

# CONSTRU METAL 2025

10º CONGRESSO LATINO-AMERICANO  
DA CONSTRUÇÃO METÁLICA

CONTRIBUIÇÕES  
TECNOCIENTÍFICAS

Allianz Parque

# Considerações sobre a análise dinâmica de passarelas de pedestres

## **Autores:**

Matheus Simon Vicente <sup>1</sup>

Eduardo de Moraes Barreto Campello <sup>2</sup>

Henrique Campelo Gomes <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Mestre em engenharia de estruturas pela EPUSP

<sup>2</sup> Prof. Dr. Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica - EPUSP

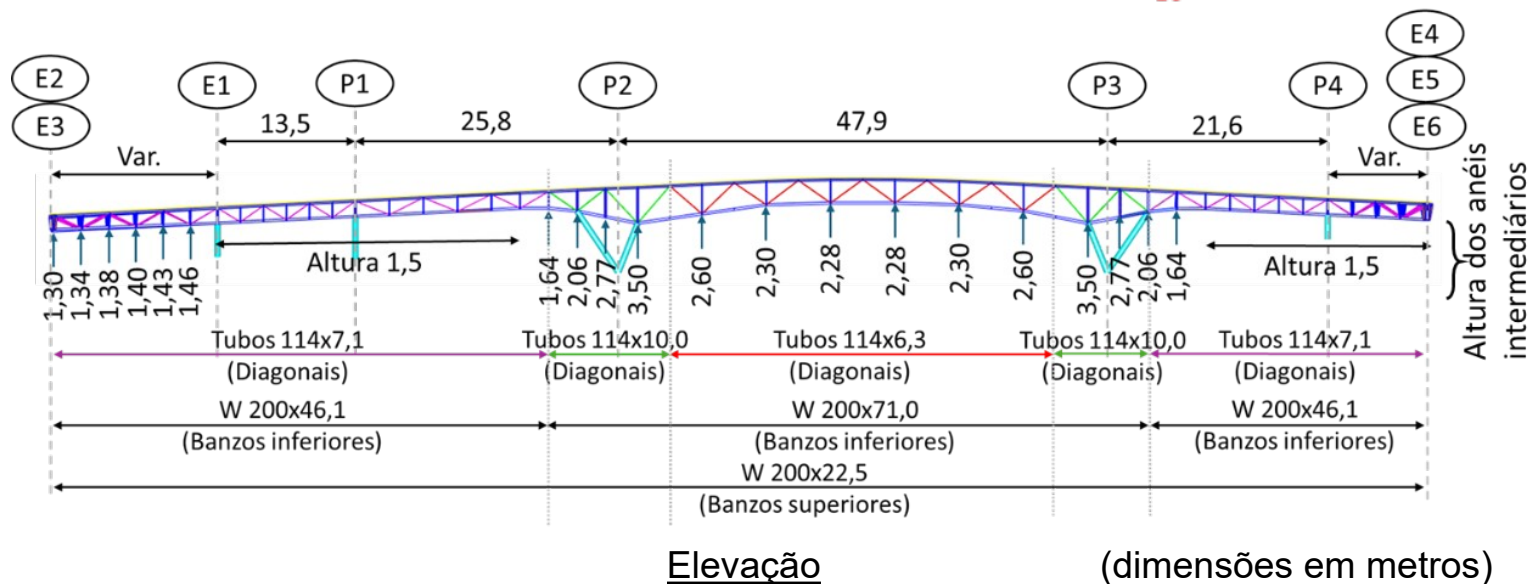
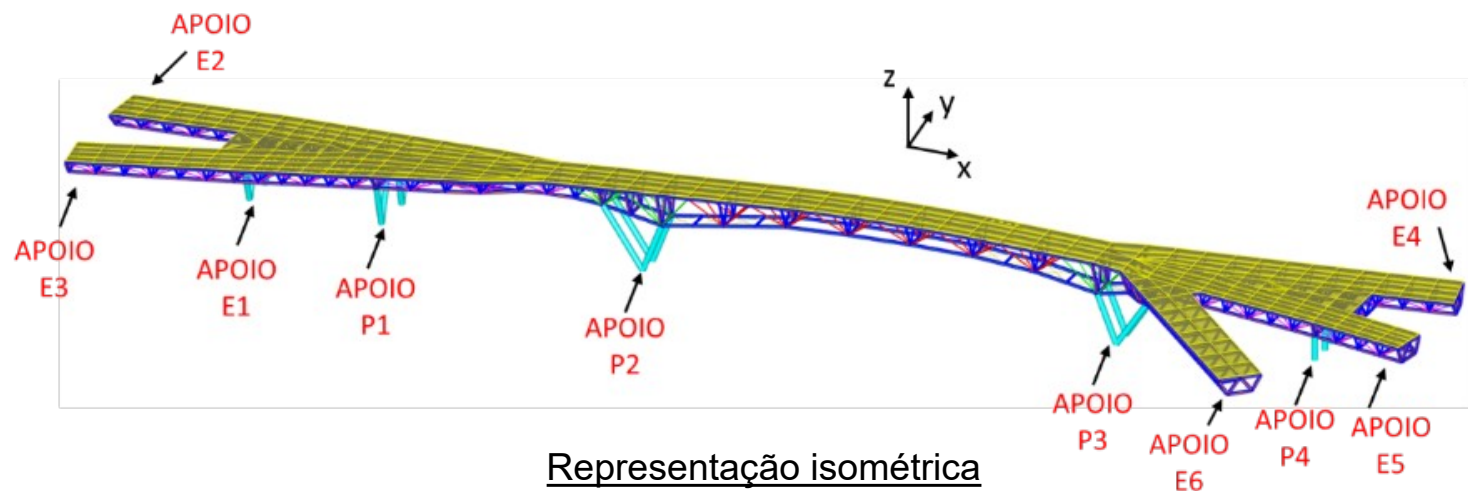
<sup>3</sup> Prof. Dr. Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica - EPUSP

**CONSTRU  
METAL  
2025**

**09 SET**

Allianz Parque  
São Paulo-SP

# Como realizar análise dinâmica de passarelas?



Fonte: Elaboração própria

## ESTUDO DE CASO

- Ponte sobre o Rio Capibaribe/RE;
- Treliças tridimensionais;
- Tabuleiro em laje mista de aço e concreto;
- Pilares de concreto sobre blocos;

## LITERATURA

- Manuais/guias de passarelas de pedestres (Sétra (2006), Butz et al. (2008); JRC-ECCS (2009));
  - Métodos analíticos;
  - Métodos envolvendo modelagem computacional.

