



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil


Mestrado de Engenharia de Estruturas

Dinâmica e Engenharia Sísmica

Isolamento de Base

Luís Guerreiro

Abril, 2006



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Índice

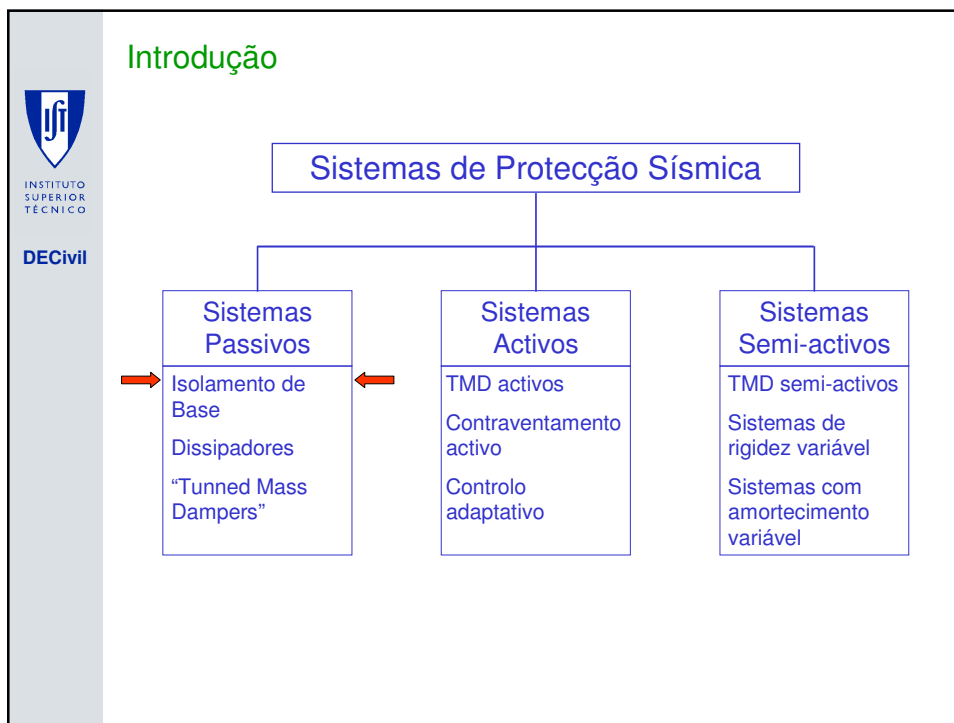
- Introdução
- O que é o Isolamento de Base
- Evolução dos Sistemas de Isolamento de Base
- Tipos de Sistemas de Isolamento de Base
- Métodos de Análise
- Pormenorização
- Exemplos de aplicação
- Reforço sísmico com Isolamento de Base
- Regulamentação

Introdução

Exploração da Capacidade Dúctil
(abordagem tradicional)

Utilização de Sistemas de Protecção Sísmica:

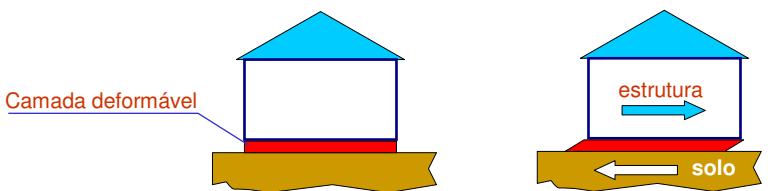
- Sistemas Passivos – não necessitam de fornecimento de energia
- Sistemas Activos – necessitam de energia para controlar o movimento da estrutura
- Sistemas Semi-activos – necessitam de energia para modificar as características dos dispositivos



IST
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
DECivil

O que é o Isolamento de Base – O conceito

De acordo com o conceito de **Isolamento de Base** o edifício (ou estrutura) é “separado” das componentes horizontais do movimento do solo através da interposição de uma camada com baixa rigidez horizontal entre a estrutura e a fundação.

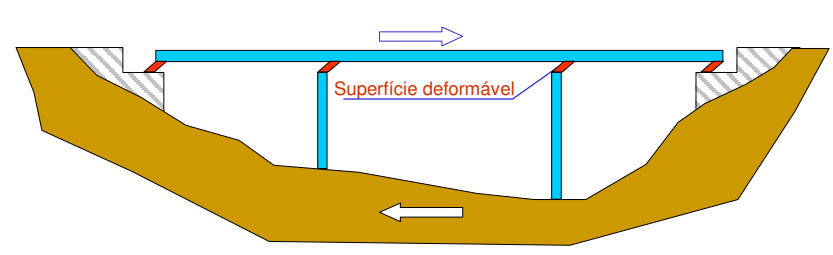


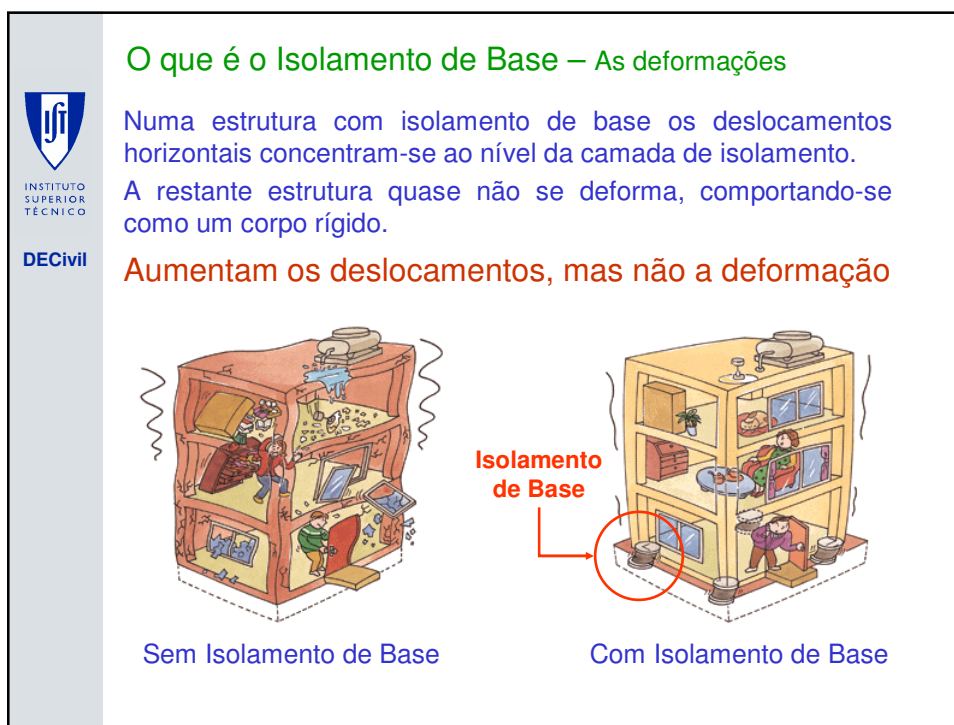
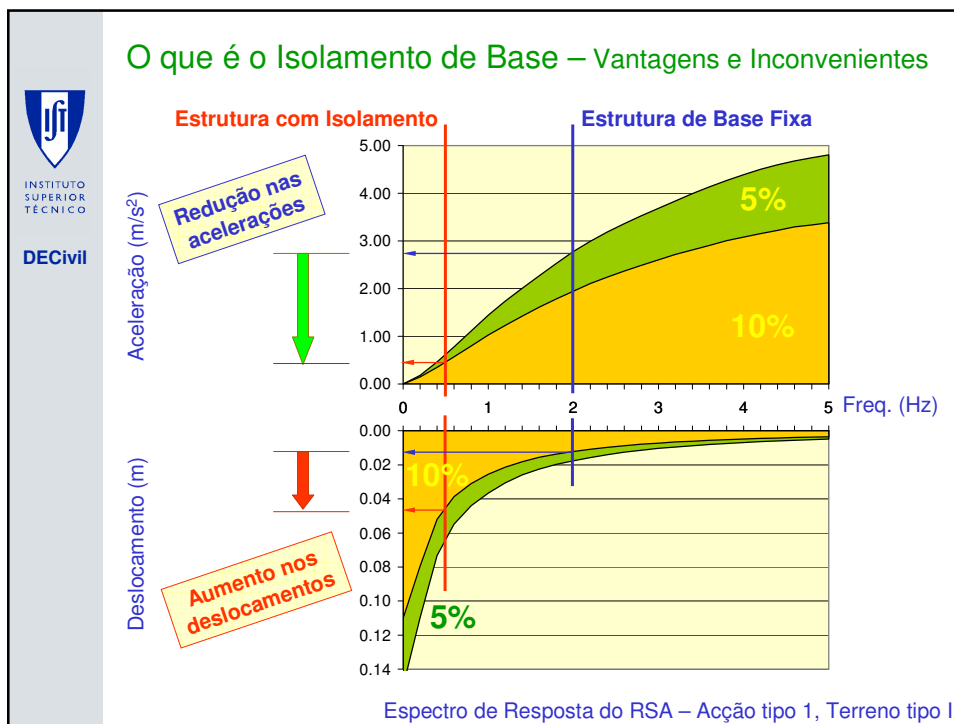
A consequência imediata da interposição de uma camada deformável é a **redução da frequência própria de vibração**.

