

4.3.3.4 - Métodos Não Lineares

1

* Geral

- Em estruturas de betão e alvenaria, a rigidez elástica deve ser calculada assumindo a respectiva fendilhada.
- ~~Os valores de~~ Excepto se for especificado de outra forma, as propriedades dos materiais devem se basear em valores médios.
- Os momentos devido às cargas gravitacionais em elementos verticais podem ser desprezados, a não ser que tenham influência no comportamento global.

* Análise Estática Não-Linear (pushover)

- Análise levada a cabo sobre a acção constante das cargas gravitacionais e o incremento monotónico das cargas horizontais. Pode ser aplicada a estruturas novas ou a edifícios existentes.

"Lateral Loads"

- Deverá ser utilizada pelo menos 2 padrões de carga lateral:
 - Uniforme (força proporcional à massa)
 - Modal

- Curva de Capacidade: relação entre o corte basal e o deslocamento de controle. deve ser determinada por análise de pushover (deslocamento de controle entre 0 e 150% do valor objetivo)
- O deslocamento do topo pode ser considerado como deslocamento de controle

ANEXO B - Cálculo do deslocamento objetivo

- Transformação numa ordem de 1º equivalente.

$$M^* = \sum m_i \phi_i = \sum \bar{F}_i \quad \bar{F}_i = m_i \phi_i$$

$\phi_n = 1$

Factor de transformação

$$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \phi_i^2} = \frac{\sum \bar{F}_i}{\sum \left(\frac{\bar{F}_i^2}{m_i} \right)}$$

$$F^* = \frac{F_b}{\Gamma} \quad d_n^* = \frac{d_n}{\Gamma}$$

F_b - força de corte basal

d_n - deslocamento do nível de controle

$$d_y^* = 2 \left(d_m^* - \frac{F_m^*}{f_y^*} \right)$$

$$F_m^* = \frac{1}{2} f_y d_y^* + f_y (d_m^* - d_y^*)$$

$$F_m^* - f_y d_m^* = \frac{1}{2} f_y d_y^* - f_y d_y^*$$

$$F_m^* - f_y d_m^* = -\frac{1}{2} f_y d_y^*$$

$$-\frac{F_m^*}{f_y} + d_m^* = \frac{1}{2} d_y^* \quad \left[d_y^* = 2 \left(d_m^* - \frac{F_m^*}{f_y} \right) \right]$$

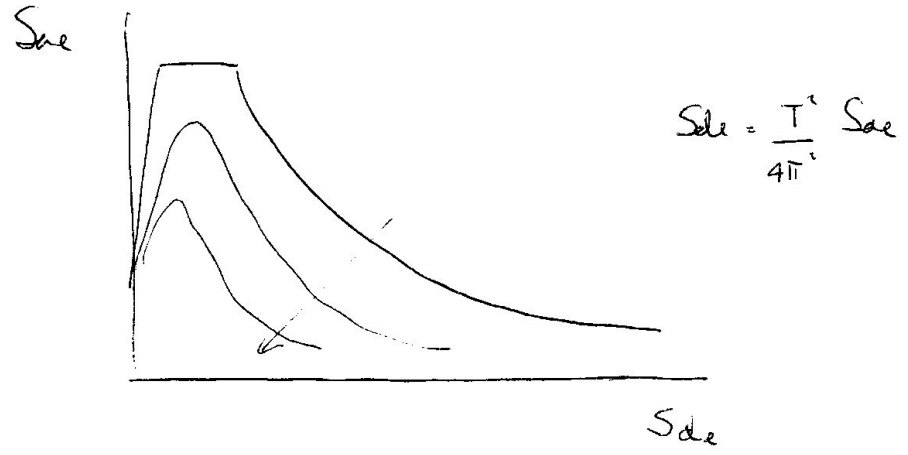
Period $T^* = 2\pi \sqrt{\frac{m^* d_y^*}{f_y^*}}$

*Target displacement:

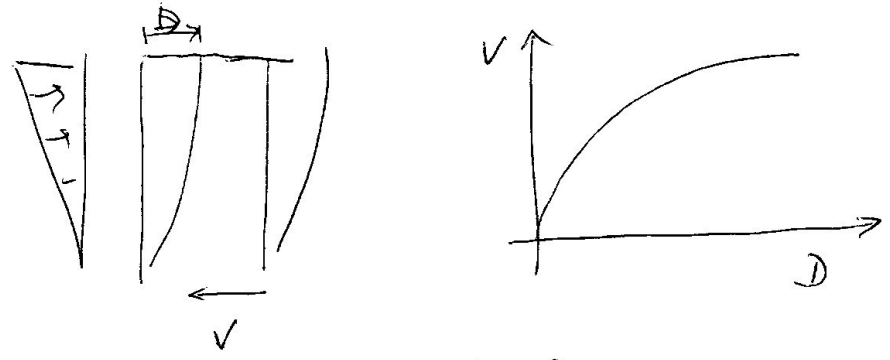
$$d_{et}^* = S_e(T^*) \left[\frac{T^*}{2\pi} \right]^2$$

↑ spectra elastic de accelerations

$$d_t = \Gamma d_t^*$$



espectro para diferentes valores de μ



$$F^* = \frac{F}{\Gamma} \quad D^* = \frac{D}{\Gamma}$$

$$S_z = \frac{P^*}{m^*}$$

$$m^* = \sum m_i \phi_i^2$$

- 1º Modelo
- 2º Acel.
- 3º Curva de Capacidade (pushover)
- 4º Sistema equivalente de 1GL (forças-deslocamentos)
- 5º Desempenho sísmico do sistema 1GL
- 6º " " do sistema nGL
- 7º " " estrutural

1
4.3.3.5.1 Combinação das componentes horizontais
de cada sismos

- não se considera de novo os efeitos dos efeitos de cada uma das componentes horizontais de cada.

(4) Podem ser utilizados coeficientes de combinação diferentes em cada uma das direções desde que o edifício tenha características de regularidade em altura diferentes em e direção.

4.3.3.5.2 Acção Vertical

Deve ser considerada se $a_{vg} > 0,25g$ e

- vãos $<$ mas de 20m
 - eixos $<$ mas de 8m
 - elementos pré-fabricados
 - vigas que servem de suporte a pilares
 - estruturas com isolamento de base
- ↑ que as horizontais
↓
- Podem-se fazer modelos parciais de estrutura

Folhas em
net

4.3.4 Cálculo de deslocamentos

Numa análise linear

$$ds = q_d \cdot de$$

em geral assume-se $q = q_d$

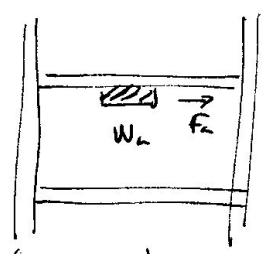
- Em geral q_d é maior do que q se o período fundamental de estrutura é inferior a T_c .

4.3.5 Elementos não estruturais.

$$F_a = (S_e \cdot W_a \cdot \gamma_a) / q_a$$

γ_a - factor de importância

q_a - coeficiente de comportamento (Tabela 4.4)



$$S_a = \alpha S [3(1 + z/H) / (1 + (1 - T_a/T_c)^2 - 0.5)]$$

↑
percentagem de z (soil factor)

Se $T_a = 0$ (estrutura muito rígida e com fixação rígida)

$$S_a = \alpha S [3(1 + z/H) / 2 - 0.5]$$

$$S_z = \alpha S \left[\frac{3}{2} \left(1 + \frac{z}{H} \right) - 0.5 \right]$$

para $z=0 \rightarrow S_z = \alpha S$

para $z=H \rightarrow S_z = 2.5 \alpha S$ (mas sem prova!)

Factor de importância $\gamma_z = 1.5$ para elementos perigosos.

4.3.6 Medidas adicionais para estruturas preenchidas com alvenaria.

- Interrupção com alvenarias que foram colocadas após o endurecimento do betão.
- Para estruturas de tipo parede, a interrupção com as alvenarias pode ser desprezada.

Irregularidades ~~para~~ em plantas provocadas pela distribuição das alvenarias.