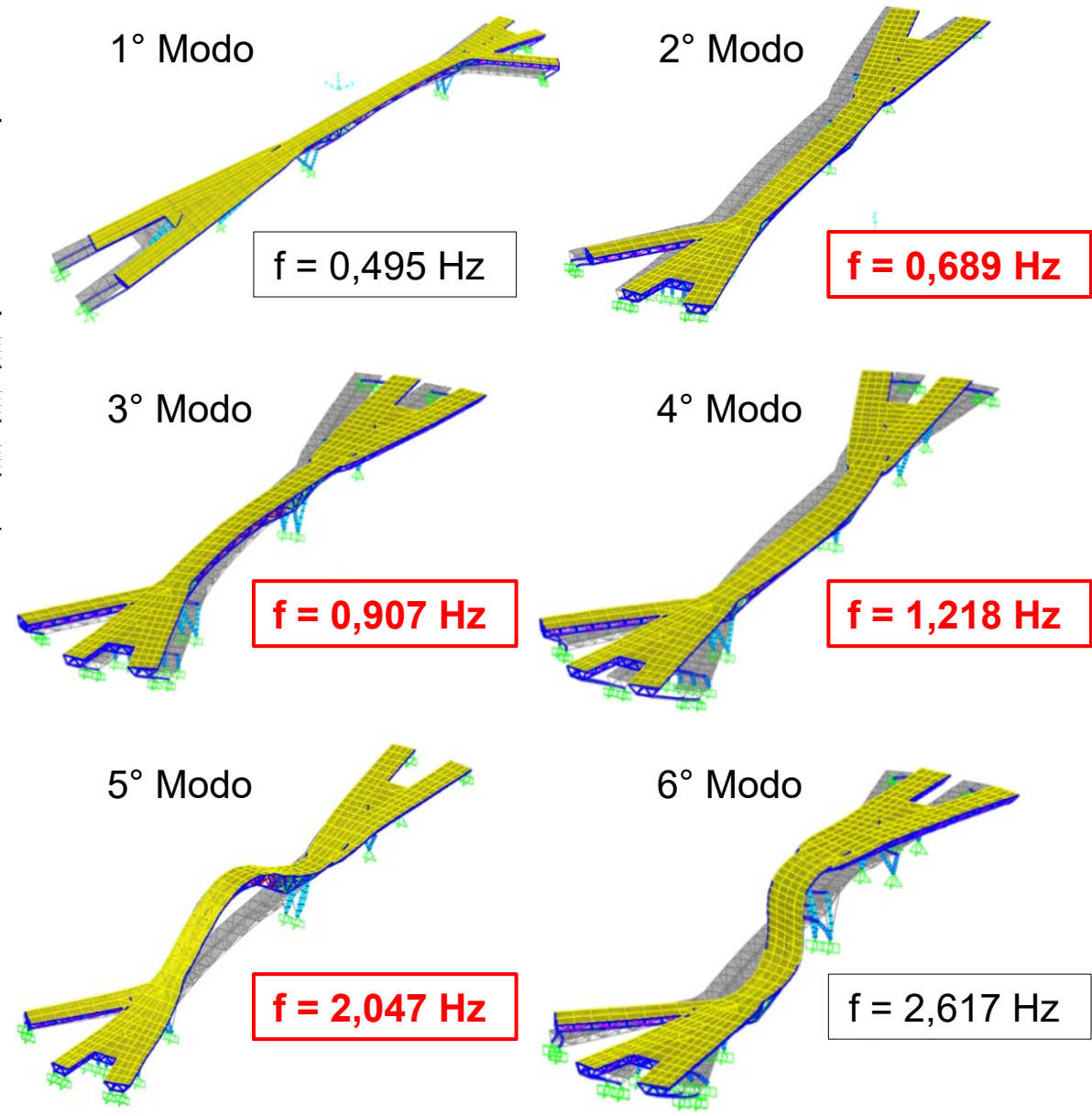
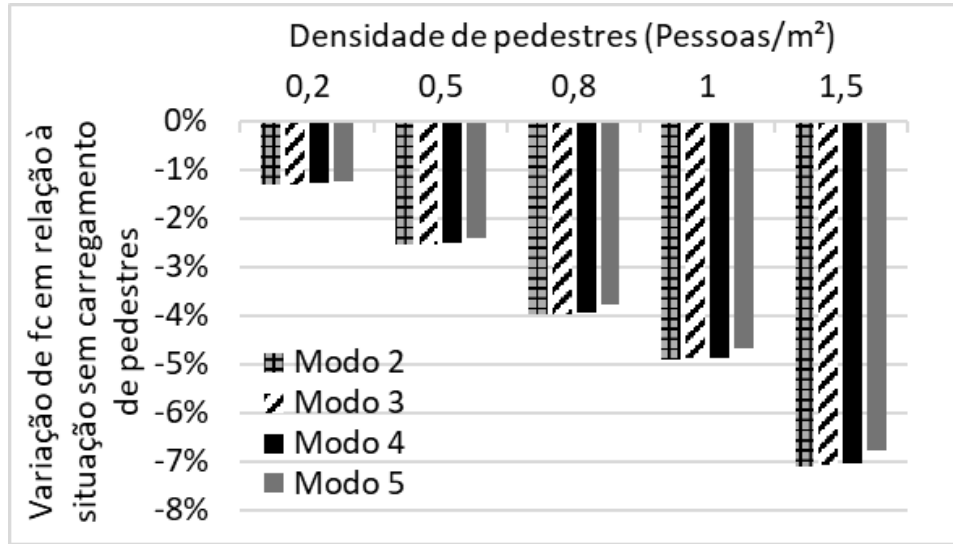
# Como realizar análise dinâmica de passarelas?