IST
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
DECivil

O que é o Isolamento de Base – O conceito

Nas pontes os dispositivos de isolamento sísmico são instalados sob o tabuleiro, no topo dos pilares ou encontros





IST
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
DECivil

O que é o Isolamento de Base – A acção sísmica

A frequência própria das estruturas isoladas tem ainda a vantagem de ser inferior às frequências com maior conteúdo energético da acção sísmica.

O diagrama mostra um eixo horizontal rotulado 'Frequência (Hz)' com marcas de 0 a 5. À esquerda, entre 0 e 1 Hz, há um retângulo laranja com uma grade interna, rotulado 'estruturas com isolamento'. À direita, entre aproximadamente 1,5 e 4 Hz, há uma área verde hachurada com uma seta azul apontando para ela, rotulada 'acção sísmica'. Dentro desta área verde, há um retângulo azul rotulado 'estruturas de base fixa'.

IST
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
DECivil

O que é o Isolamento de Base – Características essenciais

Características que um sistema de isolamento de base deve apresentar:

- Capacidade de suporte
- Baixa rigidez horizontal
- Capacidade de dissipação de energia ($\zeta > 5\%$)
- Capacidade de restituição à posição inicial



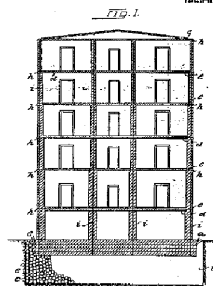
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

DECivil

Evolução dos Sistemas de Isolamento de Base – O início

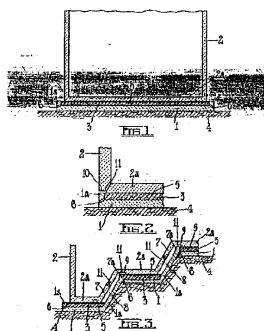
No início do sec. XX aparece a primeira referência a um sistema de protecção sísmica que pode ser considerado Isolamento de Base.

52-167
 STRUCTURAL COPY OF PATENT FOR RUBBER BEARINGS
 DIVISION, 1907, No. 13, 1870-1907
 PATENT OFFICE, WASHINGTON, D. C. 20540
 J. HOFFMANN
 PATENTED FEB. 24, 1908.
 CARTONNAGE POUR BÂTIMENTS.
 APPLICATION FILED IN FRANCE



Constructeurs: *Ed. Schickel* *J. H. Hoffmann*
 de *Reims* *Strasbourg*

March 1, 1902. N. W. DE MONTALK
 DEVICE FOR THE ISOLATION OF BUILDINGS FROM SEISMICITY
 Filed Aug 11, 1900



A. Winkler & P. H. B. A.
 de *München*

Este sistema foi patenteado em Munique no ano de 1906 e consistia numa placa rígida que servia de base de suporte ao edifício e que, por sua vez, estava assente sobre um conjunto de roletes de material rijo.

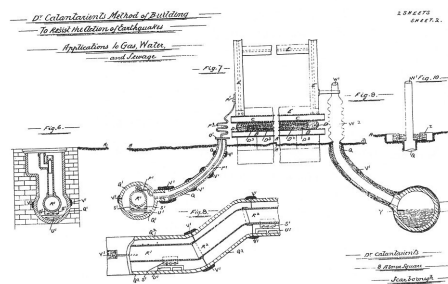
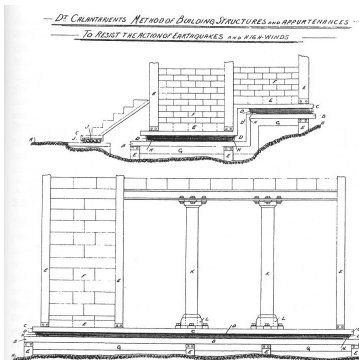


INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

DECivil

Evolução dos Sistemas de Isolamento de Base - 1909

Em 1909 foi registada outra patente, desta vez por um médico, Dr. Calantarients, que concebeu uma solução em que o edifício assenta sobre uma camada de talco.



Como se pode observar na figura, além da solução de isolamento, o Dr. Calantarients concebeu um conjunto de dispositivos para ligação das condutas ao exterior com capacidade para acomodar grandes deslocamentos.

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

DECivil

Evolução dos Sistemas de Isolamento de Base - 1969

Em 1969 surge em Skopje, na então Jugoslávia, aquele que é apontado como o primeiro exemplo de aplicação de isolamento de base – a escola Heinrich Pestalozzi. Este edifício encontra-se assente em blocos de borracha não reforçada, e ligado ao exterior por elementos fusíveis. Logo que estes elementos fusíveis se quebrem o edifício fica a vibrar livremente sobre os apoios de borracha.

Vista Geral

Blocos de vidro - Fusíveis

Vista de um bloco de borracha

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

DECivil

Evolução dos Sistemas de Isolamento de Base - 1978

O aparecimento e desenvolvimento dos apoios em borracha, neoprene ou outros elastómeros, veio dar um grande impulso na aplicação de sistemas de isolamento de base.

Em 1978 foi construída uma central nuclear na África do Sul (Kroeberg), com aplicação de isolamento de base. Esta estrutura constitui um marco histórico na evolução do conceito de isolamento, pois é o exemplo duma edificação onde o nível de segurança é elevado.

Laje superior

Bloco de neoprene

Chapas de deslizamento

Base em betão

Sistema "EDF" – Kroeberg, RSA



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Tipos de Sistemas de Isolamento de Base

Actualmente são os seguintes os principais tipos de Sistemas de Isolamento de Base:

- Blocos de Borracha de Alto Amortecimento - HDRB
- Blocos de Borracha com Núcleo de Chumbo - LRB
- Sistema Pendular com Atrito - FPS
- Blocos de apoio de Borracha em associação com dissipadores



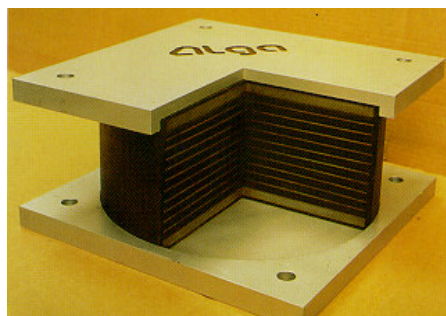
INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Tipos de Sistemas de Isolamento de Base – HDRB(1)

Blocos de Borracha de Alto Amortecimento – HDRB
(*High Damping Rubber Bearing*)

Através da utilização de aditivos apropriados as propriedades de amortecimento da mistura de borracha são optimizadas. Desta forma são conseguidos amortecimentos entre 10% e 20%.



