



MONITORAÇÃO EXPERIMENTAL DINÂMICA E MODELAGEM NUMÉRICA DE PASSARELAS DE PEDESTRES MISTAS (AÇO-CONCRETO) SUBMETIDAS AO CAMINHAR HUMANO

Irwing Aguiar Ribeiro da Silva

iwng@msn.com

Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, PGECIV/FEN/UERJ

Rua São Francisco Xavier, Nº 524, Maracanã, 20550-900, Rio de Janeiro/RJ, Brasil

José Guilherme Santos da Silva

jpgss@uerj.br

Departamento de Estruturas e Fundações, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ

Rua São Francisco Xavier, Nº 524, Maracanã, 20550-900, Rio de Janeiro/RJ, Brasil

Resumo. *Este trabalho de pesquisa tem por objetivo o desenvolvimento de uma metodologia de análise para o estudo do comportamento dinâmico de passarelas de pedestres em aço e mistas (aço-concreto), com base na realização de testes experimentais e modelagem numérica. Para tal, considera-se neste estudo o projeto real e existente de uma passarela de pedestres do tipo mista (aço-concreto) que possui dois vãos contínuos com comprimento de 29,5m e 24m, respectivamente, apresentando uma extensão total de 53,5m. O modelo estrutural situa-se na Avenida Osvaldo Aranha (Radial Oeste), via de grande importância e intensa circulação, próxima ao novo estádio do Maracanã, na cidade do Rio de Janeiro/RJ, Brasil. Inicialmente, para a modelagem numérica do sistema são empregadas técnicas usuais de discretização, via método dos elementos finitos (MEF), por meio do programa ANSYS. Em seguida, a monitoração experimental dinâmica (análise modal experimental e testes de vibração forçada) é realizada sobre o modelo analisado, de maneira a avaliar o comportamento dinâmico da passarela e, ainda, para calibrar os resultados obtidos numericamente. Deste modo, com base na metodologia de análise desenvolvida neste estudo, a resposta estrutural dinâmica da passarela investigada (frequências naturais e acelerações de pico) é comparada com os valores limites propostos por normas e recomendações de projeto, objetivando uma avaliação do desempenho da estrutura, no que diz respeito ao conforto humano e, também, ao problema de vibrações excessivas.*

Palavras-chave: *Passarelas de pedestres, Monitoração experimental, Conforto humano.*

CILAMCE 2017

1 INTRODUÇÃO

A análise de vibrações em passarelas de pedestres tem se mostrado uma etapa cada vez mais necessária dentre as que constituem um projeto desse tipo de estrutura. Vale destacar que o uso de materiais mais resistentes gera estruturas mais leves e esbeltas e, com isso, aproxima as frequências naturais de vibração às de excitação, como, principalmente, o caminhar de pedestres (Debona, 2016).

Assim sendo, pretende-se com este trabalho de pesquisa desenvolver uma metodologia de análise para o estudo do comportamento dinâmico de passarelas de pedestres em aço e mistas (aço-concreto), com base na realização de testes experimentais e modelagem numérica. Para tal, será considerada como modelo para estudo de caso uma passarela de pedestres, real e existente, do tipo mista (aço-concreto) localizada na cidade do Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Inicialmente, foi realizada análise modal experimental, de maneira a avaliar o comportamento dinâmico da estrutura em vibração livre, e numérica, através de técnicas usuais de discretização, via método dos elementos finitos (MEF), por meio do uso do programa ANSYS. Com os resultados modais experimentais e numéricos, foi possível realizar uma calibração do modelo desta passarela. Em seguida, foram realizados ensaios experimentais, “in loco”, de vibração forçada devido ao caminhar de pedestres com diferentes frequências de passo e, em um caso, vários pedestres aleatórios com o objetivo de verificar a influência dessa no modo de vibrar da estrutura, quantitativa e qualitativamente.

Por fim, será feita uma análise do conforto segundo os procedimentos dos guias HIVOSS (2008) e SÉTRA (2006) no que tange as vibrações devidas à flexão na direção vertical. Ainda neste tópico, acelerações obtidas experimentalmente “in loco” serão comparadas com os resultados desses guias de projeto.

2 MODELO ESTRUTURAL

O modelo estrutural investigado neste trabalho de pesquisa refere-se a um projeto real e existente (Fig. 1), situado na Avenida Osvaldo Aranha (Radial Oeste), via de grande importância e intensa circulação, próxima ao novo estádio do Maracanã, na cidade do Rio de Janeiro/RJ, Brasil (Silva, 2017).



Figura 1. Situação da passarela (Imagem de satélite).

Fonte: CadLog (Cadastro de logradouros) em Mapas digitais da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro.

O modelo estrutural é do tipo misto (aço-concreto) e possui dois vãos contínuos com comprimento de 29,5m e 24m, respectivamente, apresentando uma extensão total de 53,5m, Fig. 2. O trecho investigado neste estudo situa-se sobre a pista Avenida Osvaldo Aranha (Radial Oeste) sentido Maracanã, adjacente ao prédio da Previdência Social, com vão de 29,5m de extensão, reforçado com perfis de aço soldados à mesa inferior de cada uma das longarinas originais da passarela. O prédio da Previdência Social fica isolado para os pedestres que chegam ao local pela via sentido Centro, o que reforça a importância da passarela, Fig. 1.



Figura 2. Vista do trecho analisado ao lado do prédio da Previdência Social (à esquerda).

O projeto da passarela foi cedido pela Coordenadoria Geral de Projetos (CGP) da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro (Silva, 2017). Como pode ser observado na Fig. 2, anteriormente um pilar dividia o vão reforçado de 29,5m. Ressalta-se que não foi confirmada pela CGP a razão da não existência do pilar conforme o projeto e nem que o reforço estrutural tenha sido consequência desse fato (Silva, 2017). Cabe destacar que o modelo possui infra e mesoestrutura em concreto armado e superestrutura totalmente em aço, Figs. 1 e 2.

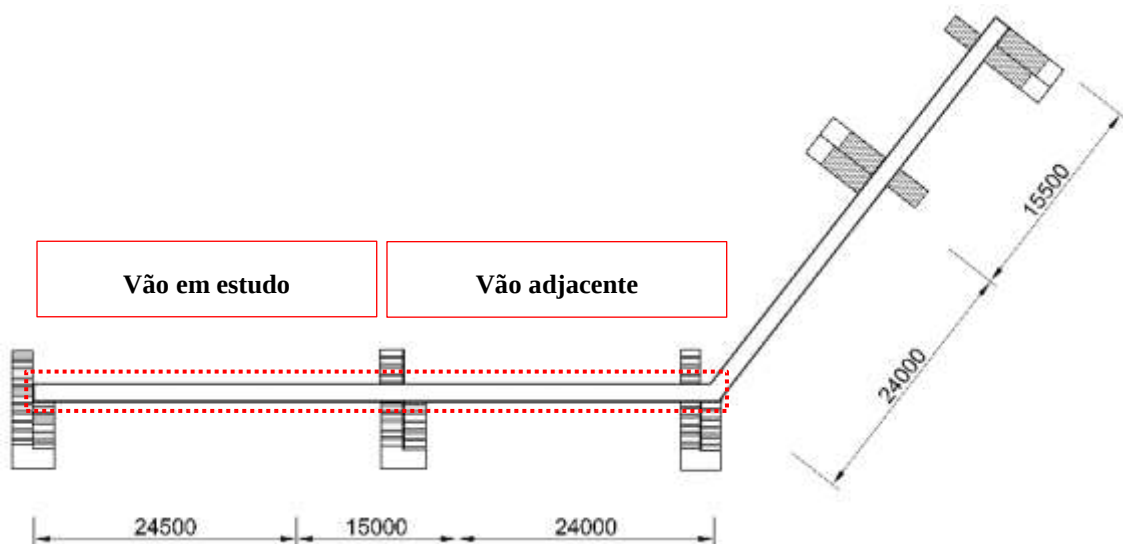


Figura 3. Projeto da Passarela. Vista Superior: trecho analisado em vermelho.
Adaptado de DNER,1973. Medidas em mm.