## Determinação das faixas críticas de frequência

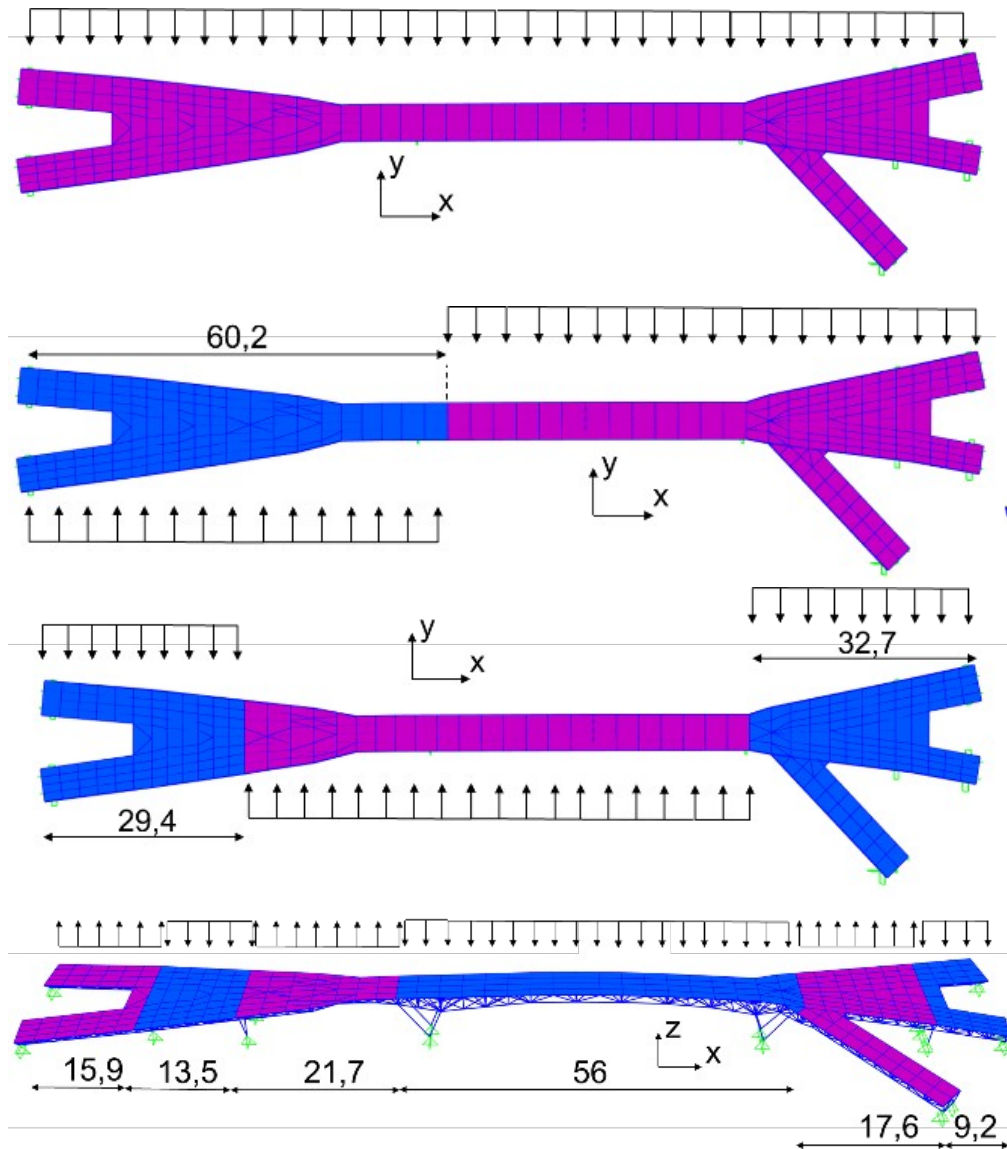
Direção do modo de vibração da estrutura	Harmônico do caminhar	Sétra (2006)	JRC-ECCS (2009)																																				
Vertical e longitudinal	1°	<table border="1"> <tr><th>Direção do modo de vibração da estrutura</th><th>Harmônico do caminhar</th><th>Sétra (2006)</th><th>JRC-ECCS (2009)</th></tr> <tr><td rowspan="3">Vertical e longitudinal</td><td>1°</td><td>1,0 Hz ≤ f &lt; 2,0 Hz</td><td>1,25 Hz ≤ f &lt; 2,3 Hz</td></tr> <tr><td>2°</td><td>2,0 Hz ≤ f &lt; 5,0 Hz</td><td>2,5 Hz ≤ f &lt; 4,5 Hz</td></tr> <tr><td>3°</td><td>0,3 Hz ≤ f &lt; 1,3 Hz</td><td>0,5 Hz ≤ f &lt; 1,2 Hz</td></tr> <tr><td>Transversal</td><td>2°</td><td>1,3 Hz ≤ f &lt; 2,5 Hz</td><td>Não indicado</td></tr> </table>	Direção do modo de vibração da estrutura	Harmônico do caminhar	Sétra (2006)	JRC-ECCS (2009)	Vertical e longitudinal	1°	1,0 Hz ≤ f < 2,0 Hz	1,25 Hz ≤ f < 2,3 Hz	2°	2,0 Hz ≤ f < 5,0 Hz	2,5 Hz ≤ f < 4,5 Hz	3°	0,3 Hz ≤ f < 1,3 Hz	0,5 Hz ≤ f < 1,2 Hz	Transversal	2°	1,3 Hz ≤ f < 2,5 Hz	Não indicado	<table border="1"> <tr><th>Direção do modo de vibração da estrutura</th><th>Harmônico do caminhar</th><th>Sétra (2006)</th><th>JRC-ECCS (2009)</th></tr> <tr><td rowspan="3">Vertical e longitudinal</td><td>1°</td><td>1,0 Hz ≤ f &lt; 2,0 Hz</td><td>1,25 Hz ≤ f &lt; 2,3 Hz</td></tr> <tr><td>2°</td><td>2,0 Hz ≤ f &lt; 5,0 Hz</td><td>2,5 Hz ≤ f &lt; 4,5 Hz</td></tr> <tr><td>3°</td><td>0,3 Hz ≤ f &lt; 1,3 Hz</td><td>0,5 Hz ≤ f &lt; 1,2 Hz</td></tr> <tr><td>Transversal</td><td>2°</td><td>1,3 Hz ≤ f &lt; 2,5 Hz</td><td>Não indicado</td></tr> </table>	Direção do modo de vibração da estrutura	Harmônico do caminhar	Sétra (2006)	JRC-ECCS (2009)	Vertical e longitudinal	1°	1,0 Hz ≤ f < 2,0 Hz	1,25 Hz ≤ f < 2,3 Hz	2°	2,0 Hz ≤ f < 5,0 Hz	2,5 Hz ≤ f < 4,5 Hz	3°	0,3 Hz ≤ f < 1,3 Hz	0,5 Hz ≤ f < 1,2 Hz	Transversal	2°	1,3 Hz ≤ f < 2,5 Hz	Não indicado
	Direção do modo de vibração da estrutura	Harmônico do caminhar	Sétra (2006)	JRC-ECCS (2009)																																			
	Vertical e longitudinal	1°	1,0 Hz ≤ f < 2,0 Hz	1,25 Hz ≤ f < 2,3 Hz																																			
2°		2,0 Hz ≤ f < 5,0 Hz	2,5 Hz ≤ f < 4,5 Hz																																				
3°		0,3 Hz ≤ f < 1,3 Hz	0,5 Hz ≤ f < 1,2 Hz																																				
Transversal	2°	1,3 Hz ≤ f < 2,5 Hz	Não indicado																																				
Direção do modo de vibração da estrutura	Harmônico do caminhar	Sétra (2006)	JRC-ECCS (2009)																																				
Vertical e longitudinal	1°	1,0 Hz ≤ f < 2,0 Hz	1,25 Hz ≤ f < 2,3 Hz																																				
	2°	2,0 Hz ≤ f < 5,0 Hz	2,5 Hz ≤ f < 4,5 Hz																																				
	3°	0,3 Hz ≤ f < 1,3 Hz	0,5 Hz ≤ f < 1,2 Hz																																				
Transversal	2°	1,3 Hz ≤ f < 2,5 Hz	Não indicado																																				
2°	<table border="1"> <tr><th>Direção do modo de vibração da estrutura</th><th>Harmônico do caminhar</th><th>Sétra (2006)</th><th>JRC-ECCS (2009)</th></tr> <tr><td rowspan="3">Vertical e longitudinal</td><td>1°</td><td>1,0 Hz ≤ f &lt; 2,0 Hz</td><td>1,25 Hz ≤ f &lt; 2,3 Hz</td></tr> <tr><td>2°</td><td>2,0 Hz ≤ f &lt; 5,0 Hz</td><td>2,5 Hz ≤ f &lt; 4,5 Hz</td></tr> <tr><td>3°</td><td>0,3 Hz ≤ f &lt; 1,3 Hz</td><td>0,5 Hz ≤ f &lt; 1,2 Hz</td></tr> <tr><td>Transversal</td><td>2°</td><td>1,3 Hz ≤ f &lt; 2,5 Hz</td><td>Não indicado</td></tr> </table>	Direção do modo de vibração da estrutura	Harmônico do caminhar	Sétra (2006)	JRC-ECCS (2009)	Vertical e longitudinal	1°	1,0 Hz ≤ f < 2,0 Hz	1,25 Hz ≤ f < 2,3 Hz	2°	2,0 Hz ≤ f < 5,0 Hz	2,5 Hz ≤ f < 4,5 Hz	3°	0,3 Hz ≤ f < 1,3 Hz	0,5 Hz ≤ f < 1,2 Hz	Transversal	2°	1,3 Hz ≤ f < 2,5 Hz	Não indicado	<table border="1"> <tr><th>Direção do modo de vibração da estrutura</th><th>Harmônico do caminhar</th><th>Sétra (2006)</th><th>JRC-ECCS (2009)</th></tr> <tr><td rowspan="3">Vertical e longitudinal</td><td>1°</td><td>1,0 Hz ≤ f &lt; 2,0 Hz</td><td>1,25 Hz ≤ f &lt; 2,3 Hz</td></tr> <tr><td>2°</td><td>2,0 Hz ≤ f &lt; 5,0 Hz</td><td>2,5 Hz ≤ f &lt; 4,5 Hz</td></tr> <tr><td>3°</td><td>0,3 Hz ≤ f &lt; 1,3 Hz</td><td>0,5 Hz ≤ f &lt; 1,2 Hz</td></tr> <tr><td>Transversal</td><td>2°</td><td>1,3 Hz ≤ f &lt; 2,5 Hz</td><td>Não indicado</td></tr> </table>	Direção do modo de vibração da estrutura	Harmônico do caminhar	Sétra (2006)	JRC-ECCS (2009)	Vertical e longitudinal	1°	1,0 Hz ≤ f < 2,0 Hz	1,25 Hz ≤ f < 2,3 Hz	2°	2,0 Hz ≤ f < 5,0 Hz	2,5 Hz ≤ f < 4,5 Hz	3°	0,3 Hz ≤ f < 1,3 Hz	0,5 Hz ≤ f < 1,2 Hz	Transversal	2°	1,3 Hz ≤ f < 2,5 Hz	Não indicado	
Direção do modo de vibração da estrutura	Harmônico do caminhar	Sétra (2006)	JRC-ECCS (2009)																																				
Vertical e longitudinal	1°	1,0 Hz ≤ f < 2,0 Hz	1,25 Hz ≤ f < 2,3 Hz																																				
