
Régua 2	0,10469
Suporte	0,11880
Massa adicional	0,21000
Parafuso	0,00242
Acelerômetro	0,01000

Tabela 2 – Propriedades Físicas

Réguas	
E (N/m^2)	2,06E+11
I (m^4)	3,22E-12
L ₁ (m)	0,1562
L ₂ (m)	0,1627
L ₃ (m)	0,1627

Onde:

E: Módulo de Elasticidade;

I: Inércia.

O pórtico foi considerado do tipo *shear building*, em que a rigidez das barras, que constituem os pavimentos é considerada infinita em relação à rigidez das réguas.

O gráfico dos modos de vibração é apresentado nas Fig. 8 a 10.

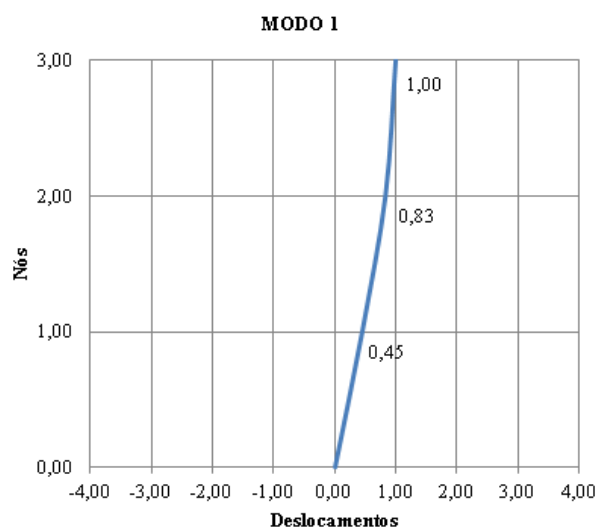


Figura 8 - Curva do modo de vibração para a coordenada 1.

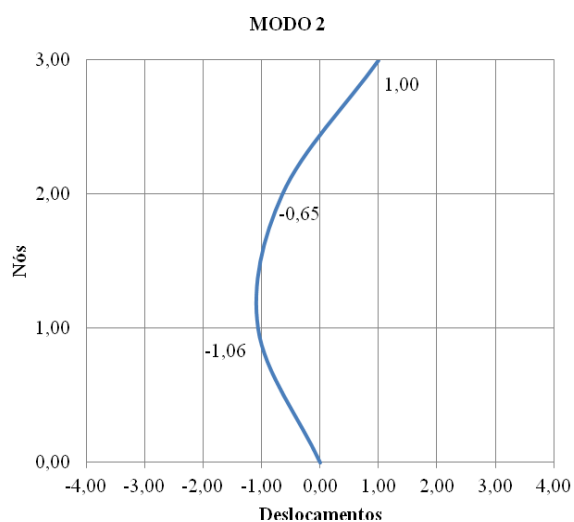


Figura 9 - Curva do modo de vibração para a coordenada 2.

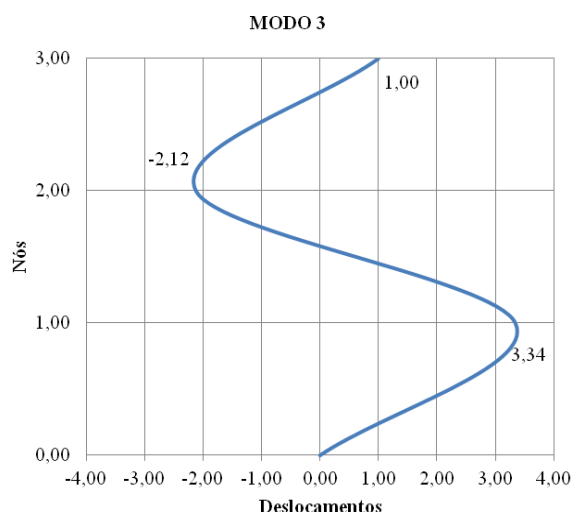


Figura 10 - Curva do modo de vibração para a coordenada 3.

4.2. Resultados Experimentais

Os ensaios experimentais foram divididos em dois testes que consistiram em duas repetições para cada medida. As frequências do pórtico ensaiado para os dois testes estão representadas na Tab. 3 e a representação gráfica de sua amplitude versus tempo podem ser visualizadas na Fig. 11 e 12.

