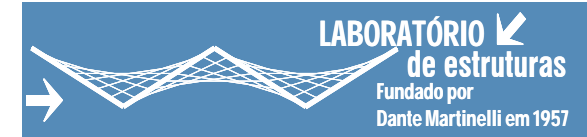




Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Engenharia de Estruturas



1

Verificação de vibrações excessivas em pisos de lajes alveolares de concreto pré-fabricado

Harmful vibration assessment in floor slabs of precast concrete hollow core elements

Hidelbrando Diógenes
Engenheiro Civil

hidelbrando@sc.usp.br

Sandra F. Almeida
Engenheira Civil

sfalmeida@sc.usp.br

João Bento de Hanai
Professor Titular

jbhanai@sc.usp.br

São Carlos, 03 de Novembro de 2009

Painel Alveolar

2



- Grandes vãos 5 à 15 m, com relação vão/altura, da ordem de 50;
- Empregados com ou sem capa de concreto moldado in-loco;
- Empregados como componentes de sistemas de pavimento ou de parede portante;
- Prioritariamente fabricados por extrusão.
- Sem armadura para resistir ao esforço cortante

Motivação

3



Motivação

3

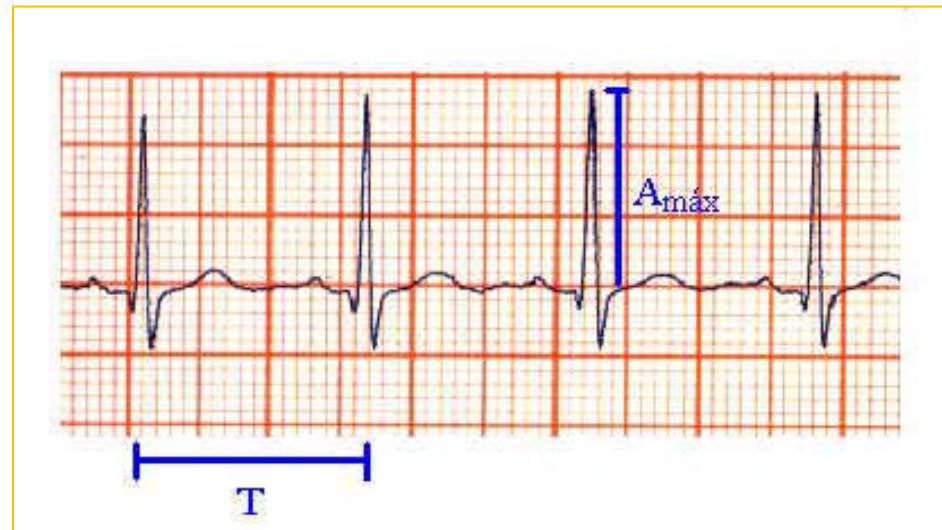


Ressonância!!!