	2°	2,0 Hz ≤ f < 5,0 Hz	2,5 Hz ≤ f < 4,5 Hz																																				
	3°	0,3 Hz ≤ f < 1,3 Hz	0,5 Hz ≤ f < 1,2 Hz																																				
Transversal	2°	1,3 Hz ≤ f < 2,5 Hz	Não indicado																																				
Direção do modo de vibração da estrutura	Harmônico do caminhar	Sétra (2006)	JRC-ECCS (2009)																																				
Vertical e longitudinal	1°	1,0 Hz ≤ f < 2,0 Hz	1,25 Hz ≤ f < 2,3 Hz																																				
	2°	2,0 Hz ≤ f < 5,0 Hz	2,5 Hz ≤ f < 4,5 Hz																																				
	3°	0,3 Hz ≤ f < 1,3 Hz	0,5 Hz ≤ f < 1,2 Hz																																				
Transversal	2°	1,3 Hz ≤ f < 2,5 Hz	Não indicado																																				
Transversal	1°	<table border="1"> <tr><th>Direção do modo de vibração da estrutura</th><th>Harmônico do caminhar</th><th>Sétra (2006)</th><th>JRC-ECCS (2009)</th></tr> <tr><td rowspan="3">Vertical e longitudinal</td><td>1°</td><td>1,0 Hz ≤ f &lt; 2,0 Hz</td><td>1,25 Hz ≤ f &lt; 2,3 Hz</td></tr> <tr><td>2°</td><td>2,0 Hz ≤ f &lt; 5,0 Hz</td><td>2,5 Hz ≤ f &lt; 4,5 Hz</td></tr> <tr><td>3°</td><td>0,3 Hz ≤ f &lt; 1,3 Hz</td><td>0,5 Hz ≤ f &lt; 1,2 Hz</td></tr> <tr><td>Transversal</td><td>2°</td><td>1,3 Hz ≤ f &lt; 2,5 Hz</td><td>Não indicado</td></tr> </table>	Direção do modo de vibração da estrutura	Harmônico do caminhar	Sétra (2006)	JRC-ECCS (2009)	Vertical e longitudinal	1°	1,0 Hz ≤ f < 2,0 Hz	1,25 Hz ≤ f < 2,3 Hz	2°	2,0 Hz ≤ f < 5,0 Hz	2,5 Hz ≤ f < 4,5 Hz	3°	0,3 Hz ≤ f < 1,3 Hz	0,5 Hz ≤ f < 1,2 Hz	Transversal	2°	1,3 Hz ≤ f < 2,5 Hz	Não indicado	<table border="1"> <tr><th>Direção do modo de vibração da estrutura</th><th>Harmônico do caminhar</th><th>Sétra (2006)</th><th>JRC-ECCS (2009)</th></tr> <tr><td rowspan="3">Vertical e longitudinal</td><td>1°</td><td>1,0 Hz ≤ f &lt; 2,0 Hz</td><td>1,25 Hz ≤ f &lt; 2,3 Hz</td></tr> <tr><td>2°</td><td>2,0 Hz ≤ f &lt; 5,0 Hz</td><td>2,5 Hz ≤ f &lt; 4,5 Hz</td></tr> <tr><td>3°</td><td>0,3 Hz ≤ f &lt; 1,3 Hz</td><td>0,5 Hz ≤ f &lt; 1,2 Hz</td></tr> <tr><td>Transversal</td><td>2°</td><td>1,3 Hz ≤ f &lt; 2,5 Hz</td><td>Não indicado</td></tr> </table>	Direção do modo de vibração da estrutura	Harmônico do caminhar	Sétra (2006)	JRC-ECCS (2009)	Vertical e longitudinal	1°	1,0 Hz ≤ f < 2,0 Hz	1,25 Hz ≤ f < 2,3 Hz	2°	2,0 Hz ≤ f < 5,0 Hz	2,5 Hz ≤ f < 4,5 Hz	3°	0,3 Hz ≤ f < 1,3 Hz	0,5 Hz ≤ f < 1,2 Hz	Transversal	2°	1,3 Hz ≤ f < 2,5 Hz	Não indicado
Direção do modo de vibração da estrutura	Harmônico do caminhar	Sétra (2006)	JRC-ECCS (2009)																																				
Vertical e longitudinal	1°	1,0 Hz ≤ f < 2,0 Hz	1,25 Hz ≤ f < 2,3 Hz																																				
	2°	2,0 Hz ≤ f < 5,0 Hz	2,5 Hz ≤ f < 4,5 Hz																																				
	3°	0,3 Hz ≤ f < 1,3 Hz	0,5 Hz ≤ f < 1,2 Hz																																				
Transversal	2°	1,3 Hz ≤ f < 2,5 Hz	Não indicado																																				
Direção do modo de vibração da estrutura	Harmônico do caminhar	Sétra (2006)	JRC-ECCS (2009)																																				
Vertical e longitudinal	1°	1,0 Hz ≤ f < 2,0 Hz	1,25 Hz ≤ f < 2,3 Hz																																				
	2°	2,0 Hz ≤ f < 5,0 Hz	2,5 Hz ≤ f < 4,5 Hz																																				
	3°	0,3 Hz ≤ f < 1,3 Hz	0,5 Hz ≤ f < 1,2 Hz																																				
Transversal	2°	1,3 Hz ≤ f < 2,5 Hz	Não indicado																																				
	2°	<table border="1"> <tr><th>Direção do modo de vibração da estrutura</th><th>Harmônico do caminhar</th><th>Sétra (2006)</th><th>JRC-ECCS (2009)</th></tr> <tr><td rowspan="3">Vertical e longitudinal</td><td>1°</td><td>1,0 Hz ≤ f &lt; 2,0 Hz</td><td>1,25 Hz ≤ f &lt; 2,3 Hz</td></tr> <tr><td>2°</td><td>2,0 Hz ≤ f &lt; 5,0 Hz</td><td>2,5 Hz ≤ f &lt; 4,5 Hz</td></tr> <tr><td>3°</td><td>0,3 Hz ≤ f &lt; 1,3 Hz</td><td>0,5 Hz ≤ f &lt; 1,2 Hz</td></tr> <tr><td>Transversal</td><td>2°</td><td>1,3 Hz ≤ f &lt; 2,5 Hz</td><td>Não indicado</td></tr> </table>	Direção do modo de vibração da estrutura	Harmônico do caminhar	Sétra (2006)	JRC-ECCS (2009)	Vertical e longitudinal	1°	1,0 Hz ≤ f < 2,0 Hz	1,25 Hz ≤ f < 2,3 Hz	2°	2,0 Hz ≤ f < 5,0 Hz	2,5 Hz ≤ f < 4,5 Hz	3°	0,3 Hz ≤ f < 1,3 Hz	0,5 Hz ≤ f < 1,2 Hz	Transversal	2°	1,3 Hz ≤ f < 2,5 Hz	Não indicado	Não indicado																		
Direção do modo de vibração da estrutura	Harmônico do caminhar	Sétra (2006)	JRC-ECCS (2009)																																				
Vertical e longitudinal	1°	1,0 Hz ≤ f < 2,0 Hz	1,25 Hz ≤ f < 2,3 Hz																																				
	2°	2,0 Hz ≤ f < 5,0 Hz	2,5 Hz ≤ f < 4,5 Hz																																				
	3°	0,3 Hz ≤ f < 1,3 Hz	0,5 Hz ≤ f < 1,2 Hz																																				
Transversal	2°	1,3 Hz ≤ f < 2,5 Hz	Não indicado																																				