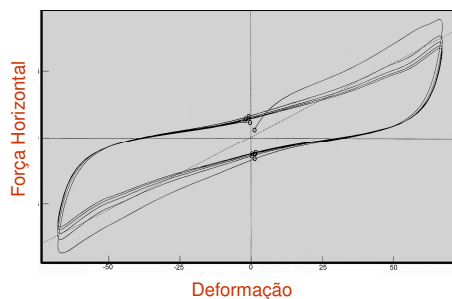


DECivil

Tipos de Sistemas de Isolamento de Base – HDRB(2)

Propriedades dos apoios HDRB

- Coeficientes de amortecimento entre 10% e 20%
- Módulo de distorção (G) entre 0.4MPa e 1.4MPa
- A rigidez diminui com o aumento da distorção
- Para grandes distorções a rigidez volta a aumentar

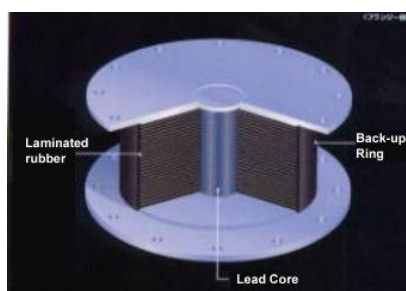
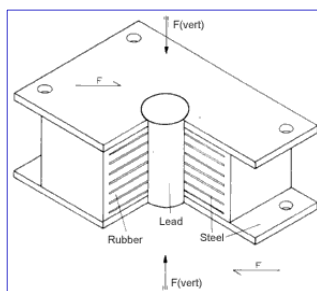


DECivil

Tipos de Sistemas de Isolamento de Base – LRB (1)

Blocos de Borracha com Núcleo de Chumbo – LRB
(*Lead Rubber Bearing*)

Bloco de apoio de borracha corrente ao qual foi adicionado um núcleo de chumbo cilíndrico. O bloco de apoio tem um comportamento bi-linear conseguindo elevados valores de amortecimento através da plastificação do núcleo de chumbo



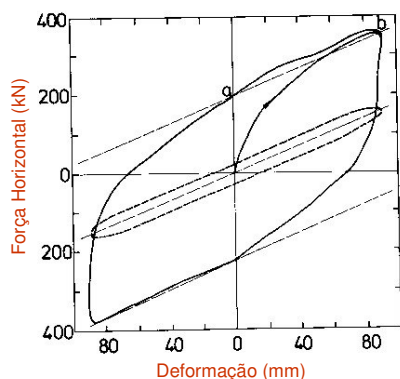


DECivil

Tipos de Sistemas de Isolamento de Base – LRB(2)

Propriedades dos apoios LRB

- A rigidez após a cedência do bloco é a rigidez da borracha
- A tensão de cedência ao corte do chumbo é cerca de 10MPa
- A rigidez antes da cedência é cerca de 10x a rigidez após cedência

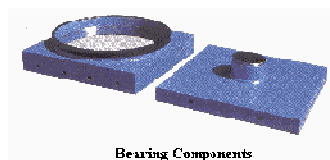
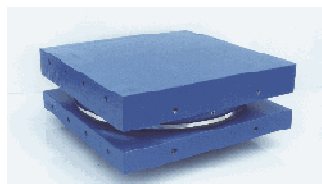



DECivil

Tipos de Sistemas de Isolamento de Base – FPS(1)

Sistema Pendular com Atrito – FPS
(*Friction Pendulum System*)

Sistema composto por dois elementos de aço sobrepostos. Um dos elementos apresenta no seu interior uma superfície côncava. Sobre esta superfície desliza a outra peça contendo uma ponta de aço com a extremidade articulada e revestida por um material compósito de baixo atrito.



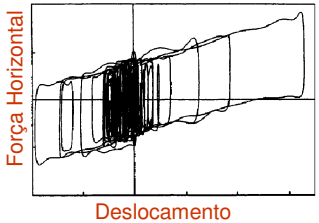


INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
DECivil

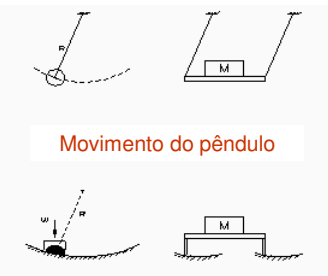
Tipos de Sistemas de Isolamento de Base – FPS(2)

Sistema FPS

A dissipação de energia é feita por atrito. A recuperação da estrutura à posição inicial é conseguida através dum mecanismo de funcionamento inspirado no movimento do pêndulo.




Deslocamento



Movimento do pêndulo

Movimento do sistema FPS




INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
DECivil

Tipos de Sistemas de Isolamento de Base - Dissipadores

Blocos de apoio de Borracha em associação com dissipadores

Este tipo de Sistema de Isolamento é uma associação de elementos de baixa rigidez horizontal com sistemas de dissipação de energia. Os elementos de baixa rigidez desempenham a função de suporte, sem qualquer exigência ao nível do amortecimento. Poderão ser blocos de apoio correntes ou sistemas deslizantes.

Os dissipadores têm como única função garantirem o nível de amortecimento necessário. Poderão ser dissipadores viscosos ou hysteréticos.



Métodos de Análise - Introdução



DECivil

O método correcto para a análise de estruturas com isolamento é a análise dinâmica no domínio no tempo, pois o comportamento dos sistemas de isolamento de base é não linear.

Alguns sistemas têm um comportamento próximo do linear mas têm amortecimento superior ao da estrutura pelo que invalida a análise modal clássica.

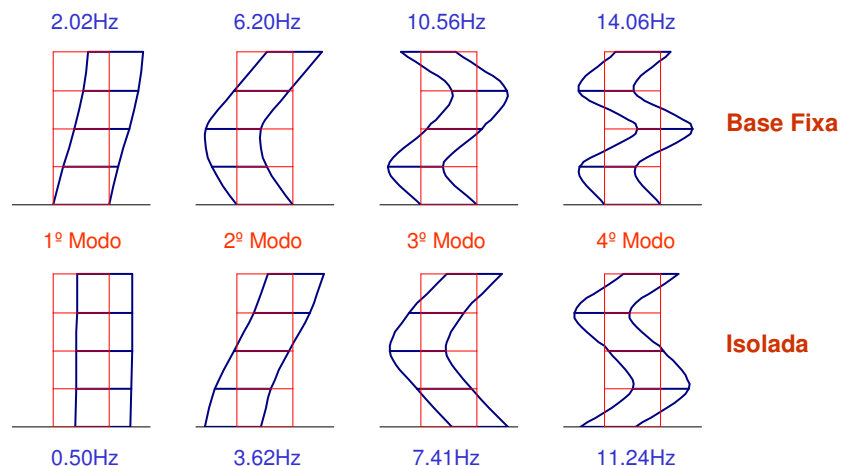
Embora o uso da análise modal não seja correcto, este método de análise permite obter bons resultados e, sobretudo, permite compreender o comportamento da estrutura isolada através da observação dos seus modos de vibração.

Métodos de Análise – Características dos modos de vibração



DECivil

Comparação dos modos de vibração de uma estrutura isolada com os modos de uma estrutura de base fixa






INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

DECivil

Métodos de Análise – Importância de cada modo

Modo	Base Fixa		Isolada	
	%Massa	Acum.	%Massa	Acum.
1	85.369	85.369	99.917	99.917
2	10.562	95.931	0.078	99.995
3	3.242	99.173	0.004	99.999
4	0.826	99.999	0.001	100.00

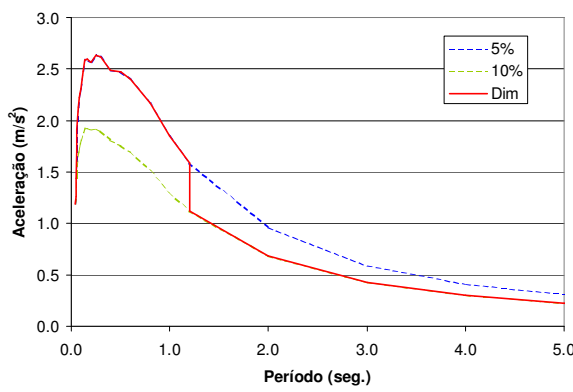
No caso da estrutura com isolamento de base o primeiro modo representa a quase totalidade da reposta.