Frequência Natural

4

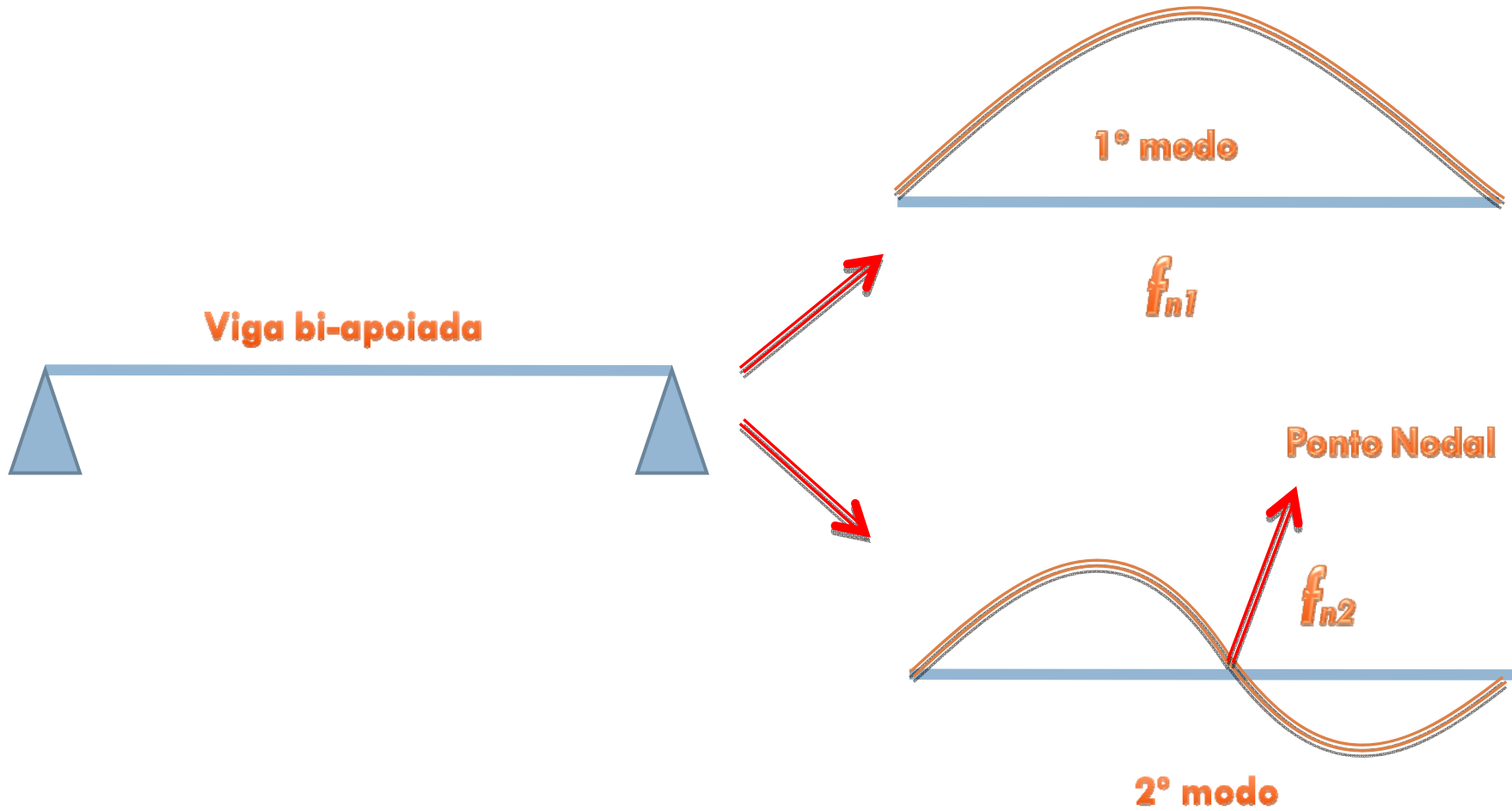
$$f = 1/T$$



- *Taxa de oscilação livre;*
- $f_n (m, K, \zeta);$
- *Característica global da estrutura.*