Fonte: Elaboração própria

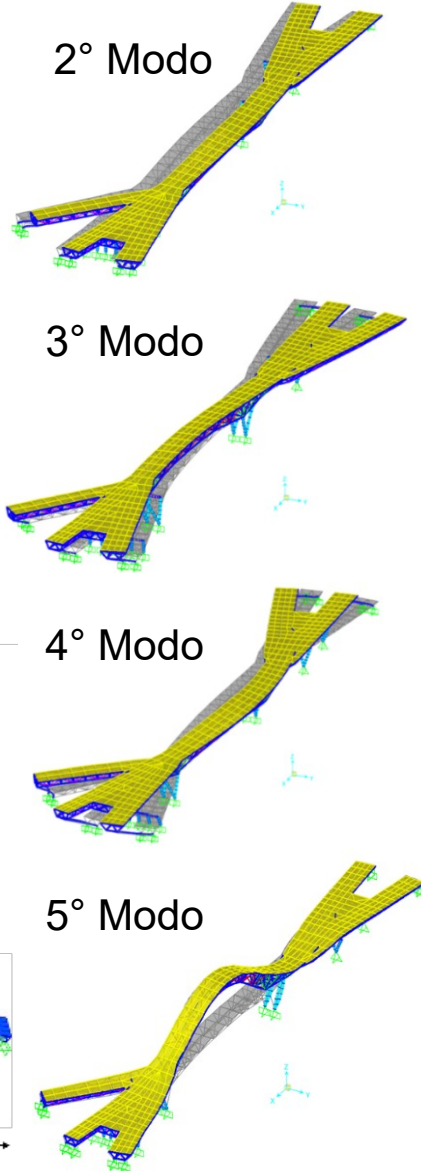
Considerar a massa dos pedestres?



# Aplicação de carregamentos de pedestres



(dimensões em metros)



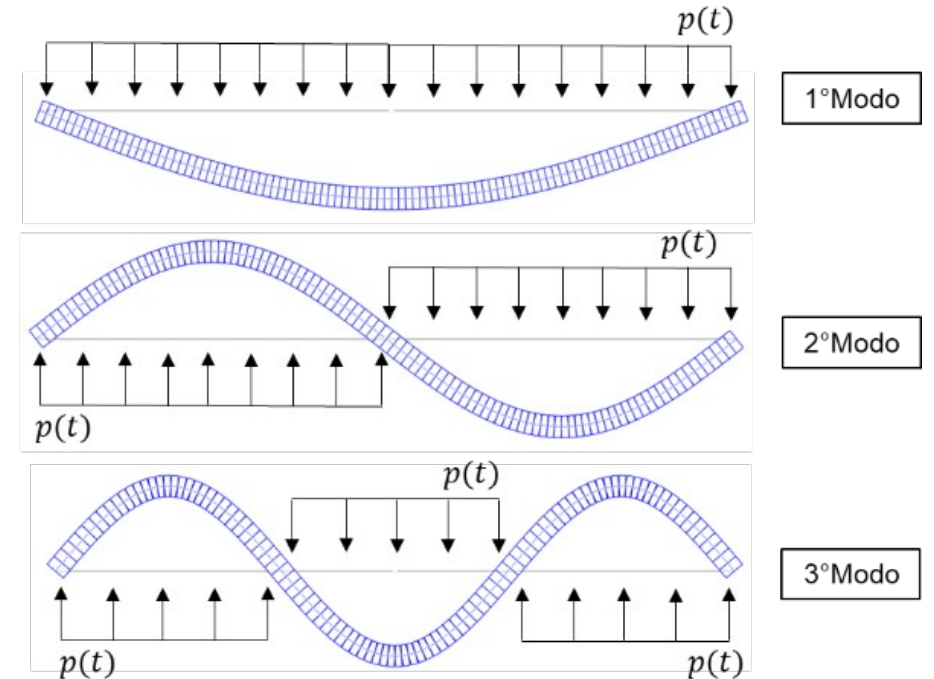
$$p(t) = \alpha_1 G_0 N_{eq} \psi \cos(2\pi f_c t)$$

Peso estático dos pedestres (700 N)

Frequência do modo estudado

Número equivalente de pedestres

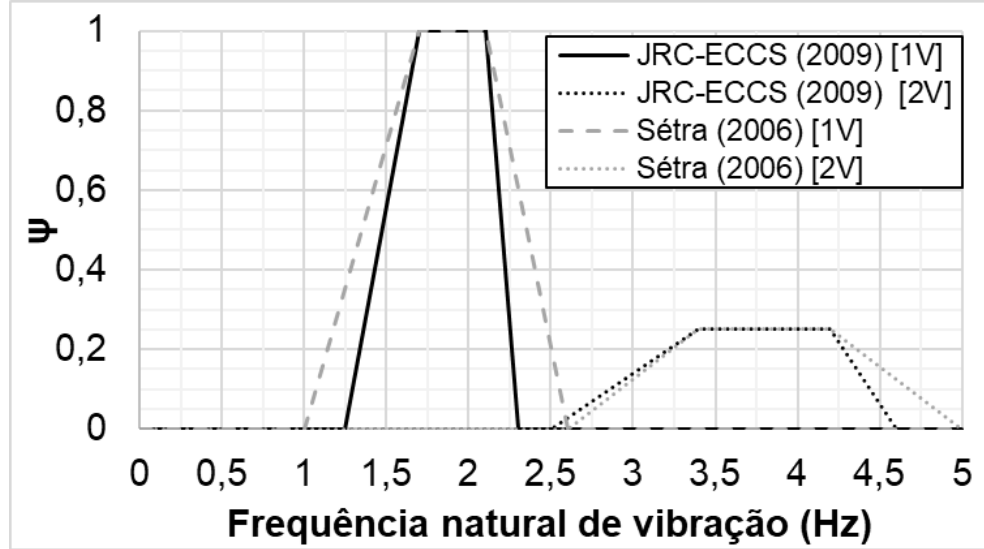
$$N_{eq} = \begin{cases} 10,8d\sqrt{\xi/N}, & d < 1 \\ 1,85d\sqrt{1/N}, & d \geq 1 \end{cases}$$



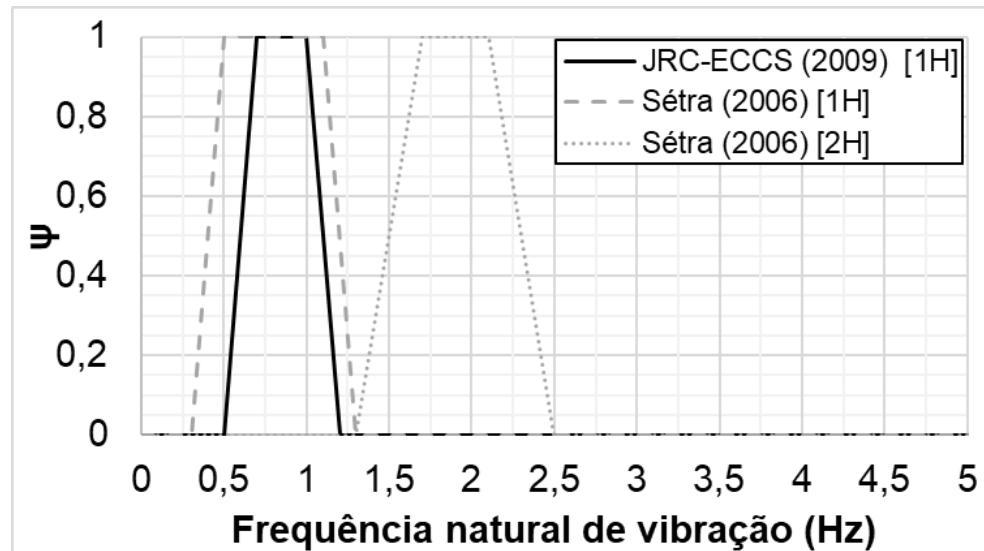
# Aplicação de carregamentos de pedestres