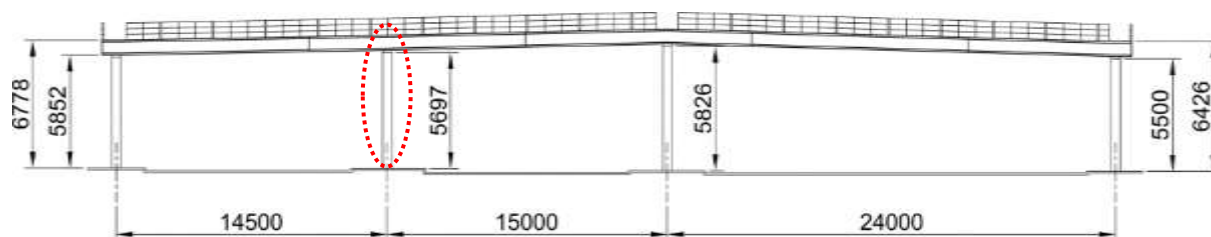


Figura 4. Projeto da Passarela – Vista longitudinal: trecho analisado onde, assinalado em vermelho, é mostrado o pilar ausente, que dividiria o vão reforçado em dois.
Adaptado de DNER, 1973. Medidas em mm.

As longarinas da passarela são formadas por perfis metálicos de chapas soldadas, conforme Fig. 5, cujas mesas possuem 300mm de largura com 5/16" (7,94mm) de espessura e a alma, 775mm x 1/2" (12,7mm). Os contraventamentos transversais das longarinas são constituídos por perfis cantoneiras de abas iguais L 2 1/2" x 2 1/2" x 1/4". As chapas de piso são do tipo xadrez com espessura de 5/16". Nas longarinas sobre cada pilar existem chapas enrijecedoras de alma com espessura de 5/16". Adicionalmente, como reforço estrutural, foram soldados sob cada longarina dois perfis I 12"x60,6 do tipo americano.

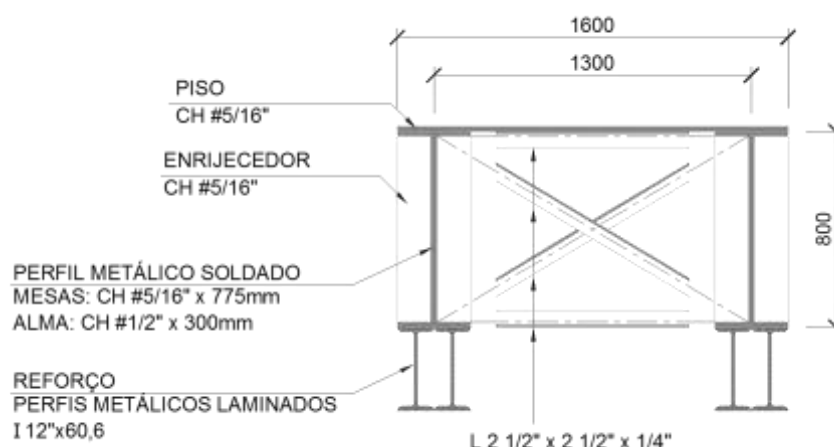


Figura 5. Seção transversal típica



Figura 6. Reforço das longarinas perfis duplo I americano 12"x60,6.

3 MODELO EM ELEMENTOS FINITOS

Com base no emprego no método de elementos finitos, um modelo numérico computacional representativo da estrutura foi desenvolvido, a partir do programa ANSYS (2007). Na Fig. 7, são apresentadas as vistas isométrica e longitudinal do modelo em questão. Os perfis metálicos das longarinas, dos perfis de reforço, as chapas de reforço de alma e as chapas de piso foram modelados com elementos de casca SHELL63 e os contraventamentos, com elementos de viga BEAM44. Mais detalhes são apresentados na Fig.8.

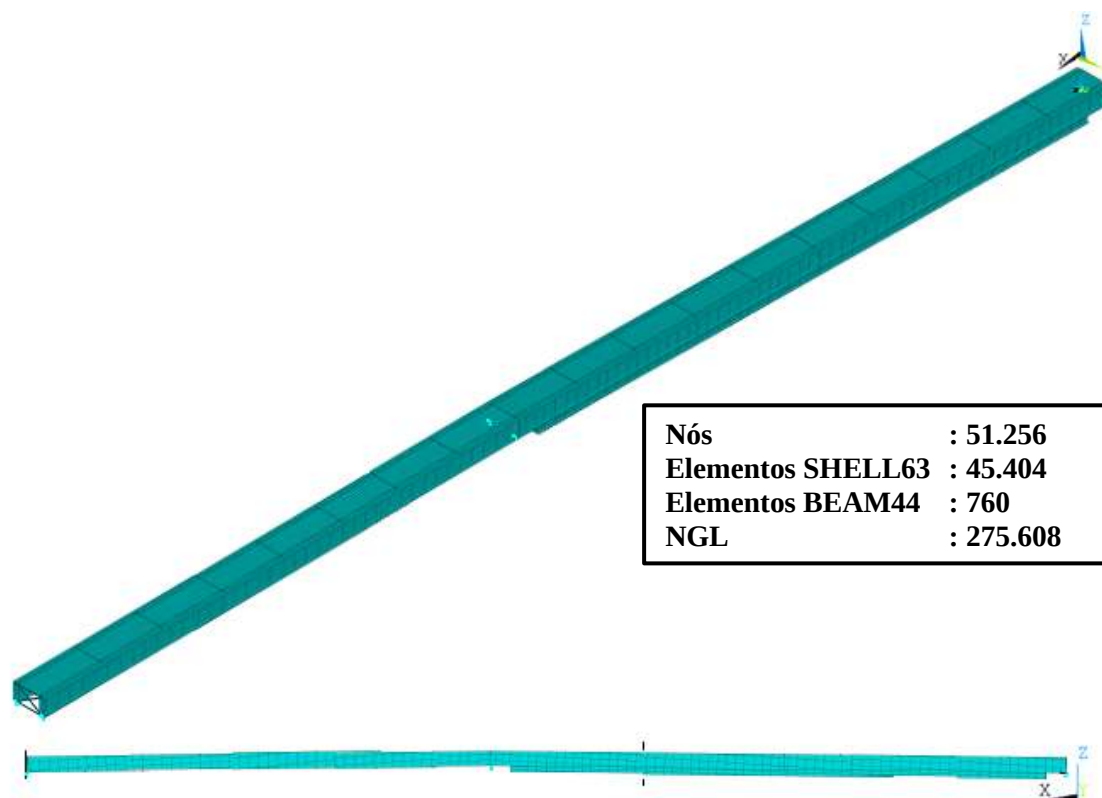


Figura 7. Vista isométrica e longitudinal do modelo em elementos finitos.