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

DECivil

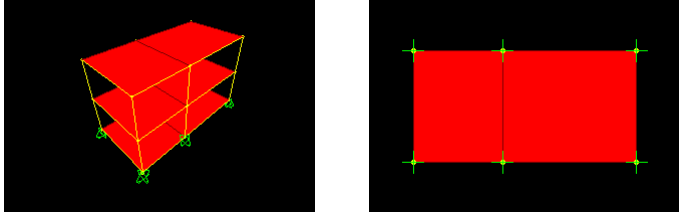
Métodos de Análise – Espectro de resposta simplificado



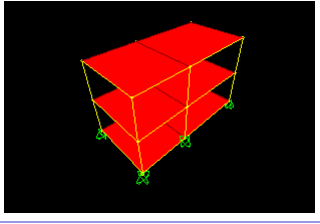
The graph plots Acceleration (m/s²) on the y-axis (0.0 to 3.0) against Period (seg.) on the x-axis (0.0 to 5.0). It features three curves: a blue dashed line for 5% damping, a green dashed line for 10% damping, and a solid red line labeled 'Dim'. All curves show a peak acceleration of approximately 2.6 m/s² at a period of about 0.3 seconds, followed by a decay as the period increases.

Métodos de Análise – Modos 3D (isolamento)

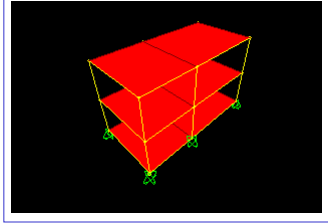
1º Modo – 0.57Hz



2º Modo – 0.58Hz



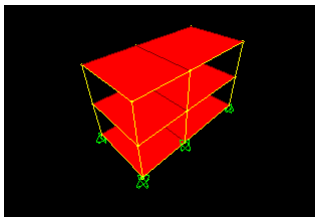
3º Modo – 0.63Hz



IST INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
DECivil

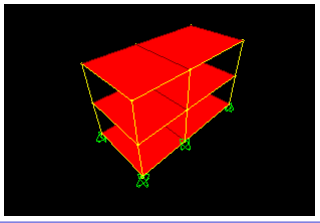
Métodos de Análise – Modos 3D (estrutura)

4º Modo – 6.28Hz

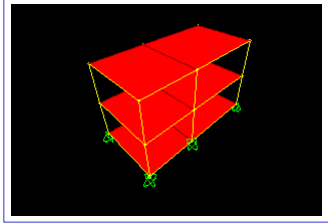


Dada a proximidade das frequências dos modos de vibração é indispensável a utilização do método **CQC** na combinação modal.

5º Modo – 6.45Hz

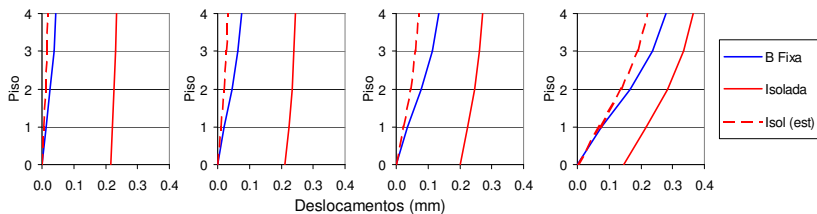


6º Modo – 7.04Hz

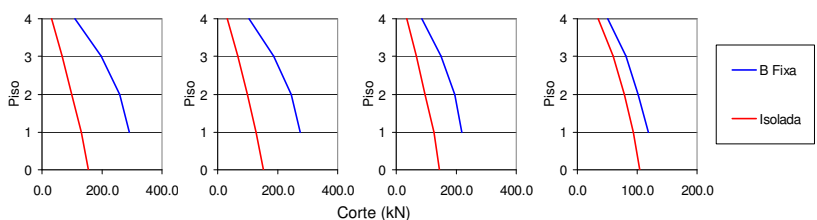


IST INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
DECivil

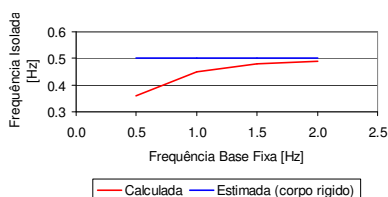
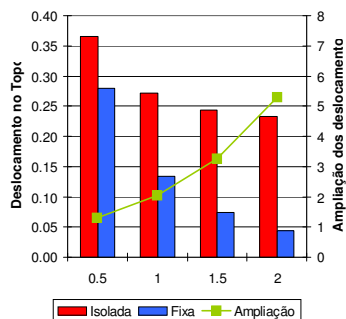
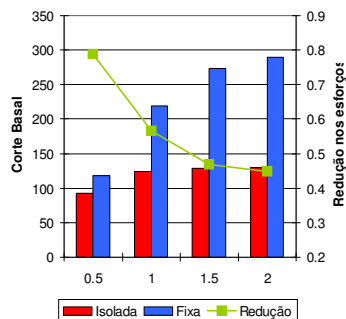
Métodos de Análise – Eficácia do Isolamento (1)



2.0 Hz	1.5 Hz	1.0 Hz	0.5 Hz	Freq. Base Fixa
0.5 Hz	0.5 Hz	0.5 Hz	0.5 Hz	Freq. Isolada
4	3	2	1	Relação




Métodos de Análise – Eficácia do Isolamento (2)



Frequência estimada com base na hipótese de corpo rígido - f_1

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_I}{M}}$$

M – massa total da estrutura
 K_I – rigidez do isolamento



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil


Métodos de Análise – Métodos simplificados (1)

D - Deslocamento no isolamento ao nível do centro de rigidez
V - Força de corte basal total

$$D = S_D(f_i, \zeta_i)$$

$$V = K_i * S_D(f_i, \zeta_i)$$

f_i – frequência da estrutura isolada
 ζ_i – coeficiente de amortecimento do isolamento
 K_i – rigidez total do isolamento
 S_D – espectro de resposta de deslocamentos

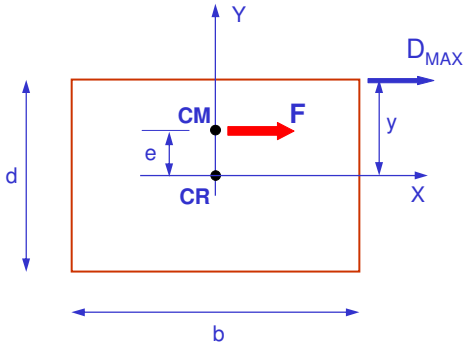


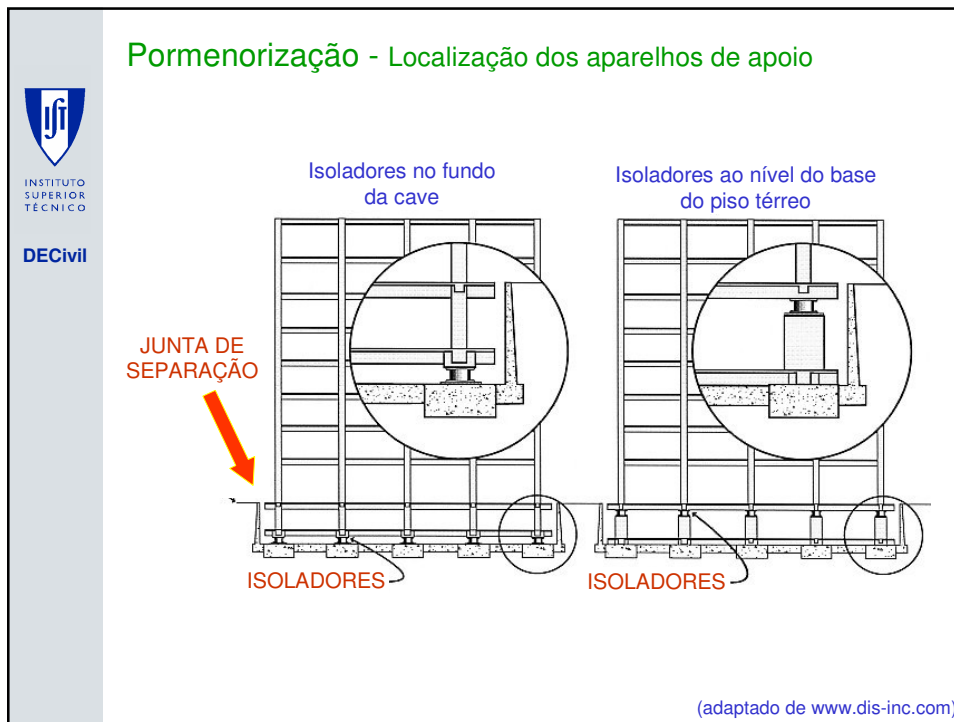
INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