**Coefficiente de redução do carregamento dinâmico**

Modos verticais e longitudinais



Modos transversais



**Coefficients of Fourier for activities of walking and running according to Bachmann et al. (1995).**

Atividade	Componente	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\phi_1$	$\phi_2$
Caminhada	Vertical	0,4	0,1		
	Longitudinal	0,2	0,1	$\sim 0$	$\sim 0$
	Transversal	0,1	0,1	$\sim 0$	$\sim 0$
Corrida	Vertical	1,6	0,7	0	0,2

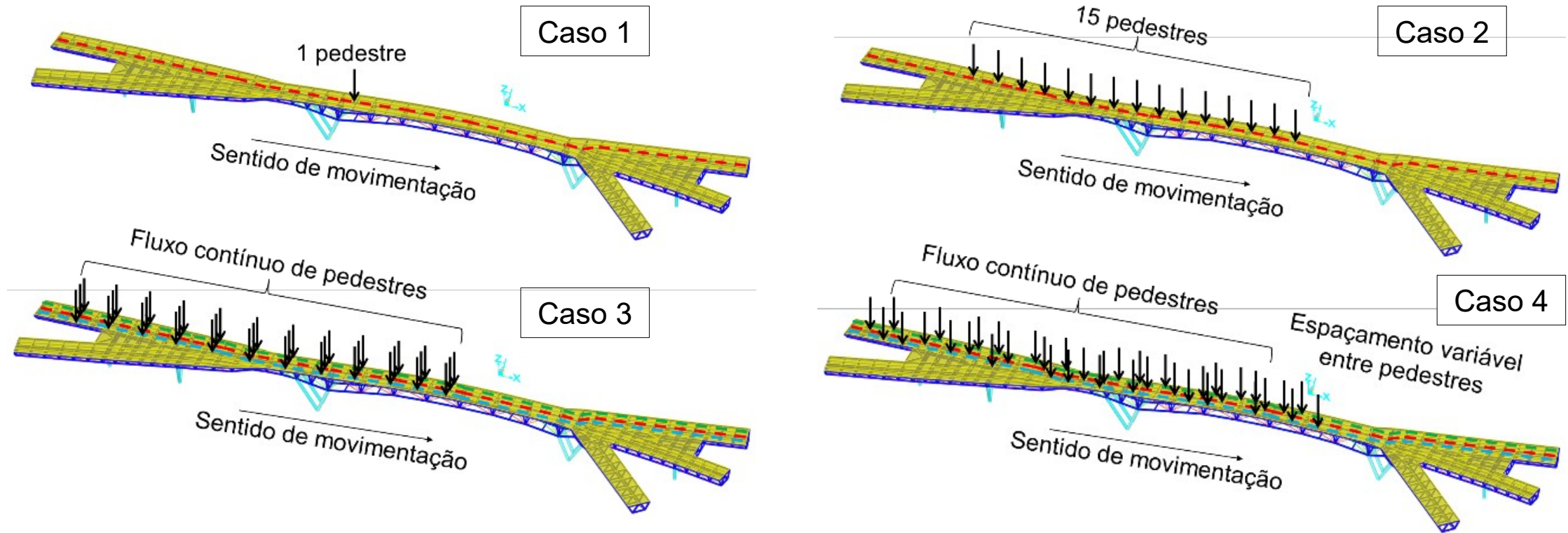
$$F_v(t) = G_0 + G_0 \sum_i^{nh} \alpha_i \text{sen}(i2\pi f_s t - \phi_i),$$

$$F_l(t) = G_0 \sum_i^{nh} \alpha_i \text{sen}(2i\pi f_s t - \phi_i).$$

$$F_h(t) = G_0 \sum_i^{nh} \alpha_i \text{sen}(i\pi f_s t - \phi_i).$$

$f_s$  → Frequência de passada dos pedestres

# Aplicação de carregamentos de pedestres



## METODOLOGIAS DE ANÁLISE UTILIZANDO MODELAGEM COMPUTACIONAL

I. Segue estritamente as diretrizes propostas nos guias de passarelas de pedestres;

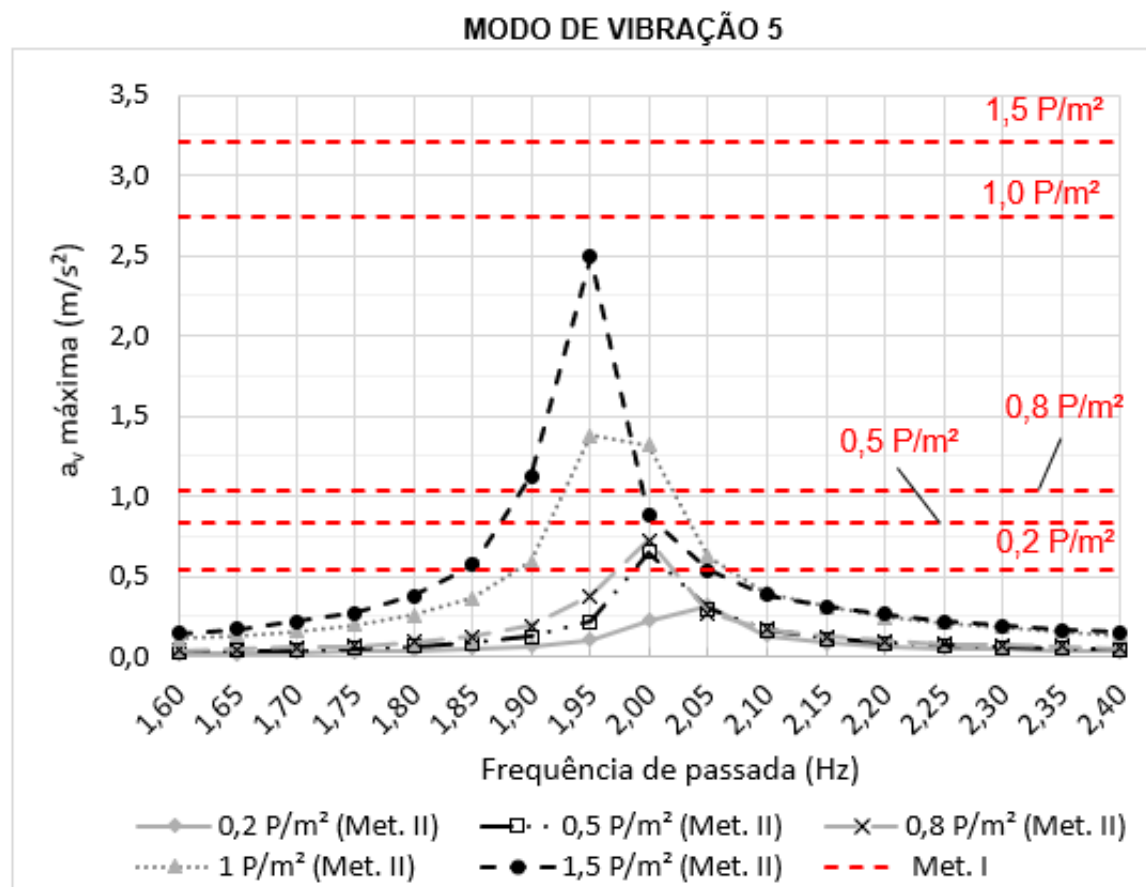
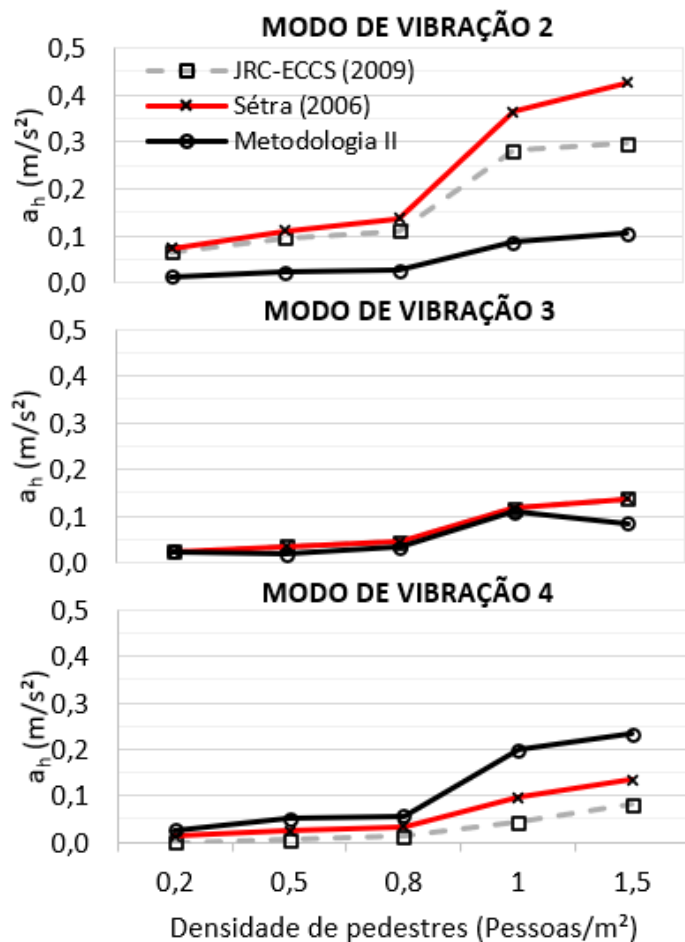
II. Adaptações em relação às diretrizes propostas nos guias de passarelas