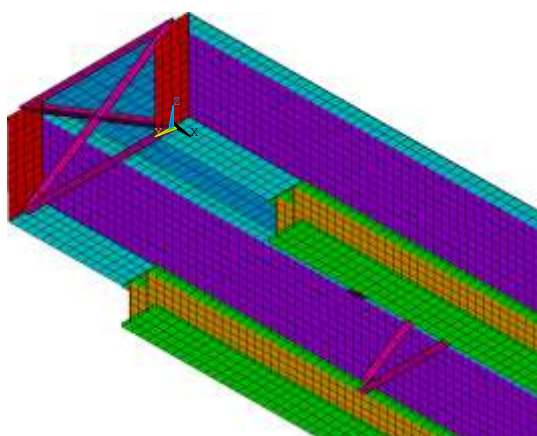


Figura 8. Vista inferior isométrica. Detalhe para contraventamentos e perfis metálicos de reforço. As cores representam as diferentes espessuras.

4 DESCRIÇÃO DOS TESTES EXPERIMENTAIS

Em relação aos ensaios experimentais da passarela investigada, para a análise modal experimental foram realizadas medições com base no emprego de um acelerômetro digital USB da marca DIGIDUCER, modelo 333D01, em conjunto com o aplicativo SignalScope instalado em um aparelho de plataforma IOS, Fig. 9. Este dispositivo permitiu de forma extremamente prática e portátil a leitura das acelerações experimentais. O sistema foi conectado via cabo a um dispositivo IOS que, através do aplicativo SignalSlope, de maneira a realizar a leitura, gravação e exibição dos valores da resposta estrutural dinâmica experimental no domínio do tempo ou da frequência. Por outro lado, para os testes de vibração forçada, foi utilizado o analisador de sinal dinâmico modelo tipo CoCo-80 com o uso de um acelerômetro do tipo PCB Piezotronics modelo 603C01, Fig. 10.



Figura 9. Acelerômetro digital USB Digiducer modelo 333D01 com dispositivo e software de aquisição.



Figura 10. Analisador CoCo-80 (esquerda) e acelerômetro PCB Piezotronics 603C01 (direita).

Os testes de vibração forçada realizados sobre a passarela de pedestres mediante a monitoração experimental dinâmica da estrutura e dos pedestres, objetivando avaliar a resposta estrutural dinâmica, no que tange ao conforto humano, além de dar respaldo para a calibração de uma estratégia de modelagem numérica do caminhar humano, via emprego de

modelos biodinâmicos, em desenvolvimento, de maneira a investigar o efeito da interação dinâmica pedestres-passarela. Em seguida, a Tabela 1 e as Figs. 11 a 16 apresentam um resumo dos testes realizados.

Tabela 1. Resumo dos testes de vibração forçada.

Ensaio	Caminhada	Frequência (Hz)	Frequência (BPM)
01	Lenta	1,6	96
02	Normal	2,0	120
03	Rápida	2,45	147
04	Em ressonância	1,9	114
04	Randômica	Aleatória	-



Figura 11. Ensaio de vibração livre



Figura 12. Ensaio 01: caminhada lenta.



Figura 13. Ensaio 02: caminhada normal.



Figura 14. Ensaio 03: caminhada rápida.



Figura 15. Ensaio 04: caminhada em ressonância.

Figura 16. Ensaio 05: caminhar livre (14 pedestres)

Cabe ressaltar que para controlar e manter a sincronização do ritmo do passo e posteriormente identificar a frequência do passo humano deslocando-se sobre a passarela, em cada teste experimental distinto, foi utilizado um metrônomo que permite produzir pulsos sonoros de duração regular, Fig. 17. A unidade representativa do metrônomo é o “BPM” (Batidas Por Minuto) e cada “batida sonora” representa o contato do passo dos pedestres.



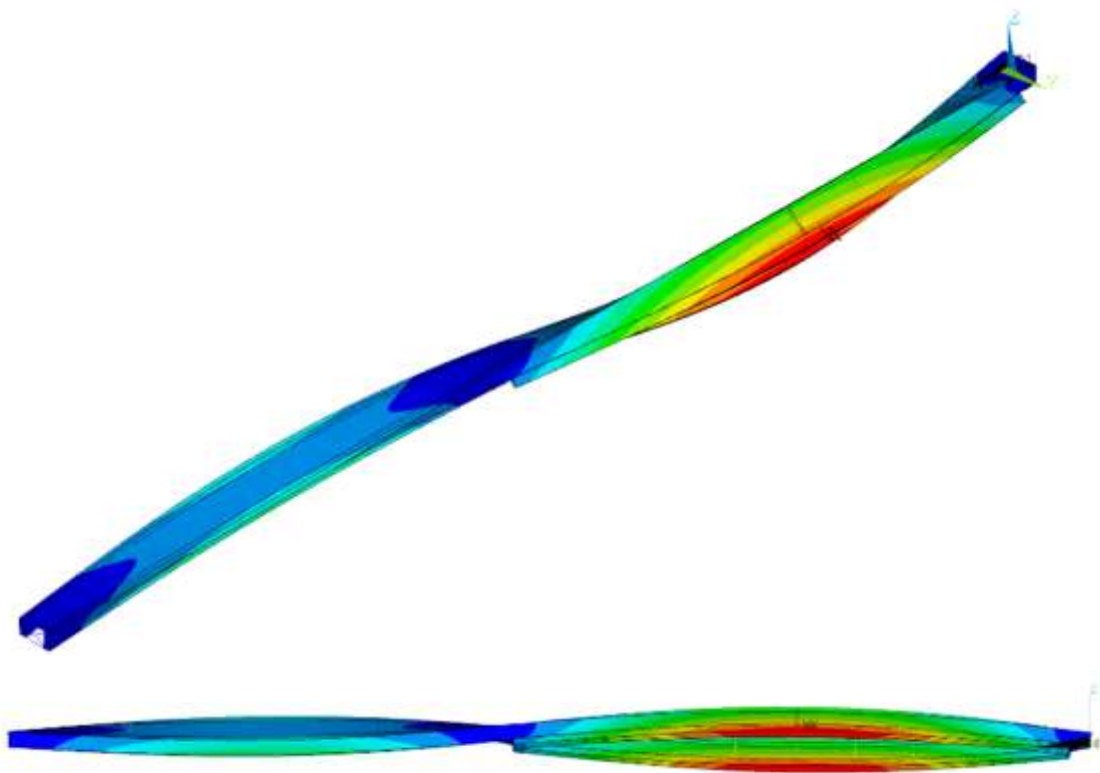
Figura 17. Aplicativo de celular Metronome Beats.