Tabela 3 - Dados experimentais

Frequências (Hz)	Teste 1	Teste 2	Média
	7,42	7,42	7,42
	23,93	23,83	23,88
	34,08	33,98	34,03

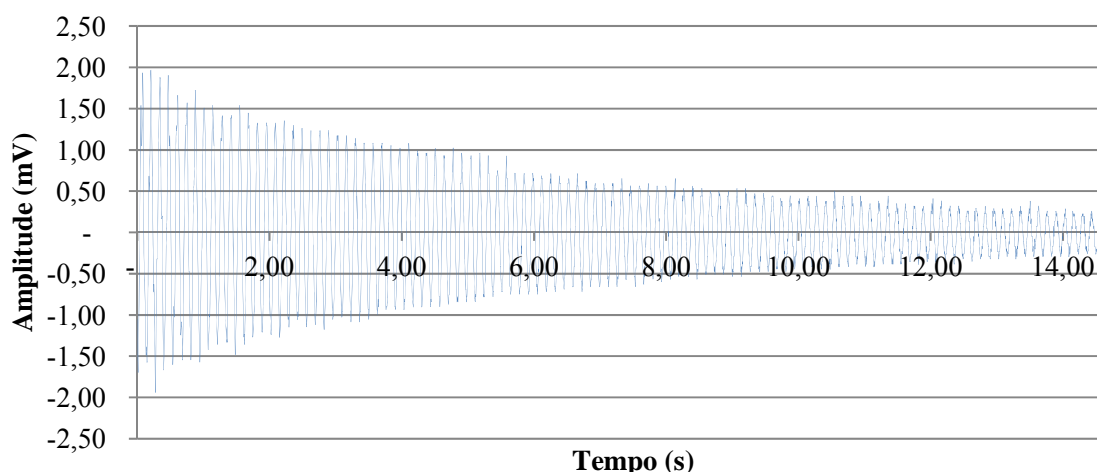


Figura 11 - Resposta do sistema devido impulso teste 1.

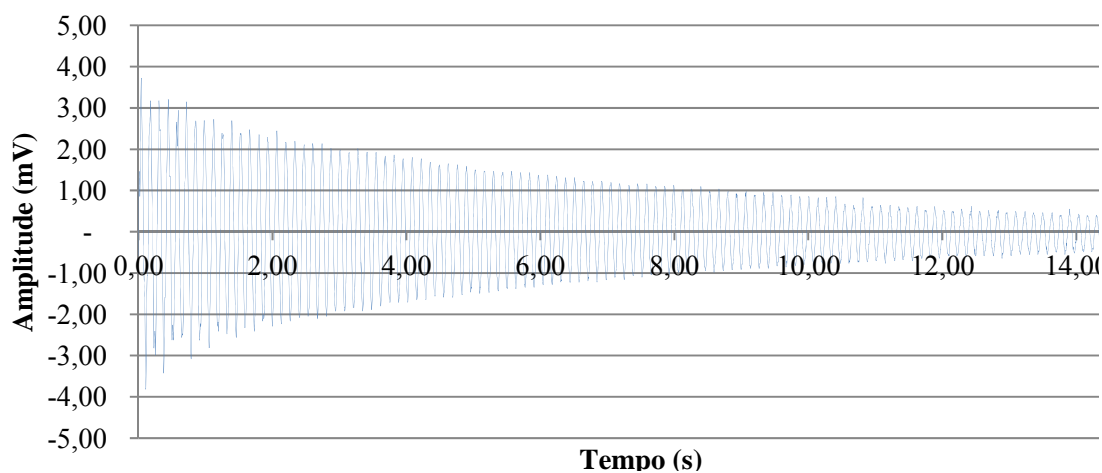


Figura 12 - Resposta do sistema devido impulso teste 2.

4.3. Análise Comparativa

A partir dos registros de aceleração e verificações analíticas, adquiridos na coordenada (1), foram identificadas as frequências naturais do pórtico. Os resultados obtidos para as frequências encontram-se na Tab. 4.

Neste ensaio, observa-se que, as frequências naturais obtidas experimentalmente encontram-se bem próximas das analíticas. O maior erro relativo foi encontrado para a frequência 3 com valor de 8,07% e o menor foi obtido para a frequência 1 (1,09%).