$$p(t) = \alpha_1 G_0 N_{eq} \cos(2\pi f_s t)$$

III. Aplicação do carregamento de pedestres de forma pontual (densidades de 0,2 e 0,5 pessoa/m<sup>2</sup>)

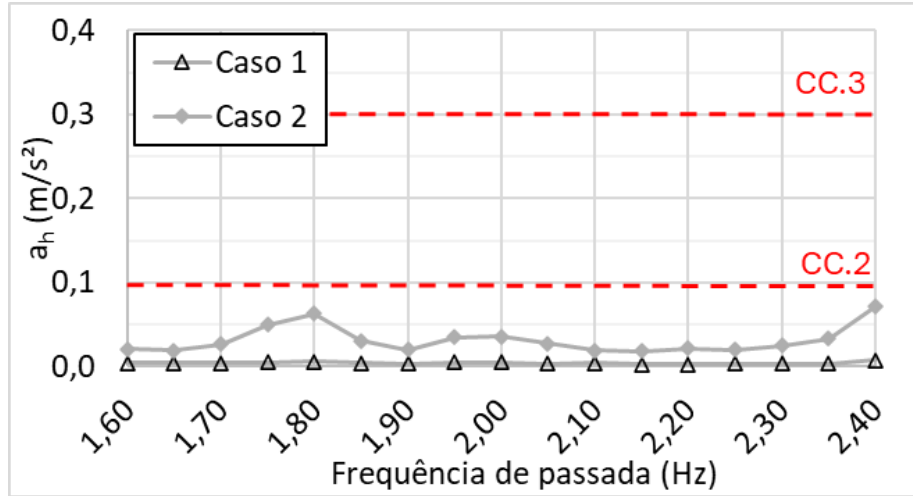
# Resultados – Metodologia I x II

Classe de conforto	Nível de conforto	Aceleração vertical e longitudinal (m/s <sup>2</sup> )	Aceleração transversal (m/s <sup>2</sup> )
CC.1	Máximo	<0,5	<0,1*
CC.2	Médio	0,5 – 1,0	0,1* – 0,3
CC.3	Mínimo	1,0 – 2,5	0,3 – 0,8
CC.4	Desconforto inaceitável	>2,5	>0,8

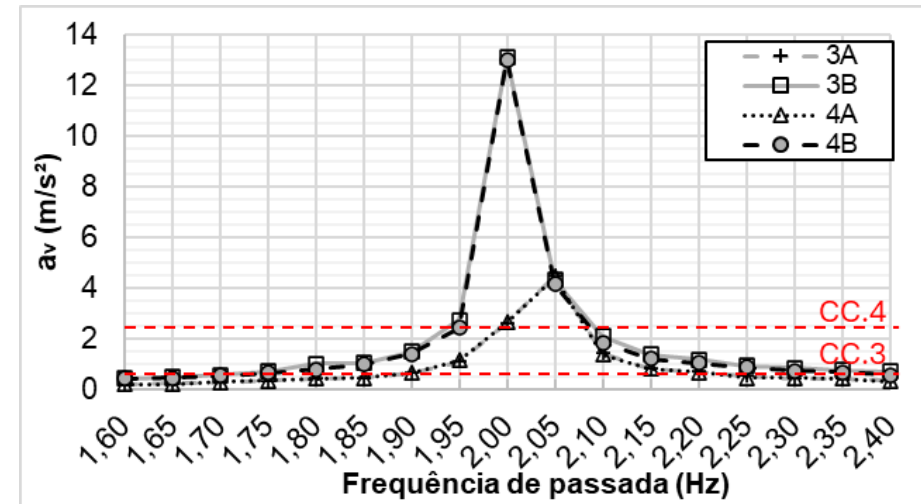
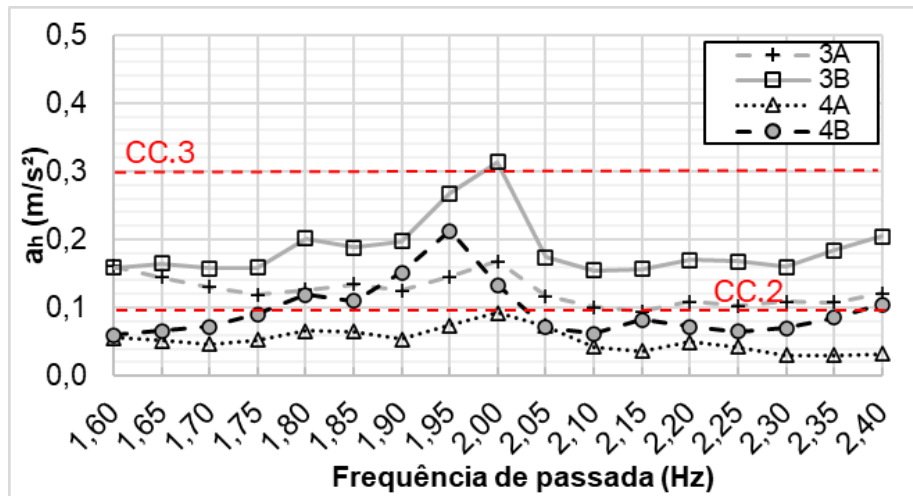
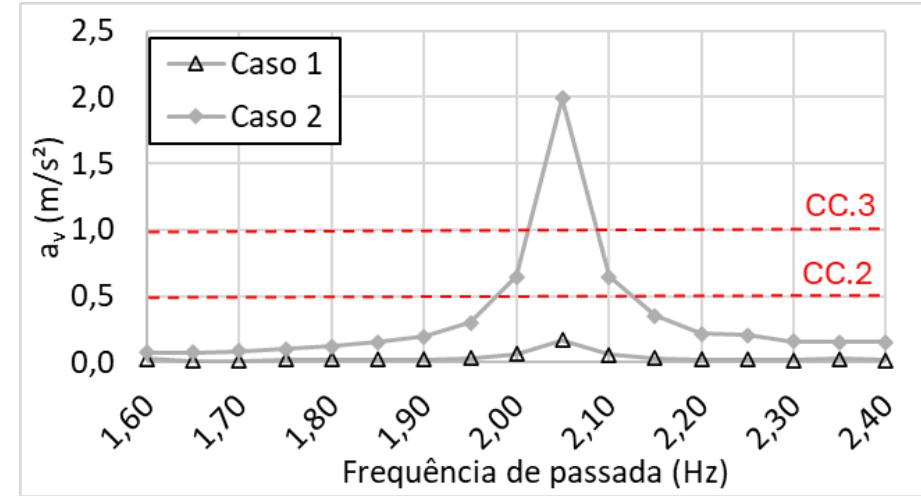