5 ANÁLISE MODAL NUMÉRICA

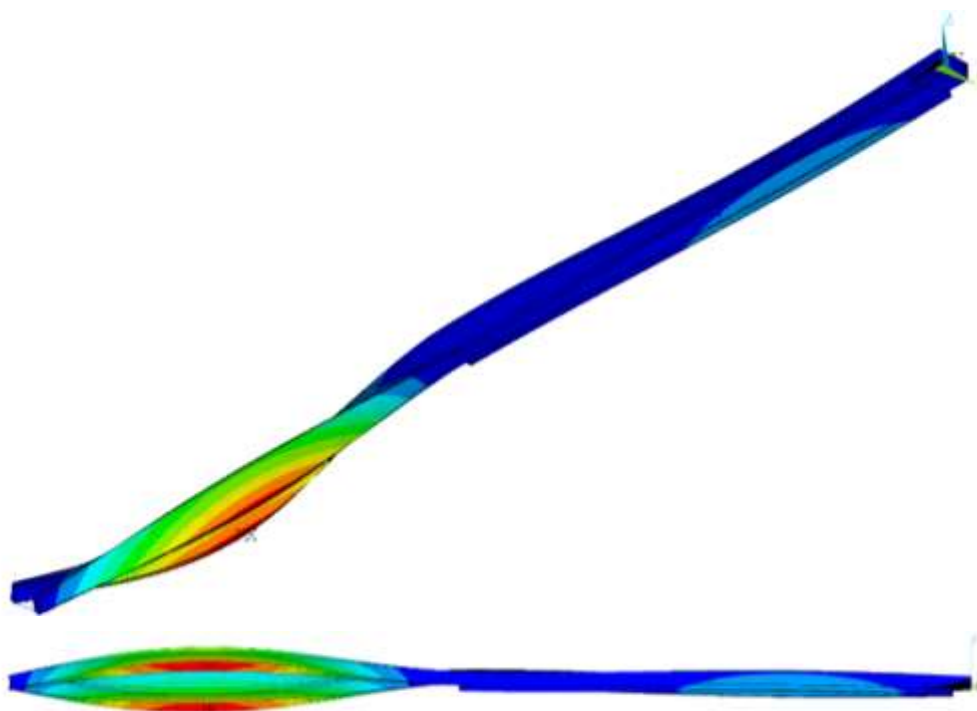
Para a obtenção dos valores das frequências naturais (autovalores) e dos modos de vibração (autovetores) da estrutura, foi realizada uma análise modal da passarela (Silva, 2017) através do programa computacional ANSYS (2007), verificando-se as características dinâmicas de massa e rigidez do modelo. A Tabela 2 apresenta os valores das frequências naturais e as Figs. 18 a 22 identificam os modos de vibração.

Tabela 2. Frequências naturais do modelo estrutural investigado

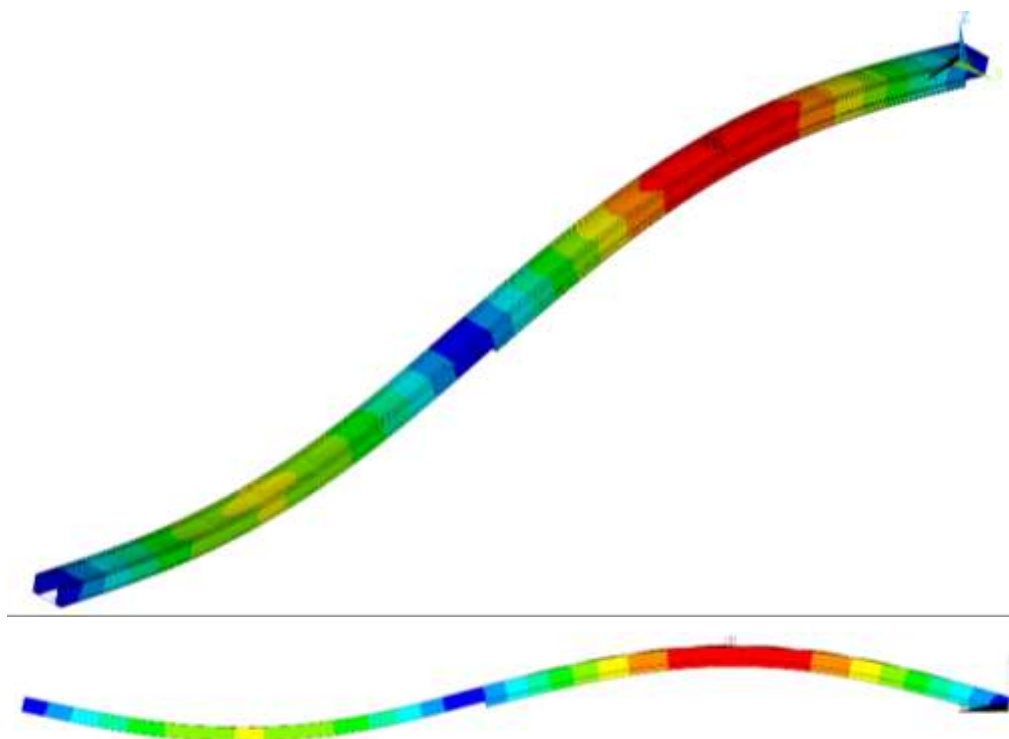
Modo de Vibração	Frequência Natural (Hz)	Característica Física	Harmônico da Excitação	Amplitude Máxima
1	1,99	Flexo-torção	1º	Vão 1
2	3,70	Flexo-torção	1º	Vão 2
3	3,83	Flexão	1º	Vão 1
4	6,05	Flexão	1º	Vão 2
5	6,79	Flexo-torção	2º	Vão 1



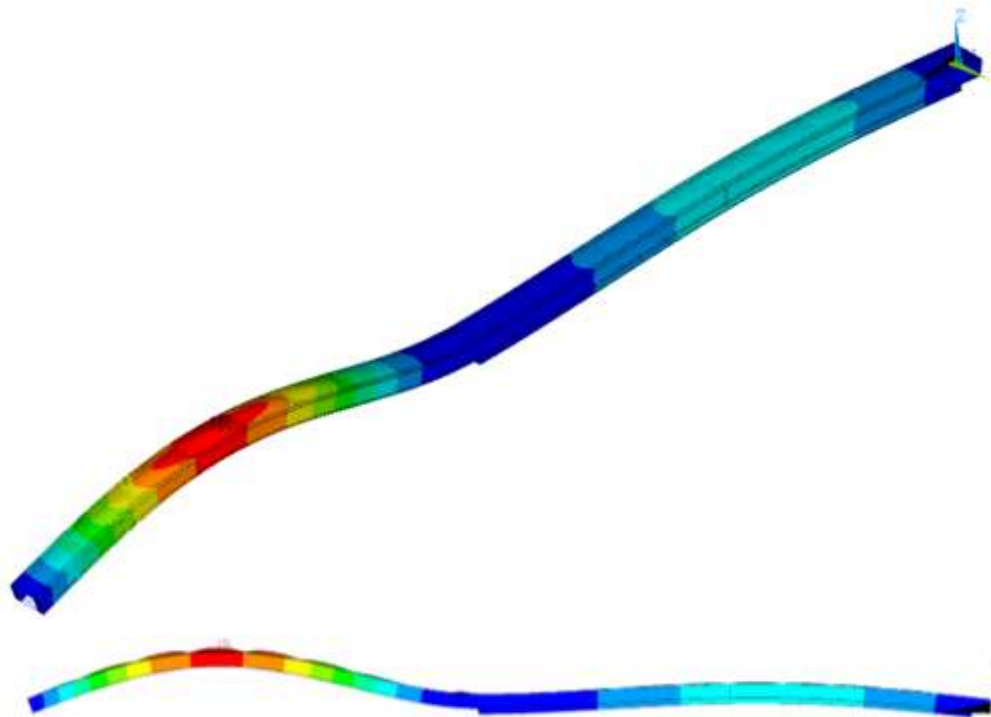
**Figura 18. Primeiro modo de vibração ($f_{01} = 1,99\text{Hz}$). Flexo-torção.
Perspectiva (cima) e vista lateral (baixo).**