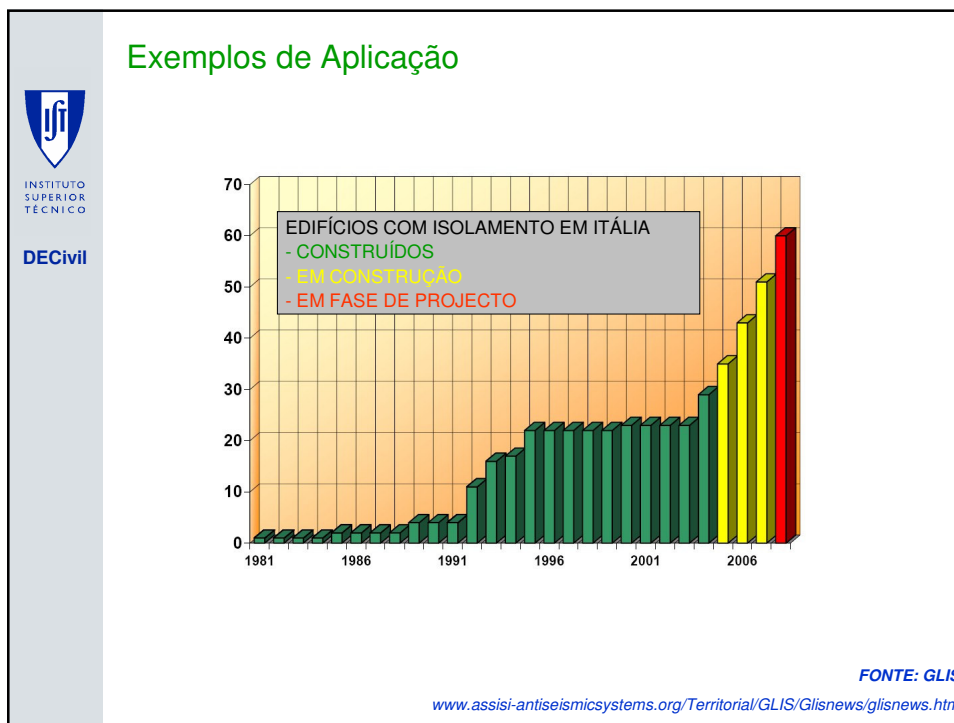
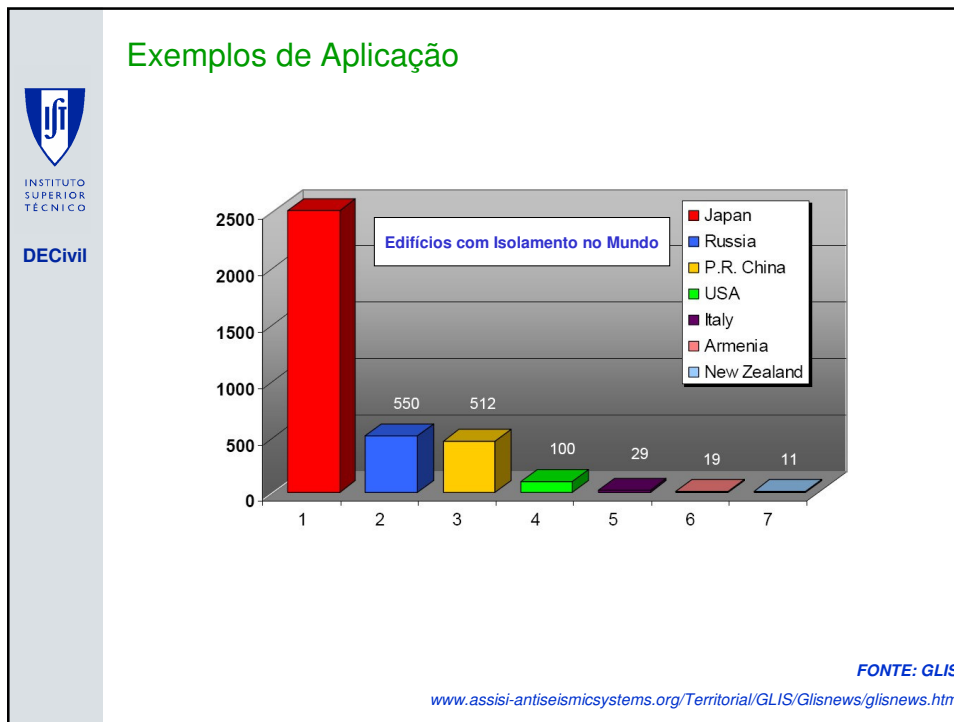
DECivil


Métodos de Análise – Métodos simplificados (2)

D_{MAX} - Deslocamento máximo no isolamento

$$D_{MAX} = D \left[1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right]$$






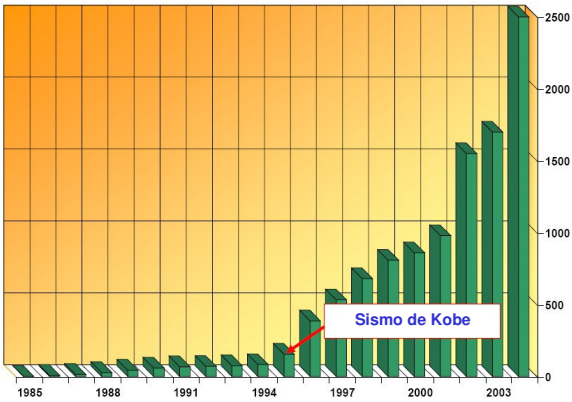


INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

DECivil


Exemplos de Aplicação

O sismo de Kobe (Janeiro de 1995) provocou uma brusca e significativa alteração de atitude dos japoneses face ao isolamento sísmico.



Ano	Número de edifícios
1985	0
1988	10
1991	20
1994	30
1995 (Sismo de Kobe)	50
1997	100
2000	150
2003	2500

FONTE: GLIS
www.assisi-antiseismicsystems.org/Territorial/GLIS/Glisnews/glisnews.htm

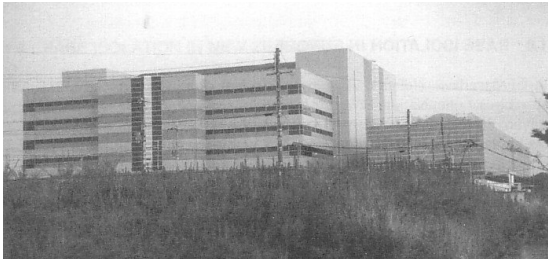


INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

DECivil

Exemplos de Aplicação - O edifício do "WEST-1", em Kobe

O aumento da popularidade do isolamento de base no Japão ficou a dever-se essencialmente ao bom desempenho do edifício "West Japan Postal Savings Computer Center (West-1)" durante o sismo de Kobe.



Este edifício situa-se a cerca de 30 km do local do epicentro do sismo de Kobe de 1995. No topo foram medidas acelerações de 0.13g quando nas fundações abaixo dos isoladores foram medidas acelerações de 0.41g.

Exemplos de Aplicação - EUA (1)



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil



"Foothill Communities Law and Justice Center" Rancho Cucamonga, Califórnia

Foi o primeiro edifício com isolamento de base a ser construído nos EEUU e o primeiro no mundo a utilizar HDRB. Está localizado a 20km da falha de S. André.