Tabela 4- Análise comparativa

	Experimental	Analítico	Erro (%)
Frequências (Hz)	7,42	7,34	1,09
	23,88	22,87	4,42
	34,03	31,49	8,07

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No pórtico ensaiado foram realizados dois ensaios de vibração livre sujeito a um impacto na coordenada dois do pórtico. Aos registros de acelerações, obtidos nos dois ensaios, foram obtidas as três primeiras frequências naturais da estrutura.

Considerando estes ensaios de vibração livre, foram obtidas satisfatoriamente as frequências de vibração do pórtico, apresentando valores muito próximos dos analíticos, com valores de erro variando de 1,09% a 8,07%, para a primeira e terceira frequência respectivamente.

No entanto, sugere-se que sejam analisadas experimentalmente as frequências para outros tipos de excitação inicial, como deslocamento inicial, além de variar a coordenada de excitação.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos Professores José Luiz Vital de Brito e Yosiaki Nagato pelo auxílio durante os ensaios experimentais.

REFERÊNCIAS

- Brasiliano, A. Identificação de Sistemas e Atualização de Modelos Numéricos com vistas à Avaliação da Integridade Estrutura. Doutorado em Estruturas e Construção Civil. Universidade de Brasília, UNB, Brasília. 2005.
- Lynx. Aquisição de dados. Disponível em: <http://www.lynxtec.com.br>. Acesso em: 10 de Setembro de 2013.
- Nóbrega, P.G.B.; Hanai, J.B. A Análise Modal na Avaliação de Estruturas de Concreto Pré-moldado. 1o. Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto pré-moldado.. São Carlos, 2005.
- Varela, W.D. Modelo teórico-experimental para análise de vibrações induzidas por pessoas caminhando sobre lajes de edifícios. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2004.
- Silva, W.Q.; Vasconcelos, R.P. Desenvolvimento de uma ferramenta numérica em linguagem Delphi via método dos elementos finitos para análise de estruturas de placa submetidas a carregamentos dinâmicos. Mecânica Computacional Vol XXIX, págs. 1729-1746. Buenos Aires, Argentina, 15-18 Novembro, 2010.

RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores Bolina, Palechor, Vásquez, Nicacio, Gutierrez e Lopez são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

VIBRATIONS: NATURAL FREQUENCIES OF A FRAME ESTIMATED ANALYTICALLY AND EXPERIMENTAL

C.C. Bolina, ceciliabolina@bol.com.br¹
E. U. L. Palechor, erwin@aluno.unb.br²
M. P. R. Vasquez, mprv74@hotmail.com²
W. G. Nicacio, anderley.nicacio@gmail.com²
M. P. D. Gutierrez, mpazduque@gmail.com²
A. A. O. Lopez, macaleom@hotmail.com²

¹ Pontifical Catholic University of the Goiás - Lecturer in the Department of Civil Engineering. Address: Av. University, number 1440, University Sector, Goiania-GO, CEP: 74.605-010.

²University of the Brasilia – Department of Civil Engineering. Doctoral Structures and Construction. Fellows of CNPq and Capes. Address: Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasilia - CEP 70.910-900.

Abstract. *Over the past decades the structural engineering has recorded several cases of vibration problems in structures under the action of dynamic loads. The dynamic analysis can be characterized by three fundamental properties: the mode shapes, damping factors and natural frequencies of the structure. The modal analysis is the process consists of theoretical and experimental techniques which enable the construction of a mathematical model representing the dynamic behavior of the system under study in order to determine its modal parameters. The natural frequencies indicate the rate of free oscillation of the structure, after having interrupted the force causing the movement. In similar words, is how the structure vibrates when there is no force applied on it. This frequency is a direct function of the stiffness and the inverse mass of the structure, being designated by a positive real number, and whose most common unit is the Hertz. A framework has several natural frequencies because it can vibrate freely (after being excited by a force) in several directions. The most important natural frequency is the first, lowest of all, designated as fundamental. Is worth noting that, in conventional structures, the first frequency is always the most prominent to the oscillatory motion, and the other vibration modes are insignificant compared to this. The mode shapes is how the structure vibrates related to each of its natural frequencies. That is, for each frequency there exists a natural vibration mode specific profile or vibration. The objective of this study is to compare the results obtained by analytical calculation and through experimental analysis of the behavior of a structure subjected to vibration for model validation. The experimental model is formed by a frame supporting certain mass, and thus its dynamic performance will be observed.*

Keywords: *Natural frequency, acceleration, vibration.*