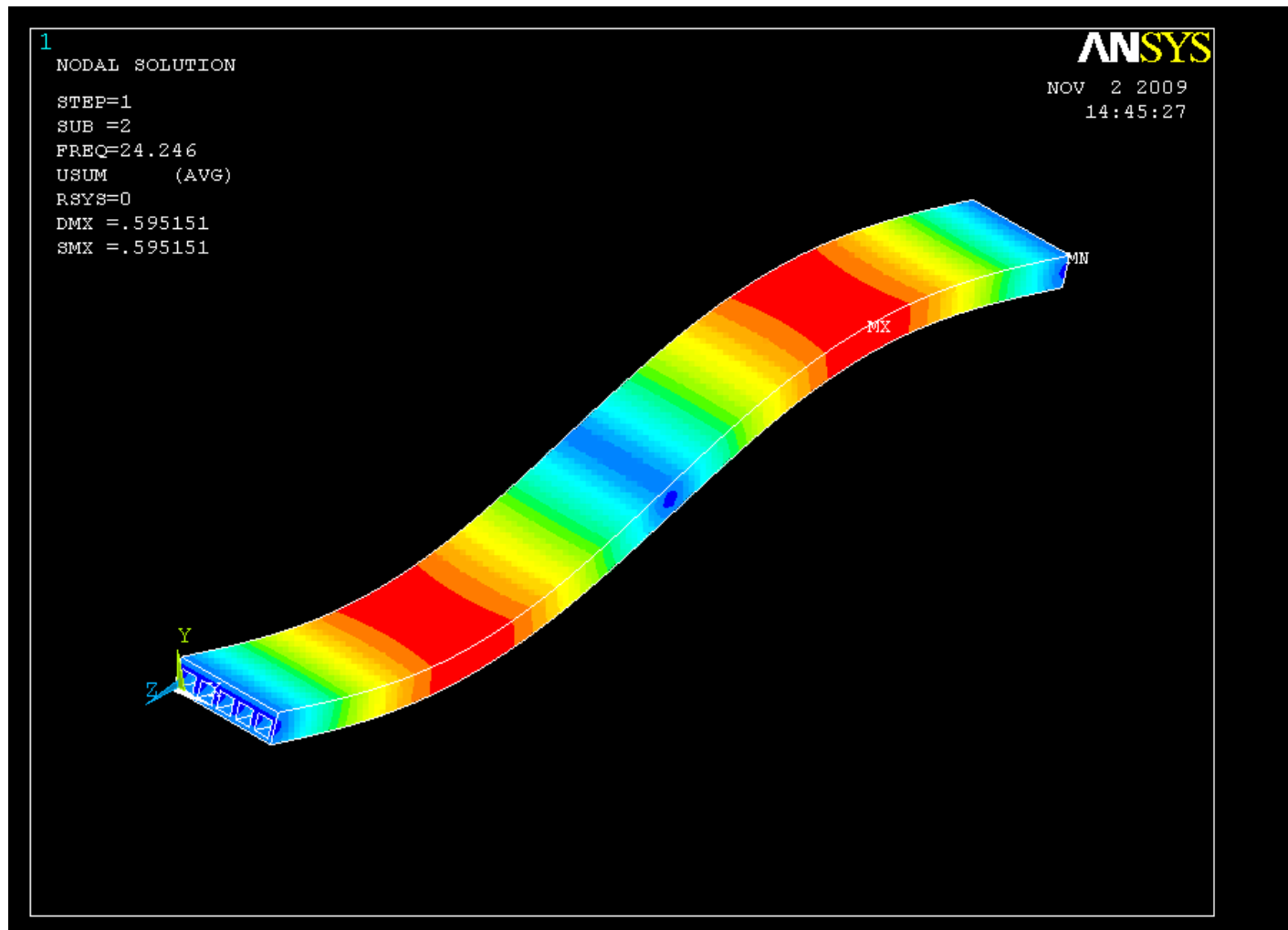
Modos de vibração

5



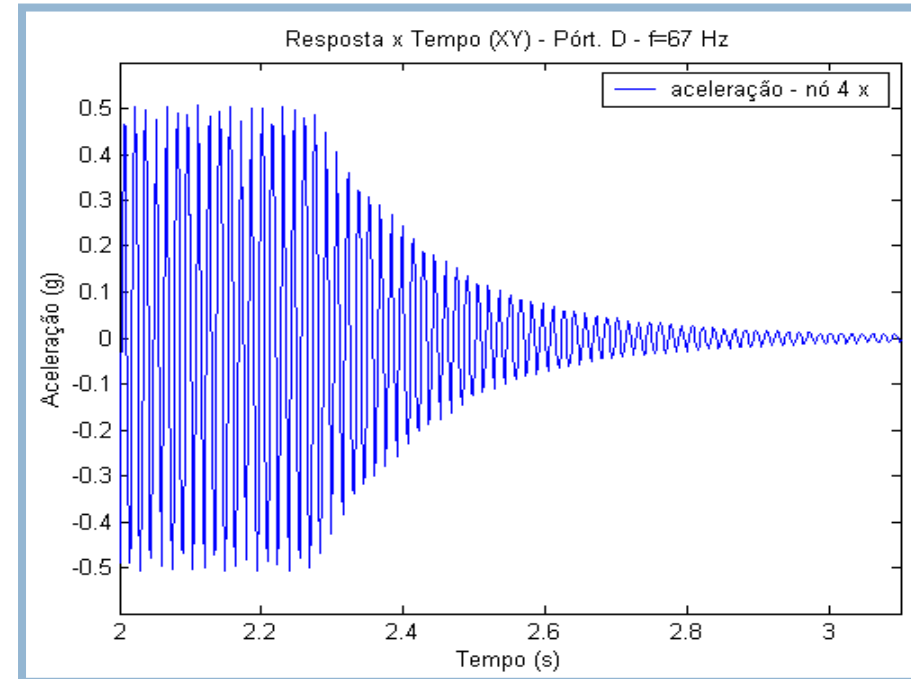
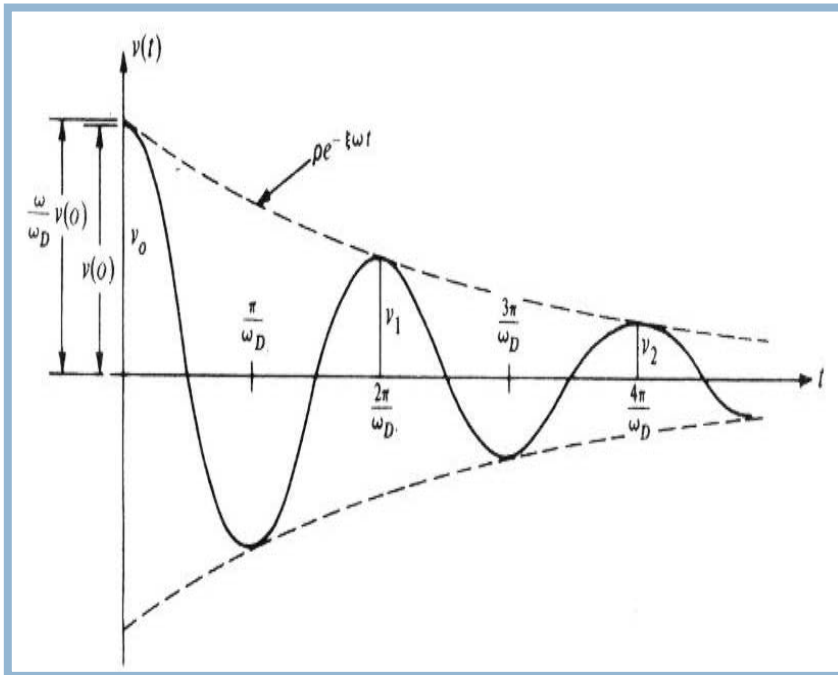
Modos de vibração