Área – 1600 m²
Nº de Pisos – 4
Nº de apoios – 98
Máximo deslocamento – 380mm.



"Fire Command and Control Facility" Los Angeles, Califórnia

Alberga os computadores e os sistemas de comunicação para gestão de emergências na zona de Los Angeles.

nisee.berkeley.edu/lessons/kelly.html

Exemplos de Aplicação - EUA (2)



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil



Hospital da Universidade da Califórnia do Sul

Localiza-se a cerca de 40km do epicentro do sismo de Northridge de 1994. Durante este sismo foi registada a aceleração máxima no edifício de 0.13g quando no exterior as acelerações atingiram 0.49g.

Estrutura metálica;
98 apoio do tipo LRB

nisee.berkeley.edu/lessons/kelly.html



"Arrowhead Medical Center"

Edifício terminado em 1997.
Os isoladores foram dimensionados para suportar deslocamentos até 550mm.
Tem 400 apoios do tipo HDRB.

www.dis-inc.com

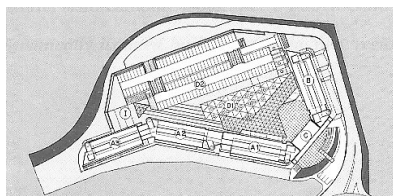
Exemplos de Aplicação – ITÁLIA (1)



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Edifício da Telecom - Ancona



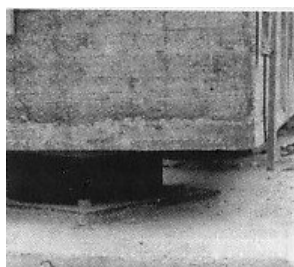
O conjunto é composto por cinco edifícios de 7 pisos. O deslocamento máximo de projecto é de 145mm. Foram utilizados apoios do tipo HDRB.

Exemplos de Aplicação – ITÁLIA (2)



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil



Edifício da Telecom - Ancona

Exemplos de Aplicação – Nova Zelândia



“William Clayton Building”, Wellington

Foi o primeiro edifício do mundo a utilizar apoios do tipo LRB.

Foi terminado em 1981.

Tem uma estrutura de betão armado apoiada em 80 blocos LRB.

*“Te Papa – Museum of New Zealand”
Wellington*

Edifício com 35000m² e 23 metros de altura.

142 apoios LRB.

36 apoios deslizantes em *teflon*



www.robison-seismic.co.nz

Exemplos de Aplicação – Portugal



*“Hospital e Residência para 3ª Idade”,
Lisboa*

Primeiro edifício com isolamento de base a ser construído em Portugal

Encontra-se em fase de construção.

O conjunto é composto por dois edifícios separados, com um total de 315 aparelhos de apoio (HDRB).



Exemplos de Aplicação – Portugal



Reforço Sísmico com Isolamento de Base

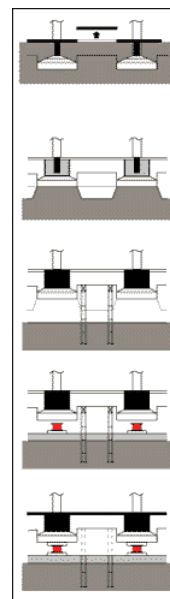


São já diversos os exemplos de estruturas reforçadas sísmicamente através do uso de isolamento de base.

Para aplicar isolamento de base a uma estrutura existente é necessário “desligar” a estrutura das fundações existentes e voltar a “montá-la” sobre o novo sistema.



Hospital dos Veteranos
Long Beach, Califórnia



Reforço Sísmico com Isolamento de Base - Exemplos (1)



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil



Oakland "City Hall"
Oakland, Califórnia

Este edifício sofreu danos durante o sismo de Loma Prieta, 1989.

A reabilitação terminou em 1995.

Construção em 1913



Foram utilizados 110 apoios LRB, com diâmetros entre 740mm e 940mm.

Durante o processo de instalação dos apoios, as colunas foram levantadas cerca de 2.5mm.

Foi criado um fosso à volta do edifício com 0.5m de largura.

www.businessimagegroup.com

Reforço Sísmico com Isolamento de Base - Exemplos (2)



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil



S. Francisco "City Hall"
S. Francisco, Califórnia

Este edifício foi construído em 1912.

Sofreu danos durante o sismo de Loma Prieta, 1989.

A reabilitação terminou em 1998.

Foram utilizados 530 apoios LRB.

Muitas das colunas estão apoiadas em 4 blocos.



Fase de construção

Reforço Sísmico com Isolamento de Base - Exemplos (3)



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

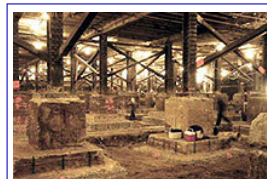


Los Angeles "City Hall"
Los Angeles, Califórnia

Estrutura metálica com 28 pisos, concluída em 1928.

Sofreu danos durante o sismo de Northridge, 1994.

É actualmente o edifício mais alto com isolamento de base.



Solução de isolamento de base:

- 475 HDRB
- 60 apoios deslizantes
- 64 amortecedores viscosos



Fases de construção

Regulamentação



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Actualmente já existe regulamentação a regular a aplicação de isolamento de base a edifícios e a pontes.

Estados Unidos:

Uniform Building Code (UBC) – International Conference of Building Officials, 2000

Guide Specifications for Seismic Isolation Design – AASHTO, 1999

Europa:

Eurocódigo 8 (Capítulo 10), 2003

Eurocódigo 8 – Parte 2, Pontes (Capítulo 7), 2003




INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Eurocódigo 8

Edifícios

Capítulo 10 – Isolamento de Base



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Eurocódigo 8 - Edifícios

10. Isolamento de Base

10.1 Âmbito

Este capítulo abrange o dimensionamento de estruturas com isolamento sísmico nas quais o sistema de isolamento esteja localizado sob a massa da estrutura com o objectivo de reduzir a resposta sísmica em termos de forças horizontais.


A redução da resposta sísmica pode ser conseguida através das seguintes formas:

- Baixando a frequência fundamental (ou aumentando o período) através da modificação da configuração do modo fundamental de vibração;
- Aumentando o amortecimento;
- Combinando os dois efeitos anteriores.

Estas regras não cobrem a utilização de sistemas de protecção passiva que não estejam localizados somente na base mas que esteja, distribuídos em vários pisos da estrutura.

10.3 Requisitos Fundamentais

O sistema de isolamento deve ter um nível de fiabilidade superior à estrutura, pois o bom desempenho do conjunto depende essencialmente do funcionamento deste sistema.


INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
DECivil

Eurocódigo 8 - Edifícios

10. Isolamento de Base

10.4 Critério de Conformidade


Em condições de serviço (Estado limite de utilização) todos as redes que atravessam as juntas devem se manter em regime elástico;

A capacidade limite do sistema de isolamento não pode ser excedida em Estado Limite Último;

Embora nalguns casos possa ser aceitável que a subestrutura tenha comportamento inelástico, neste regulamento é considerado que esta se mantém sempre elástica;

No Estado Limite Último, o sistema de isolamento pode atingir a sua capacidade limite mas a estrutura deve manter-se elástica.

As redes de gás e de outros materiais perigosos deve ser concebida de forma a acomodar os deslocamentos relativos na junta correspondentes ao Estado Limite Último, tendo em conta todos os factores de majoração.


INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
DECivil

Eurocódigo 8 - Edifícios

10. Isolamento de Base

10.5 Requisitos Gerais de Dimensionamento

10.5.2 Controlo de movimentos indesejáveis

Para minimizar os efeitos da torção o centro de rigidez deve estar próximo da projecção do centro de massa na superfície de isolamento;


Para minimizar as diferenças de comportamento dos dispositivos de isolamento a tensão de compressão induzida em cada um deles deve ser semelhante;

Os dispositivos devem estar fixados à estrutura e à subestrutura;

10.5.3 Controlo dos deslocamentos diferenciais do solo

Os elementos estruturais localizados acima e abaixo da superfície de isolamento devem ser suficientemente rígidos, nas direcções horizontal e vertical, para que os efeitos dos deslocamentos diferenciais do solo sejam minimizados.