# Resultados – Metodologia III

Acelerações transversais



Acelerações verticais



## MÉTODO ANALÍTICO DA RESPOSTA ESPECTRAL

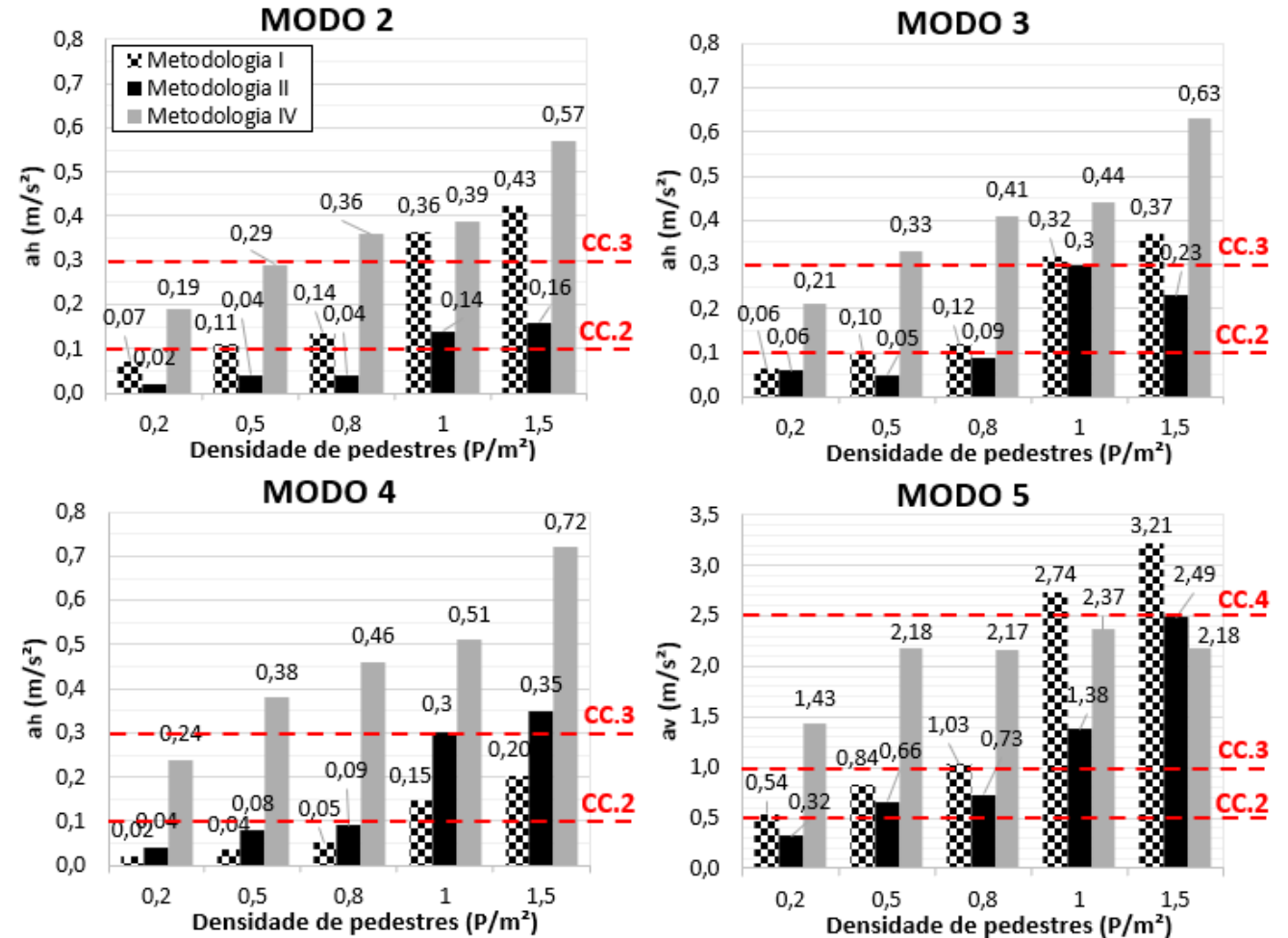
- Butz et al. (2008);
- Dispensa análise computacional;
- Simulações de Monte Carlo;
- Aplicável para tipologias simples de passarelas (biapoiadas, massa constante ao longo do vão etc);
- Utilizado na ABNT NBR 7187 (em seu anexo C);

$$a_{max,k} = \frac{k_{a,k}}{m_i^*} \sqrt{k_F N k_1 \xi^{k_2} C}$$

Correção de unidades

$$a_{max,k} = \frac{1000 k_{a,k}}{m_i^*} \sqrt{k_F N k_1 \xi^{k_2} C}, [m/s^2]$$

- Correção necessária para ajuste dimensional;
- Subestimação de 3 ordens de grandeza dos valores de aceleração;



# Conclusões

- A metodologia I fornece estimativas de acelerações mais conservadoras em relação à metodologia II;
- A metodologia III resultou em acelerações verticais significativamente maiores, notadamente no modo vertical, nas faixas de frequência próximas a 2 Hz;
- Na metodologia IV, os resultados obtidos por meio do método analítico da resposta espectral mostraram-se, em sua maioria, mais conservadores do que os obtidos pelas demais metodologias;
- Foi identificada uma inconsistência relevante na expressão de cálculo das acelerações máximas proposta pela ABNT NBR 7187, que pode resultar na subestimação das acelerações e, conseqüentemente, em avaliações equivocadas quanto ao conforto dos usuários;
- Os resultados indicam que a passarela Santana-Torre apresenta suscetibilidade a problemas de conforto, apesar das variações entre os métodos;
- Eventuais alterações na concepção estrutural e introdução de dispositivos de controle de vibrações.

# CONSTRU METAL 2025

**09 SET**

Allianz Parque  
São Paulo-SP

10° CONGRESSO LATINO-AMERICANO DA CONSTRUÇÃO METÁLICA

[WWW.CONGRESSOCONSTRUMETAL.COM.BR](http://WWW.CONGRESSOCONSTRUMETAL.COM.BR)



@CONGRESSOCONSTRUMETAL

REALIZAÇÃO



ORGANIZAÇÃO E PROMOÇÃO



AGÊNCIA DE VIAGENS OFICIAL