6



Amortecimento

7



- *A capacidade de cada material dissipar energia;*
- *Grandeza associada ao conforto dos usuários.*

Metodologia de análise

8

- Redução das ações;
- Redução de massa;
- Enrijecimento;
- Aumento do nível de amortecimento;
- Controle passivo;
- Controle ativo.

Método de Ajuste da Frequência!

Frequência Natural

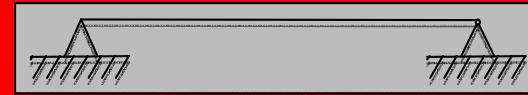
Sistemas Contínuos

9

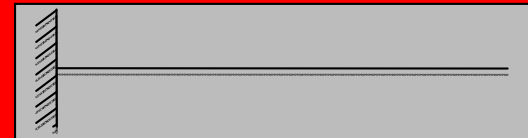
$$f_n = R \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{W \cdot L^4}} \text{ (Hz)}$$

Teoria de Euler-Bernoulli

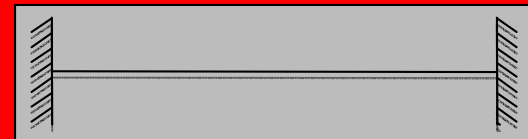
$$R=1,57$$



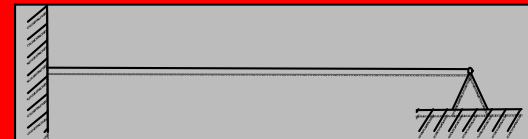
$$R=0,56$$



$$R=3,56$$



$$R=2,45$$



- Aumentando-se **EI**, aumenta-se a frequência;
- Aumentando-se **w**, diminui-se a frequência.
- **OBS: AVALIAR O EFEITO DA PROTENSÃO**

Recomendações Normativas

10

□ NBR 6118:2003

CASO	f_{crit} (Hz)	$f_{mín}$ (Hz)
Ginásio de esportes	8,0	9,6
Salas de dança ou de concerto sem cadeiras fixas	7,0	8,4
Escritórios	3,0 a 4,0	3,6 a 4,8
Salas de concerto com cadeiras fixas	3,4	4,1
Passarelas de pedestres ou ciclistas	1,6 a 4,5	1,9 a 5,4