Irregularidade em altura e o factor de amplificação de vento

$$\eta = \left(1 + \frac{\Delta V_{RW}}{z \cdot V_{Ed}} \right) \leq 1.4$$

4.4 Verificação de Segurança

Não há necessidade de considerar os efeitos de 2^a ordem se se verificam as seguintes condições, para todos os pilares.

$$\theta = \frac{P_{tot} \cdot d_r}{V_{tot} \cdot h} \leq 0,10$$

$$0,1 < \theta < 0,2 \quad \text{factor } \frac{1}{1-\theta}$$

4.4.2.3

$$\Sigma M_{RC} \geq 1,3 \Sigma M_{RB}$$

4.4.3 Damage Limitation Requirement

7. Pontes com isolamento sísmico

1

* A redução da resposta sísmica pode ser obtida:

- aumento do período, que reduz as forças e aumenta os deslocamentos
- aumentando o amortecimento, que reduz os deslocamentos e pode reduzir as forças.
- uma combinação dos dois efeitos.

* A resposta sísmica de superestruturas e de subestruturas são consideradas como de ductilidade limitada (95%)

7.5 Métodos e Modelos de Análise

- Análise espectral com modo fundamental
- Análise modal com espectro de resposta
- Análise não linear no domínio do tempo.

Para aplicar os métodos a) e b) é necessário que o comportamento não linear dos sistemas de isolamento possam ser aproximados por uma rigidez efetiva.

A energia dissipada pelo sistema de isolamento pode ser aproximada por um amortecimento equivalente.

- Condicao para rigidez vertical.

- Comportamento Histeretico

- Apoios Elastomericos

Low Damping ($\gamma < 6\%$) Elastico Linear
High Damping ($10\% < \gamma < 20\%$) HISTERETICO LINEAR

Lead Rubber Bearings (LRB)

- Dissipadores Viscosos

A força nos dissipadores é zero para pequenos deslocamentos e por isso não contribuem para a rigidez efetiva do sistema de isolamento.

$$E_D = \lambda(\alpha_b) F_{max} d_{ed}$$

$$\lambda(\alpha_b) = 2^{2+\alpha_b} \frac{F^2 (1+0,5\alpha_b)}{\Gamma(2+\alpha_b)}$$

$\alpha_b = 1$
0,8
0,75
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2

α	λ
1,00	3,142
0,50	3,496
0,25	3,724
0,20	3,774
0,15	3,827
0,10	3,882
0,05	3,940

$$d = A \sin(\omega t)$$

$$d = A \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right)$$

$$v = \frac{2\pi}{T} A \cos\left(\frac{2\pi}{T} t\right)$$

$$f = C |v|^n \text{sign}(v)$$

$$\xi = \frac{2}{\pi} \frac{E_D}{A_{rect.}}$$

Dissipadores ~~com~~ ^{por} atrito

$$F_{max} = \mu_d N_{sd} \text{sign}(\dot{d}_b)$$

μ_d - coeficiente de atrito dinâmico

Estes aparelhos podem causar grandes danos. correntes permanentes puls que devem ser utilizadas em conjunto com elementos com capacidade de restrição.

Sistemas com superfície curvas

$$F_{max} = \frac{N_{sd}}{R_b} d_{sd} + \mu_d N_{sd} \text{sign}(\dot{d}_b)$$

$$E_D = 4 \mu_d N_{sd} d_{sd}$$

Condições para aplicação do método baseado são no modo fundamental:

- mas de 10m de comprimento
- solo de tipo A, B, C ou E
- $q < 0,30$ $q < 302$

Análise Modal

para verificar as condições b e c

Modo Fundamental

$$K_{eff} = \sum K_{eff,i}$$

$$g_{eff} = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{\sum E D_i}{K_{eff} d_{ca}^2} \right]$$

$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{M_d}{K_{eff}}}$$

Análise Modal

- O modelo deve reflectir a distribuição dos apoios de apoio
- o modelo deve representar a rigidez de translação e a rigidez de rotação em torno do eixo neutro

Condições de opm eletromecânica com
distribuidor viscoso:

Considerar a situação mais desfavorável de:

- no max. deslocamento - forças e
distribuição igual e zero

- max velocidade e dist nula

$$v_{max} = 2\pi \frac{d_{6d}}{T_{eff}}$$

- max. forças de inércia

$$F_{max} = (f_1 + 2 \xi_b f_2) / \xi M_d$$

$$f_1 = \cos(\operatorname{ctan}(2 \xi_b))$$

$$f_2 = \sin(\operatorname{ctan}(2 \xi_b))$$

$$\Delta f_m \approx 0,015 W_d \frac{d_{Rm}}{d_m}$$

$$d_{em} \leq d_m - 0,5 d_{e,max}$$

$$d_{e,max} = f_s d_b$$