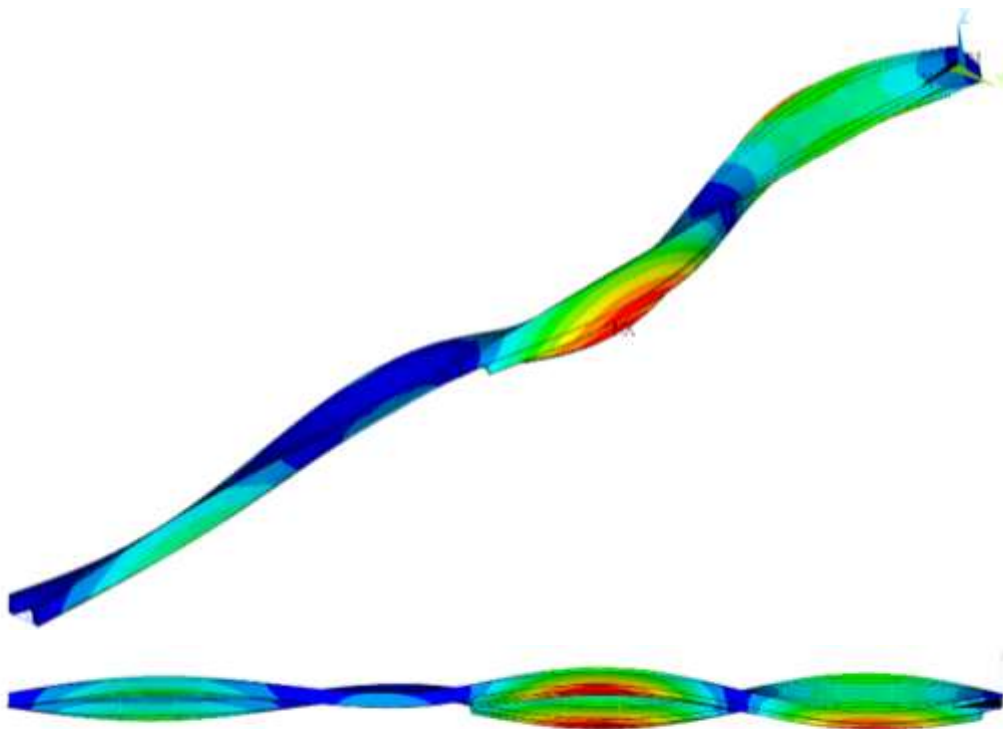
**Figura 19. Segundo modo de vibração ($f_{02} = 3,70\text{Hz}$). Flexo-torção.
Perspectiva (cima) e vista lateral (baixo).**



**Figura 20. Terceiro modo de vibração ($f_{03} = 3,83\text{Hz}$). Flexão.
Perspectiva (cima) e vista lateral (baixo).**



**Figura 21. Quarto modo de vibração ($f_{04} = 6,05\text{Hz}$). Flexão.
Perspectiva (cima) e vista lateral (baixo).**



**Figura 22. Quinto modo de vibração ($f_{05} = 6,79\text{Hz}$). Flexo-torção.
Perspectiva (cima) e vista lateral (baixo).**

6 ANÁLISE MODAL EXPERIMENTAL

A análise modal experimental da passarela foi realizada através de monitoração dinâmica, “in loco”, por meio da instalação de acelerômetros digital USB da marca DIGIDUCER, modelo 333D01, ligados a um sistema de aquisição de dados por meio do aplicativo SignalScope, conforme mencionado no item 4.

A Fig. 23 apresenta os resultados experimentais obtidos no domínio da frequência a partir das leituras realizadas sobre o modelo estrutural, em vibração livre, com o objetivo de identificar os autovalores que mais colaboram às vibrações da passarela, no que se refere à transferência de energia para a resposta dinâmica do sistema.

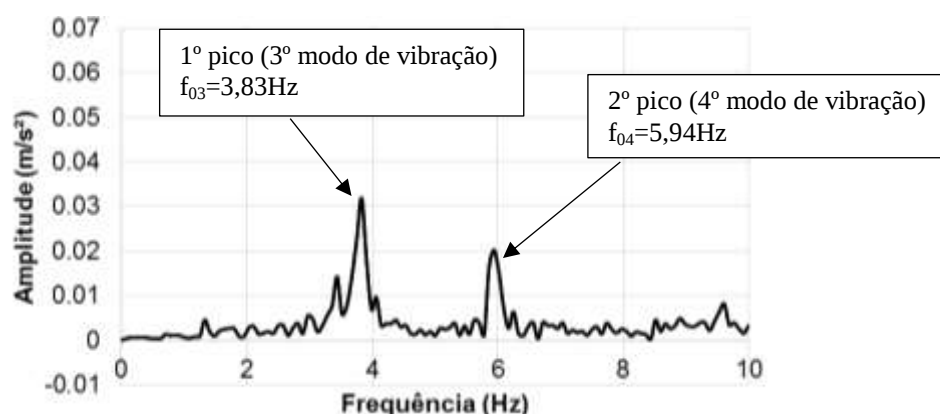


Figura 23. Espectro de frequências experimentais obtidas via medição de campo no meio do vão.

Observando-se os resultados apresentados na Fig. 23, verifica-se um pico de maior contribuição de transferência de energia para a resposta dinâmica do modelo com frequência correspondente ao modo de vibração de flexão vertical ($f_{03} = 3,83\text{Hz}$, Tabela 2 e Fig. 20) do vão em estudo. O pico com a segunda maior contribuição se refere à frequência correspondente à flexão vertical ($f_{04} = 5,94\text{Hz}$, Tabela 2 e Fig. 21), do vão adjacente ao vão investigado.

Tabela 3. Comparação dos valores das frequências naturais obtidas.

f_i	Frequências naturais (Hz)		Diferença (%)
	Teste experimental	Modelagem numérica	
f_{03}	3,83	3,83	0,00
f_{04}	5,94	6,05	1,85

Comparando-se os valores das frequências naturais da passarela obtidos mediante modelagem numérica e monitoração experimental dinâmica, pode-se verificar uma ótima concordância entre os resultados (Tabela 3), o que indica de modo consistente que o modelo estrutural em estudo encontra-se bem calibrado e representado numericamente de maneira adequada.

7 ANÁLISE DINÂMICA DA ESTRUTURA (VIBRAÇÃO FORÇADA)

A resposta estrutural dinâmica da passarela, quando submetida ao caminhar dos pedestres (testes de vibração forçada), é investigada em termos dos valores das acelerações verticais, no domínio do tempo e da frequência, e obtida a partir da monitoração experimental dinâmica, Figs. 24 a 28. Para tal, foram realizadas medições experimentais “in loco”, por meio da instalação de acelerômetros sobre a estrutura ligados a um sistema de aquisição de dados CoCo-80, Figs. 9 a 17, de acordo com os casos de carregamentos dinâmicos apresentado na Tabela 1.

Tabela 4. Comparação dos valores das frequências naturais obtidas.