Para tal basta que os edifícios apresentem um diafragma rígido acima e abaixo da superfície de isolamento.



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Eurocódigo 8 - Edifícios

10. Isolamento de Base


10.8 Propriedades do sistema de isolamento

Os valores utilizados na análise da estrutura devem corresponder aos mais desfavoráveis tendo em conta o tempo de vida da estrutura. Estes valores devem ter em conta:

- A velocidade de carregamento;
- O valor da carga vertical simultânea;
- Os valores das cargas horizontais simultâneas;
- A temperatura;
- A variação das propriedades ao longo do período de vida do projecto.

Os efeitos das acelerações induzidas pelo solo devem ser calculados considerando o valor máximo da rigidez e os valores mínimos do amortecimento e do coeficiente de atrito.

Os deslocamentos induzidos devem ser calculados utilizando os valores mínimos da rigidez, do amortecimento e do coeficiente de atrito.



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Eurocódigo 8 - Edifícios

10. Isolamento de Base

10.9 Análise Estrutural

10.9.1 Generalidades

No modelo deve ser considerado o efeito da excentricidade accidental.

O modelo do sistema de isolamento deve reflectir com suficiente precisão a distribuição espacial dos dispositivos e o comportamento dos mesmos.

10.9.2 Análise Linear Equivalente

Se for utilizado um modelo linear equivalente a energia dissipada pode ser expressa em função do amortecimento viscoso equivalente.

Quando a rigidez efectiva depende do nível de deformação imposto deve ser considerado um procedimento iterativo até que a diferença entre o valor da deformação assumida e o valor calculado não ultrapasse 5%.

O comportamento do sistema de isolamento deve apresentar as seguintes características:

- A rigidez para a deformação de dimensionamento é pelo menos 50% da rigidez para 20% da deformação de dimensionamento;
- O coeficiente de amortecimento é inferior a 30%
- A curva força-deslocamento não varia mais do que 10% devido à taxa de aplicação das cargas ou devido à variação da carga vertical;
- O aumento da força de restituição quando a deformação varia entre 50% e 100% do deslocamento de dimensionamento deve ser superior a 2.5% do peso.

Eurocódigo 8 - Edifícios

10. Isolamento de Base

10.9 Análise Estrutural

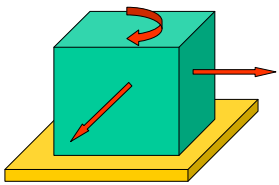
10.9.3 Análise Linear Simplificada

Neste método é assumido que a estrutura se comporta como um corpo rígido que se move sobre a superfície de isolamento. São considerados dois movimento horizontais de translação e o movimento de rotação em torno de um eixo vertical.

O período da estrutura deve verificar a seguinte condição:

$$3T_f < T_{eff} < 3s$$

A relação entre a rigidez vertical e a rigidez horizontal deve obedecer à seguinte regra:

$$K_v > 150 K_{eff}$$


Eurocódigo 8 - Edifícios

10. Isolamento de Base

10.9 Análise Estrutural


10.9.4 Análise Modal Simplificada

Se o comportamento do sistema de isolamento puder ser considerado através de um modelo linear equivalente pode ser utilizada a análise modal simplificada.

.....

10.10 Verificação de Segurança no Estado Limite Último

Em edifícios a resistência dos elementos estruturais pode ser verificada considerando um coeficiente de comportamento de 1.5




INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Eurocódigo 8

Parte 2 - Pontes

Capítulo 7 – Pontes com Isolamento Sísmico



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Eurocódigo 8 - Parte 2 - Pontes

7. Pontes com Isolamento Sísmico

7.1 Generalidades

Este capítulo abrange pontes que estejam equipadas com sistemas de isolamento para redução do efeito da acção sísmica. Os dispositivos de isolamento deverão estar colocados de forma a criar uma interface de separação, sendo normalmente instalados sob o tabuleiro, no topo dos pilares ou encontros.

A redução da resposta sísmica pode ser conseguida através das seguintes formas:


- Baixando a frequência fundamental (ou aumentando o período), o que reduz as forças mas aumenta os deslocamentos;
- Aumentando o amortecimento, reduzindo deste modo os deslocamentos e, eventualmente, as forças;
- Combinando os dois efeitos anteriores.

7.3 Requisitos Fundamentais e Critérios de Conformidade

A resposta da superestrutura e da subestrutura deve se manter elástica.

O sistema de isolamento deve ter um nível de fiabilidade superior à estrutura, pois o bom desempenho do conjunto depende essencialmente do funcionamento deste sistema.

Para todos os sistemas de isolamento, com excepção para os compostos por apoios elastoméricos correntes as propriedades devem ser validadas através de ensaios.



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

DECivil

Eurocódigo 8 - Parte 2 - Pontes

7. Pontes com Isolamento Sísmico

7.4 Acção sísmica

.....

7.4.1 Espectro de resposta.


Deve ser dada particular atenção às exigências de deslocamentos associados a baixas frequências.

7.5 Metodologia de Análise e Modelação

7.5.1 Generalidades

Neste documento são referidos os seguintes métodos de análise:

- Análise por espectro de resposta baseada no modo fundamental;
- Análise multi-modal por espectro de resposta;
- Análise não linear no domínio do tempo.



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

DECivil

Eurocódigo 8 - Parte 2 - Pontes

7. Pontes com Isolamento Sísmico

7.5.2 Propriedades do sistema de isolamento

7.5.2.1 Rigidez Vertical

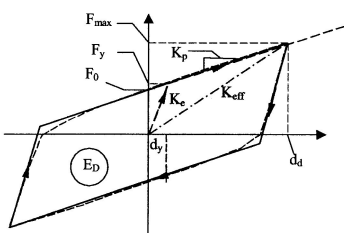
Os dispositivos de suporte vertical devem apresentar grande rigidez nesta direcção.


7.5.2.2 Propriedades na direcção horizontal

7.5.2.2.1 Comportamento histerético

A relação força-deslocamento pode ser aproximada por uma relação bi-linear.

E_D – energia dissipada por ciclo
 F_0 – força para deslocamento nulo
 K_e – rigidez elástica
 K_p – rigidez pós-cedência
 K_{eff} – rigidez efectiva (rigidez equivalente)





INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

DECivil

Eurocódigo 8 - Parte 2 - Pontes

7. Pontes com Isolamento Sísmico

7.5 Metodologia de Análise e Modelação

7.5.2 Propriedades do sistema de isolamento

.....

7.5.2.2.2 Apoios elastoméricos


Aparelhos de apoio em borracha reforçada com lâminas de aço. Dividem-se em apoios de baixo amortecimento e de alto amortecimento.

Classificam-se como apoios de baixo amortecimento aqueles que apresentem amortecimento inferior a 6%. O seu comportamento pode ser aproximada por uma relação linear.

Apoios com alto amortecimento apresentam coeficientes de amortecimento entre 10% e 20%. O seu comportamento deve ser considerado histerético linear.

Os apoios elastoméricos são divididos em Normais (os de baixo amortecimento) e Especiais. Os apoios Normais não necessitam da realização de testes específicos para definição das características.

Os apoios de elastómero com núcleo de chumbo (LRB) consistem em blocos de apoio em elastómero de baixo amortecimento com um núcleo de chumbo que garante a capacidade de dissipação de energia.



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

DECivil

Eurocódigo 8 - Parte 2 - Pontes

7. Pontes com Isolamento Sísmico

7.5 Metodologia de Análise e Modelação

7.5.2 Propriedades do sistema de isolamento

.....

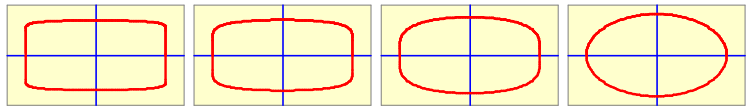
7.5.2.2.3 Comportamento Viscoso

A força nos dispositivos viscosos é proporcional a uma potência da velocidade ($F = C v^\alpha$).