Recomendações Normativas

11

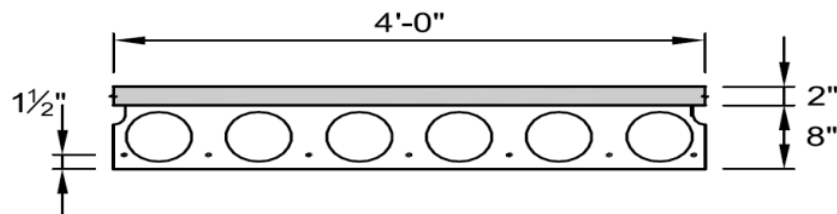
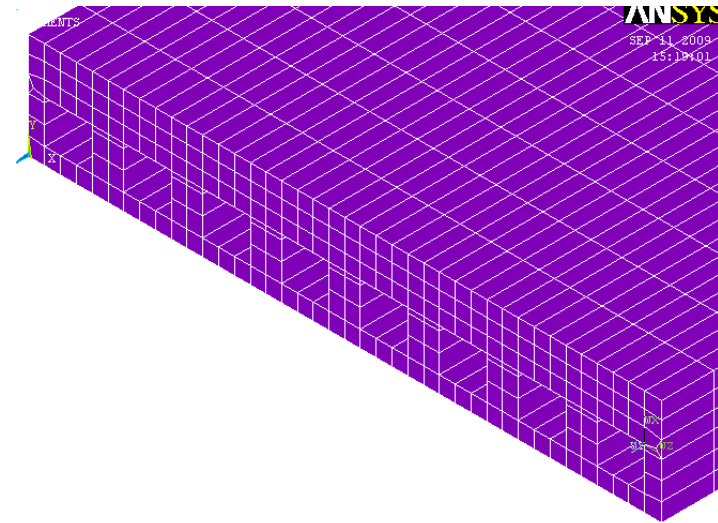
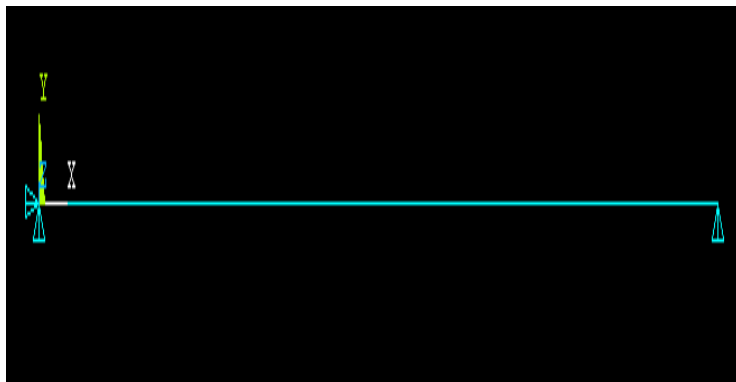
- PCI – Precast/Prestressed Concrete Institute (2004)
 - Cálculo da frequência natural;
 - Frequências mínimas:
 - Caminhada;
 - Atividade ritmada;
 - Limites de aceleração de acordo com a atividade.

Avaliação Painel duplo – T

12

Elemento	I (m ⁴)	w _{painel} (kN/m ²)	B _{painel} (m)
4HC6+2	0,0007533	4,565	1,22
4HC8+2	0,0013986	5,016	1,22
4HC10+2	0,0024042	5,726	1,22
4HC12+2	0,0035068	5,774	1,22

Concreto: para $f_{ck}= 30$ MPa , $E_{s,din}=31.286$ MPa e para $f_{ck}= 40$ MPa , $E_{s,din}=36.126$ MPa



Comparativo MEF x Analítico

13

- Vão = 10m;
- Fck = 40MPa

Elemento	f_n (Hz) MEF-Sólido	Δ (%)	f_n (Hz) MEF-Barra	Δ (%)	f_n (Hz) Analítico	Δ (%)
4HC6+2	3,80	0%	3,63	-4,47%	3,80	0%
4HC8+2	4,99	0%	4,77	-4,41%	4,94	-1,00%
4HC10+2	6,11	0%	5,73	-6,22%	6,06	-0,82%
4HC12+2	7,34	0%	7,04	-4,09%	7,28	-0,82%
Δ(%)média	-	0%	-	-4,8%	-	-0,66%

Avaliação Painel duplo – T

14

Painel	Vão Limite (m)				
	Ginásio de Esportes (> 9,6Hz)	Salas de dança ou de concerto sem cadeiras fixas (> 8,4Hz)	Escritórios (> 4,8Hz)	Salas de concerto com cadeiras fixas (> 4,1Hz)	Passarelas (> 5,4 Hz)
4HC6+2 ($f_{ck}=30\text{MPa}$)	6,0	6,0	8,0	9,0	8,0
4HC6+2 ($f_{ck}=40\text{MPa}$)	6,0	6,0	8,0	9,0	8,0
4HC8+2 ($f_{ck}=30\text{MPa}$)	6,0	7,0	9,0	10,0	9,0
4HC8+2 ($f_{ck}=40\text{MPa}$)	7,0	7,0	10,0	11,0	9,0
4HC10+2 ($f_{ck}=30\text{MPa}$)	7,0	8,0	10,0	11,0	10,0
4HC10+2 ($f_{ck}=40\text{MPa}$)	7,0	8,0	11,0	12,0	10,0
4HC12+2 ($f_{ck}=30\text{MPa}$)	8,0	9,0	11,0	12,0	11,0
4HC12+2 ($f_{ck}=40\text{MPa}$)	8,0	9,0	12,0	13,0	11,0

Conclusão

15

- ELS - Vibrações excessivas;
- Frequências inferiores à 3 Hz, não são recomendadas;
- NBR conservadora, porém limitada;
- PCI avaliação detalhada, portanto melhor;
- Modelo analítico é confiável, em relação ao MEF;
- Avaliar os efeitos da protensão.

Agradecimentos

16