Ensaio	Caminhada	Aceleração de Pico (m/s ²)
01	Lenta	1,88 (Fig. 24)
02	Normal	2,61 (Fig. 25)
03	Rápida	9,58 (Fig. 26)
04	Em ressonância	2,54 (Fig. 27)
05	Randômica	15,79 (Fig. 28)

Em termos quantitativos, cabe ressaltar que os valores das acelerações máximas (acelerações de pico), relativas à seção estrutural central do vão de 29,5m investigado neste estudo, respectivamente, são iguais a 1,88m/s² ($a_p=1,88\text{m/s}^2$; Caminhada lenta: 1 pedestre, Fig. 24); 2,61m/s² ($a_p=2,61\text{m/s}^2$; Caminhada normal: 1 pedestre, Fig. 25); 9,58m/s² ($a_p=9,58\text{m/s}^2$; Caminhada rápida: 1 pedestre, Fig. 26); 2,64m/s² ($a_p=2,64\text{m/s}^2$; Caminhada em ressonância: 1 pedestre, Fig. 27) e 8,40m/s² ($a_p=8,40\text{m/s}^2$; Caminhada aleatória: 14 pedestres, Fig. 28).

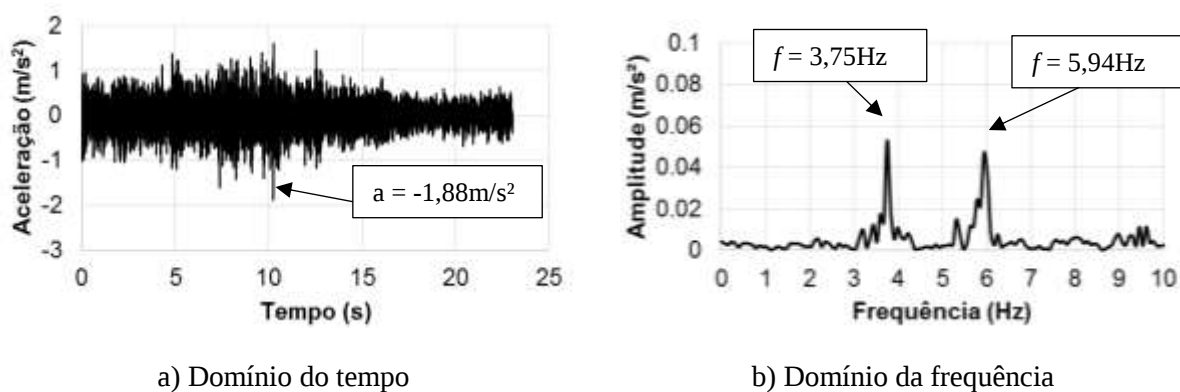


Figura 24. Ensaio 1: aceleração vertical (Caminhada lenta $f_p=1,6$ Hz)

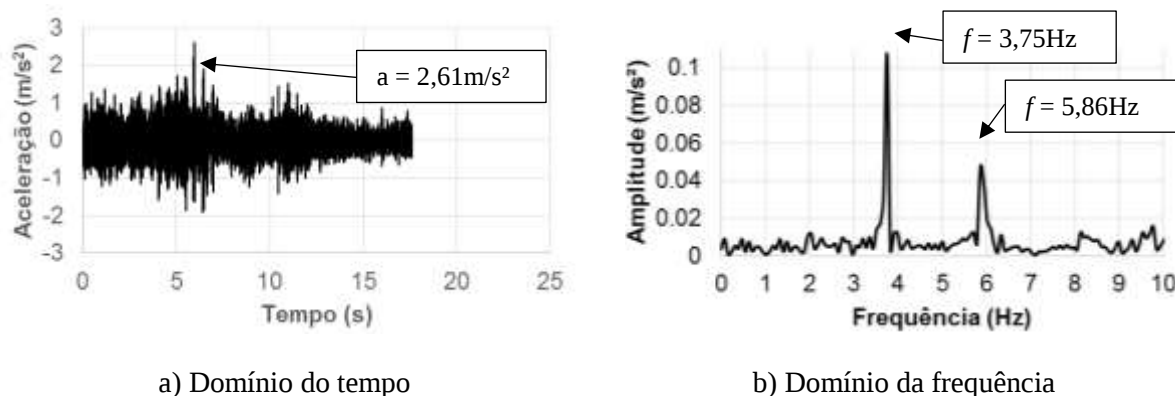


Figura 25. Ensaio 2: aceleração vertical (Caminhada normal $f_p=2,0$ Hz).

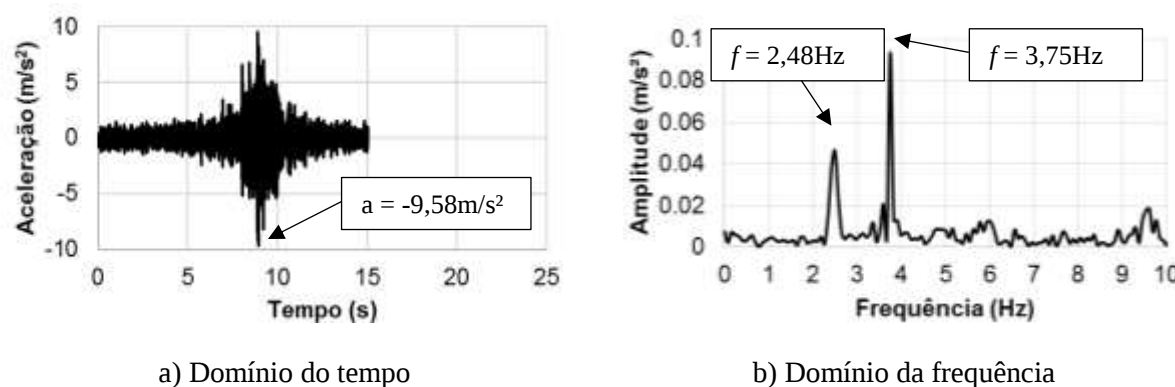


Figura 26. Ensaio 3: aceleração vertical (Caminhada rápida $f_p=2,45$ Hz).

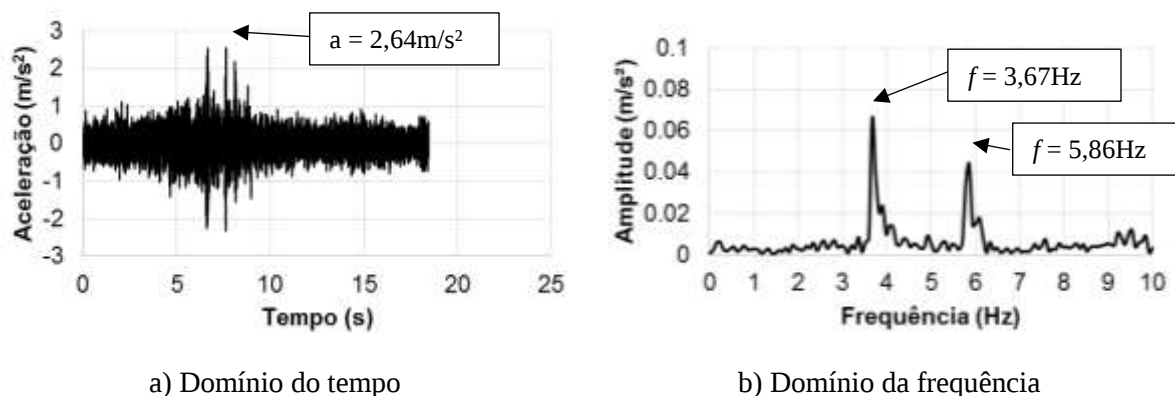


Figura 27. Ensaio 4: aceleração vertical (Caminhada em ressonância $f_p=1,9$ Hz).