Esta força é zero para a máxima deformação pelo que não contribui para a rigidez efectiva do sistema.

Na figura estão representadas curvas de resposta de sistemas dissipativos viscosos onde se pode observar a influência do parâmetro α .

$\alpha = 0.10$ $\alpha = 0.25$ $\alpha = 0.50$ $\alpha = 1.00$



Relação Força-Deformação



DECivil

Eurocódigo 8 - Parte 2 - Pontes

7. Pontes com Isolamento Sísmico

7.5 Metodologia de Análise e Modelação

7.5.2 Propriedades do sistema de isolamento

7.5.2.2.3 Comportamento com atrito

Dispositivos com uma superfície de deslizamento plana limitam a força transmitida à superestrutura ao valor:

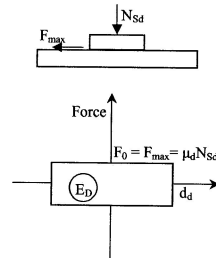
$$F_{\max} = \mu_D N_{SD} \text{ sinal (vel)}$$

μ_D - é o coeficiente de atrito dinâmico

N_{SD} - força normal à superfície de deslizamento

sinal (vel) - é o sinal da velocidade

Estes dispositivos podem conduzir a grandes deslocamentos permanentes após a ocorrência do sismo. Devem pois ser combinados com elementos que tenham capacidade de restituição.



Superfície de deslizamento plana



DECivil

Eurocódigo 8 - Parte 2 - Pontes

7. Pontes com Isolamento Sísmico

7.5 Metodologia de Análise e Modelação

7.5.2 Propriedades do sistema de isolamento

7.5.2.2.3 Comportamento com atrito

Dispositivos com superfícies de deslizamento esféricas de raio R_b apresentam uma força de restituição, para o deslocamento d_d , traduzida por $N_{SD} d_d / R_b$.

Estes dispositivos apresentam a seguinte relação força-deslocamento:

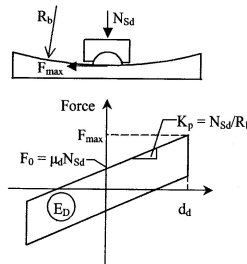
$$F_{\max} = N_{SD} d_d / R_b + \mu_D N_{SD} \text{ sinal (vel)}$$

Em ambos casos a energia dissipada por ciclo pode ser calculada por:


$$E_D = 4 \mu_D N_{SD} d_d$$

O coeficiente de atrito dinâmico deve ser avaliado através de ensaios e depende dos seguintes factores:

- da composição da superfície de deslizamento;
- do uso (ou não) de lubrificação;
- da pressão sobre a superfície de deslizamento;
- da velocidade de deslizamento;



Superfície de deslizamento esférica



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

DECivil

Eurocódigo 8 - Parte 2 - Pontes

7. Pontes com Isolamento Sísmico

7.5 Metodologia de Análise e Modelação

7.5.3 Condições para aplicação dos métodos de análise


O método de análise por **espectro de resposta baseada no modo fundamental** pode ser utilizado nas seguintes condições:

- A estrutura é regular (ver 4.2.2.2)
- O amortecimento efectivo não ultrapassa 30%
- O sistema de isolamento tem as seguintes características: a relação força-deslocamento em cada direcção é independente da velocidade de aplicação das cargas, do valor da carga vertical e do valor da força horizontal na direcção transversal.
- A rigidez efectiva para o deslocamento de dimensionamento é pelo menos 1/3 da rigidez para 1/5 do deslocamento de dimensionamento.

O método de análise **multi-modal por espectro de resposta** pode ser utilizado nas seguintes condições:

- O amortecimento efectivo não ultrapassa 30%.
- O sistema de isolamento tem as seguintes características: a relação força-deslocamento em cada direcção é independente da velocidade de aplicação das cargas, do valor da carga vertical e do valor da força horizontal na direcção transversal.

O método de análise **não linear no domínio do tempo** pode ser aplicado na análise de qualquer ponte com isolamento sísmico



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

DECivil

Eurocódigo 8 - Parte 2 - Pontes

7. Pontes com Isolamento Sísmico

7.5 Metodologia de Análise e Modelação

7.5.4 Método de análise por espectro de resposta baseada no modo fundamental

O método de análise que considera a estrutura representada através de um modelo de um grau de liberdade.


7.5.5 Análise multi-modal por espectro de resposta

O modelo da estrutura deve simular com relativa precisão:

- A distribuição espacial dos dispositivos de isolamento e o efeito de rolamento (*overturning effects*)
- A translação em ambas as direcções horizontais e a rotação em torno de um eixo vertical.

Os resultados obtidos através desta análise, em termos de deslocamentos e forças de corte, estão limitados inferiormente através duma comparação com os resultados obtidos numa análise baseada no modo fundamental.

Estas limitações não necessitam de ser verificadas nos casos em que o sistema de isolamento não apresenta as características necessárias para a aplicação do método baseado no modo fundamental ou quando a ponte não pode ser representada através de um modelo de um grau de liberdade.



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

DECivil

Eurocódigo 8 - Parte 2 - Pontes


7. Pontes com Isolamento Sísmico

7.5 Metodologia de Análise e Modelação

7.5.6 Análise no domínio do tempo

O modelo do sistema de isolamento deve simular com relativa precisão os seguintes efeitos, se forem importantes na caracterização das propriedades dos dispositivos:

- A velocidade de aplicação das cargas;
- O valor da força vertical;
- O valor da força horizontal na direcção transversal.



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

DECivil

Eurocódigo 8 - Parte 2 - Pontes

7. Pontes com Isolamento Sísmico

7.6 Verificações

....

7.6.2 Sistema de isolamento


A maior fiabilidade do sistema de isolamento pode ser implementada através do dimensionamento dos dispositivos para um deslocamento majorado. Este factor de majoração é aplicado somente aos deslocamentos. Neste texto é recomendado um factor de majoração de 1.5.

Os apoios elastoméricos não devem apresentar uma distorção, devido à acção sísmica, superior a 200%.

Não é permitido o "levantamento" (lift-off) dos apoios que suportem carga vertical.

7.6.3 Superestrutura e Subestrutura

Os esforços de dimensionamento devido à acção sísmica podem ser obtidos dividindo os esforços obtidos na análise realizada pelo coeficiente de comportamento igual a 1.5 (estruturas com ductilidade limitada).



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

DECivil

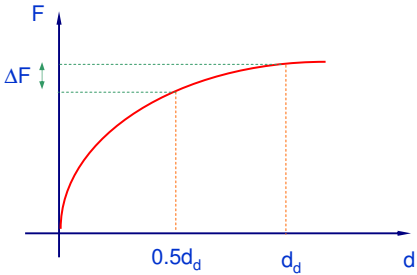
Eurocódigo 8 - Parte 2 - Pontes

7. Pontes com Isolamento Sísmico


7.7 Requisitos específicos para o sistema de isolamento

7.7.1 Forças de restituição laterais

O sistema de isolamento deve garantir, para o deslocamento de dimensionamento, uma força de restituição superior à força que ocorre para 50% do deslocamento de dimensionamento em pelo menos $0.025W_d$, em que W_d é o peso da superestrutura.



$\Delta F > 2.5\% \text{ Peso}$



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

DECivil

Eurocódigo 8 - Parte 2 - Pontes

7. Pontes com Isolamento Sísmico

7.7 Requisitos específicos para o sistema de isolamento

.....

7.7.2 Restrições laterais ao nível da superfície de isolamento

Quando se usam sistemas fusíveis a sua força limite não deve ultrapassar em mais de 40% a força de dimensionamento devido à acção sísmica

Quando são utilizados elementos para transmissão de choque, estes devem ser incluídos no modelo de análise.

7.7.3 Inspeção e Manutenção

Todos os isoladores devem estar acessíveis para inspeção.

Deve ser estabelecido um programa de inspeções periódicas e de manutenção dos sistemas de isolamento.

A reparação, recuperação ou substituição de qualquer elemento do sistema de isolamento deve ser levado a cabo sob a direcção da entidade responsável e deve ficar registada.