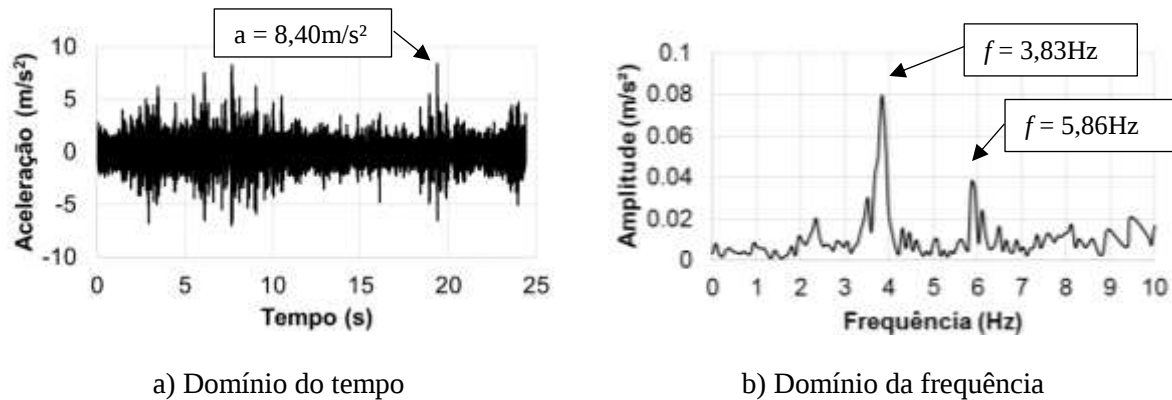


Figura 28. Ensaio 5: aceleração vertical (Caminhada em randômica com 14 pedestres).

Analisando-se a resposta estrutural dinâmica da passarela sob o ponto de vista qualitativo, de maneira geral, verifica-se que a parcela mais significativa de transferência de energia que ocorre na resposta do sistema estrutural, corresponde à contribuição da terceira frequência natural do modelo estrutural, associada ao terceiro modo de vibração, com predominância de flexão do vão de 29,5m ($f_{03}=3,83\text{Hz}$: flexão; Tabela 2 e Fig. 20).

Evidentemente, os gráficos da resposta dinâmica da passarela analisada apontam para o fato de que a interação dinâmica pedestre-estrutura tende a modificar os valores das frequências naturais do modelo estrutural, especialmente no que diz respeito às situações de carregamento dinâmico, nas quais as frequências do passo dos pedestres sejam bastante sincronizadas.

Tal constatação torna-se evidente em relação aos Ensaio 01 a 04, nos quais as frequências do passo das pessoas foram sincronizadas mediante o emprego de um metrônomo, Figs. 11 a 16 e Figs. 24 a 27. Nestas situações de carregamento, percebe-se que a terceira frequência natural da estrutura ($f_{03}=3,83\text{Hz}$: flexão; Tabela 2 e Fig. 20) foi modificada em função do efeito da interação dinâmica pedestre-estrutura.

Por outro lado, no caso do Ensaio 05 (Figs. 16 e 28), no qual os pedestres se deslocam sobre a passarela livremente, de maneira aleatória, sem marcação do passo por meio do metrônomo, a predominância da resposta dinâmica do sistema é comandada pela terceira frequência natural da estrutura ($f_{03}=3,83\text{Hz}$: flexão; Tabela 2 e Fig. 20) e, logo em seguida, pela quarta frequência natural ($f_{04}=5,86\text{Hz}$: flexão; Tabela 2 e Fig. 21), correspondentes, respectivamente, ao terceiro e quarto modos de vibração, ambos caracterizados pela flexão no vão de 29,5m. Destaca-se, também, no caso do Ensaio 03 (Fig. 26), no qual o pedestre cruza a passarela em caminhada rápida, com frequência de passo igual a 2,45 Hz ($f_p = 2,45\text{Hz}$), que a segunda maior contribuição em relação à transferência de energia para a resposta do sistema diz respeito a um pico de frequência de 2,48 Hz (Fig. 11), associado à frequência de excitação induzida pelo caminhar do pedestre ($f_p = 2,48\text{ Hz}$).

8 AVALIAÇÃO DE PROJETO: GUIAS SETRA E HIVOSS

Os guias de projeto HIVOSS (2008) e SÉTRA (2006) recomendam um coeficiente de redução das ações dinâmicas induzidas pelos pedestres denominado de “ ψ ”, o qual varia na faixa de 0 a 1 [ψ : 0-1], de acordo com o risco de ressonância entre as frequências da excitação (pedestres) e as frequências naturais das passarelas. Este coeficiente possui valores diferentes de zero para determinados intervalos de frequências, particulares em cada guia de projeto (HIVOSS, 2008 e SÉTRA, 2006).

Assim sendo, a partir do valor do coeficiente ψ , calcula-se o valor da carga dinâmica atuante sobre a estrutura; e, em seguida, o valor da aceleração de pico. Para o caso da passarela analisada apresentar um valor de frequência natural fora dos intervalos de frequências recomendados pelos guias de projeto (HIVOSS, 2008 e SÉTRA, 2006), o coeficiente ψ assume valor nulo e a avaliação do conforto é dispensada. Deste modo, verifica-se que a passarela de pedestres em estudo fica dispensada da avaliação do conforto humano, no que tange a avaliação das vibrações verticais, uma vez que o valor da frequência natural do modelo ($f_{03} = 3,83\text{Hz}$) encontra-se fora dos intervalos de frequências recomendados em ambos os guias de projeto (HIVOSS, 2008 e SÉTRA, 2006), ou seja, o coeficiente ψ assume valor nulo e o modelo fica dispensado da análise de conforto humano (Fig. 29).

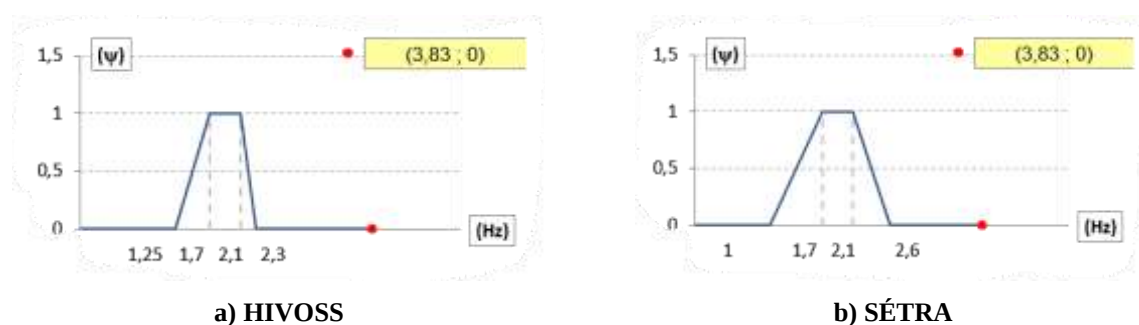


Figura 29. Coeficiente ψ segundo guias HIVOSS e SÉTRA (SILVA, 2016).

Em seguida, a Tabela 5 apresenta os valores das acelerações de pico obtidas mediante a monitoração experimental dinâmica realizada e uma classificação do conforto humano, no que tange a observações e entrevistas feitas “in loco” com os pedestres participantes dos testes e utilizando-se, ainda, as faixas de classificação propostas nos guias de projeto (HIVOSS, 2008 e SÉTRA, 2006).

Analisando-se os valores das acelerações pico, Tabela 4, é possível verificar que apesar dos guias de projeto (HIVOSS, 2008 e SÉTRA, 2006), dispensarem a avaliação do conforto humano ($\psi=0$ ou risco de ressonância nulo), para a passarela em estudo, o modelo estrutural apresenta valores elevados de acelerações. Observações feitas no local durante a realização dos testes experimentais, além de entrevistas feitas com os participantes, comprovam que o sistema estrutural é desconfortável para os pedestres, chegando ao ponto de que os participantes dos testes e entrevistados se mostraram bastante desconfortáveis quanto aos níveis de vibração excessivos da passarela.

Tabela 5. Classes de conforto das acelerações experimentais (acelerações de pico) conforme os guias HIVOSS (2008) e SÉTRA (2006)

Testes Experimentais Realizados	Aceleração Experimental (m/s ²)	Classes de Conforto Humano HIVOSS (2008) / SÉTRA (2006)
Ensaio 01: caminhada lenta	1,88	Conforto mínimo
Ensaio 02: caminhada normal	2,61	Conforto inaceitável
Ensaio 03: caminhada rápida	9,58	Conforto inaceitável
Ensaio 04: caminhada em ressonância	2,54	Conforto inaceitável
Ensaio 05: caminhada randômica	15,79	Conforto inaceitável

9 CONCLUSÕES

O principal objetivo deste trabalho de pesquisa foi o de desenvolver um estudo, mediante monitoração experimental e modelagem numérica, de maneira a identificar, caracterizar e avaliar o comportamento dinâmico de passarelas de pedestres. Para tal, considera-se a análise de conforto humano do projeto de uma passarela de pedestres do tipo mista (aço-concreto) localizada na cidade do Rio de Janeiro/RJ, Brasil. Desta forma, as principais conclusões são:

Em termos de transferência de energia, a maior contribuição para a resposta dinâmica da passarela em estudo corresponde ao modo de vibração de flexão vertical ($f=3,83\text{Hz}$) do vão investigado de 29,5m. O pico com a segunda maior contribuição se refere à frequência correspondente à flexão vertical ($f=5,94\text{Hz}$), do vão adjacente ao vão investigado.

Os valores das acelerações de pico encontradas, relativas à seção central do vão de 29,5m investigado, respectivamente, são iguais a $1,88\text{m/s}^2$ ($a_p=1,88\text{m/s}^2$; Caminhada lenta: 1 pedestre); $2,61\text{m/s}^2$ ($a_p=2,61\text{m/s}^2$; Caminhada normal: 1 pedestre); $9,58\text{m/s}^2$ ($a_p=9,58\text{m/s}^2$; Caminhada rápida: 1 pedestre); $2,64\text{m/s}^2$ ($a_p=2,64\text{m/s}^2$; Ressonância: 1 pedestre) e $8,40\text{m/s}^2$ ($a_p=8,40\text{m/s}^2$; Caminhada aleatória: 14 pedestres).

Com base nos valores das acelerações de pico, de observações feitas no local e de entrevistas feitas com os participantes dos testes, foi constatado que o modelo investigado é desconfortável para os pedestres, chegando ao ponto em que participantes e entrevistados se mostraram bastante desconfortáveis quanto aos níveis de vibração da passarela.

Os autores entendem a necessidade de um estudo mais profundo acerca da avaliação do efeito da interação dinâmica pedestre-passarela, via testes experimentais e modelagem numérica, com base no emprego de modelos biodinâmicos representativos das pessoas, de maneira a contribuir para uma avaliação mais realista e precisa acerca do comportamento estrutural dinâmico de passarelas sob a ação do caminhar humano.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao suporte financeiro fornecido pelas Agências de Fomento à Pesquisa do país, CAPES, CNPq, FAPERJ. Os autores agradecem, também, ao aluno de mestrado Pedro Vieira do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM) da Faculdade de Engenharia da UERJ (FEN/UERJ), que através de uma parceria técnico-científica entre a UERJ e a empresa MTS Sistemas do Brasil, cedeu todos os equipamentos e sensores utilizados para dar suporte à realização deste trabalho, além da Coordenadoria Geral de Projetos (CGP) da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro que forneceu o projeto da passarela de pedestres.

REFERÊNCIAS

- ANSYS Swanson Analysis Systems, Inc., P. O. Box 65, Johnson Road, Houston, PA, 15342-0065. Release 11.0, SP1 UP20070830, ANSYS, Inc. is a UL registered ISO 9001:2000 Company. Products ANSYS Academic Research, 2007.
- Bachmann H., W.J Ammann, F. Deischl, J. Eisenmann, J. Floegl, G.H. Hirsch, et al., 1995. *Vibrations in structures induced by man and machines*. Basel (Switzerland):Institut für Baustatik und Konstruktion, Birkhäuser.
- Debona, G.L., 2016. *Monitoração experimental e modelagem numérica sobre a resposta estrutural dinâmica de passarelas de pedestres*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, PGECIV, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, Rio de Janeiro/RJ, Brasil.
- Duarte, I.F.B., 2016. *Análise de vibrações e avaliação de conforto humano sobre passarelas de pedestres mistas (aço-concreto) com base no emprego de modelos biodinâmicos*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, PGECIV, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, Rio de Janeiro/RJ, Brasil.
- Ellis, B.R, 2000. On the response of long-span floors to walking loads generated by individuals and crowds. *The Structural Engineer*, 78: 17-25.
- Figueiredo, F.P., 2005. *Estudo do comportamento dinâmico de passarelas devido ao caminhar de pedestres*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, PGECIV, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, Rio de Janeiro/RJ, Brasil.
- HIVOSS Human Induced Vibration of Steel Structures, 2008. *Design of Footbridges Guideline*. Research Fund for Coal and Steel.
- Lima, N.L. de A, 2007. *Efeito da modelagem do carregamento, do impacto do calcanhar humano e do amortecimento estrutural na resposta dinâmica de passarelas mistas*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, PGECIV, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- Mendes, J.P., 2014. *Análise dinâmica e controle de vibrações de passarelas de pedestres submetidas ao caminhar humano*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, PGECIV, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, Rio de Janeiro/RJ, Brasil.

SÉTRA Footbridge, 2006. *Assessment of Vibrational Behaviour of Footbridge Under Pedestrian Loading, Technical guide*. Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes, Paris, França.

Silva, I.A.R., Debona, G.L., Santos da Silva, J.G. 2016. *Avaliação de projeto sobre o estado limite de serviço de passarelas submetidas à ação dinâmica do caminhar dos pedestres*. XXXVII Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering (CILAMCE 2016), pp. 182-201, Brasília/DF, Brasil.

Silva, I.A.R. “*Monitoração experimental e modelagem numérica para avaliação do efeito da interação dinâmica pedestre-estrutura sobre a resposta estrutural dinâmica de passarelas de pedestres*” (Em desenvolvimento). Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, PGECIV, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, Rio de Janeiro/RJ, Brasil, 2017.

Souza, J.M.S., 2012. *Análise da resposta dinâmica de passarelas de pedestres considerando-se uma modelagem probabilística do caminhar humano*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, PGECIV, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, Rio de Janeiro/RJ, Brasil.

Zúñiga, J. E. V, 2011. *Análise da resposta dinâmica experimental de uma passarela tubular mista, aço-concreto, submetida ao caminhar humano*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, PGECIV, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, Rio de Janeiro, Brasil.