



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

# **Reabilitação de paredes de alvenaria e de pavimentos de madeira de edifícios antigos**

**Manuel Baião  
Miranda Dias  
Leça Coelho  
Ana Marques**

**Jornadas LNEC - Cidades e desenvolvimento**

**LNEC - Lisboa - 18 - 20 junho 2012**

## **1 – Introdução**

## **2 – Paredes de alvenaria de pedra irregular**

**2.1 – Características gerais**

**2.2 – Deficiências estruturais**

**2.3 – Soluções de reforço estrutural**

## **3 – Pavimentos de madeira**

**3.1 – Características gerais**

**3.2 – Deficiências estruturais**

**3.3 – Soluções de reforço estrutural**

**3.4 – Deficiências no desempenho face ao fogo**

**3.5 – Soluções para a melhoria do desempenho face ao fogo**

## **4 – Conclusões**

## 1 – Introdução

### 2 – Paredes de alvenaria de pedra irregular

#### 2.1 – Características gerais

#### 2.2 – Deficiências estruturais

#### 2.3 – Soluções de reforço estrutural

### 3 – Pavimentos de madeira

#### 3.1 – Características gerais

#### 3.2 – Deficiências estruturais

#### 3.3 – Soluções de reforço estrutural

#### 3.4 – Deficiências no desempenho face ao fogo

#### 3.5 – Soluções para a melhoria do desempenho face ao fogo

## 4 – Conclusões



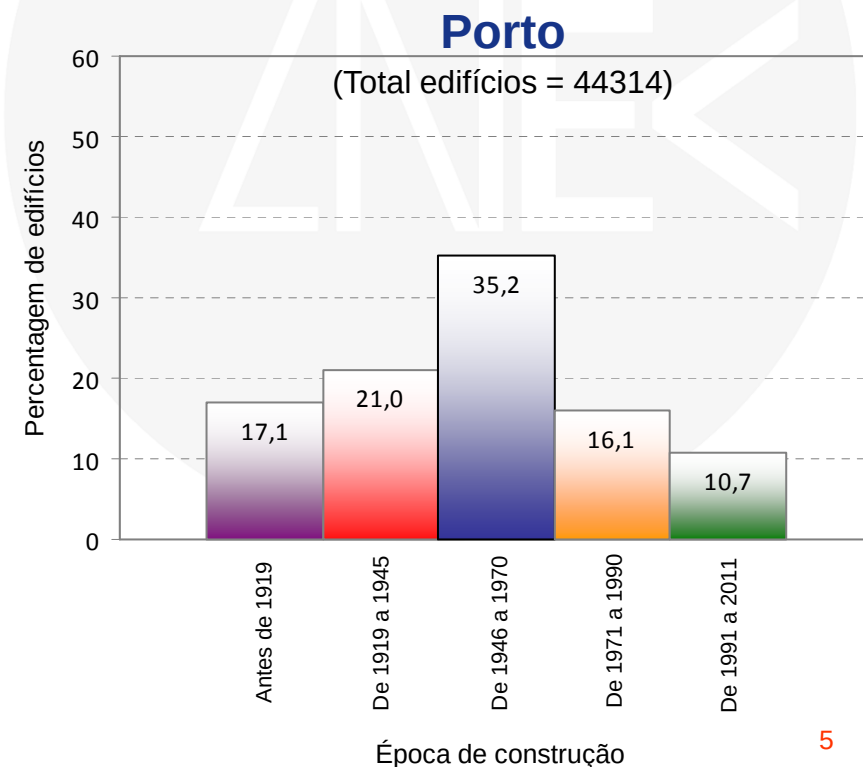
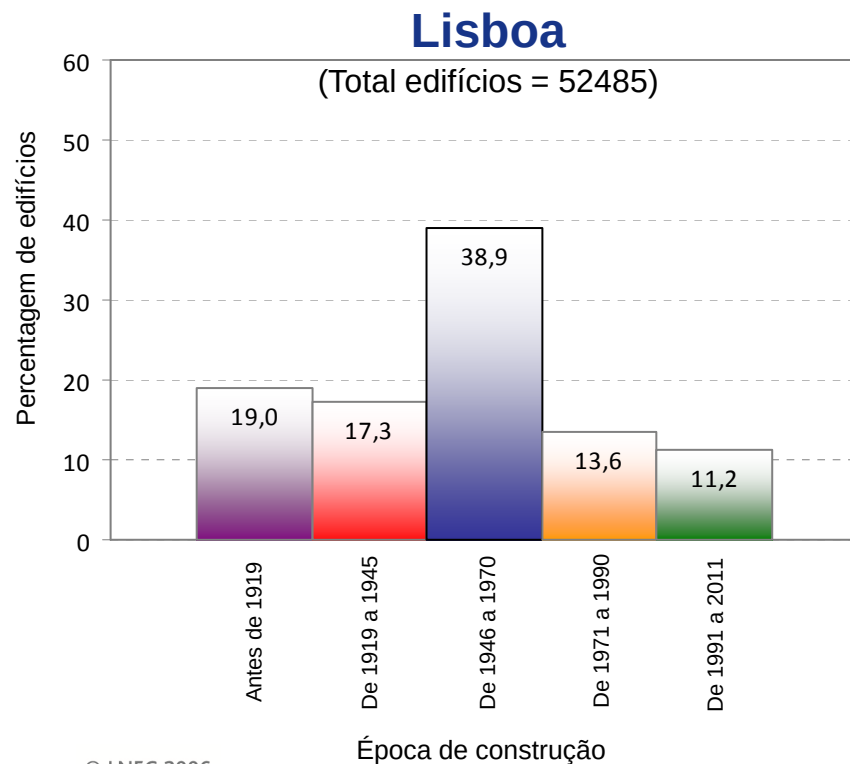
# Introdução

A presente comunicação centra-se nos **edifícios antigos**, que integram na sua constituição **paredes de alvenaria de pedra irregular e pavimentos de madeira**, ou seja, os edifícios construídos **até meados dos anos 30 do século XX** e que ainda existem em número significativo.



Nos municípios de **Lisboa** e do **Porto**, a percentagem de edifícios com as características referidas é bastante elevada, podendo admitir-se, com base no censo de 2011, que em ambos os casos não deverá ser inferior a 25 % do total dos edifícios construídos em cada um destes municípios

Percentagem de edifícios por época de construção na cidade de Lisboa



Pretende-se nesta apresentação, de uma forma muito sintética, referir um conjunto de soluções de reabilitação que permitam:

- A melhoria do desempenho estrutural de paredes de alvenaria, em particular das paredes de alvenaria de pedra irregular;
- A melhoria do desempenho estrutural e da segurança ao incêndio dos pavimentos de madeira de edifícios antigos,

garantindo nas intervenções a realizar, tanto quanto possível, a intrusão mínima nas construções existentes e a reversibilidade e a durabilidade dessas intervenções.

## 1 – Introdução

## 2 – Paredes de alvenaria de pedra irregular

### 2.1 – Características gerais

### 2.2 – Deficiências estruturais

### 2.3 – Soluções de reforço estrutural

## 3 – Pavimentos de madeira

### 3.1 – Características gerais

### 3.2 – Deficiências estruturais

### 3.3 – Soluções de reforço estrutural

### 3.4 – Deficiências no desempenho face ao fogo

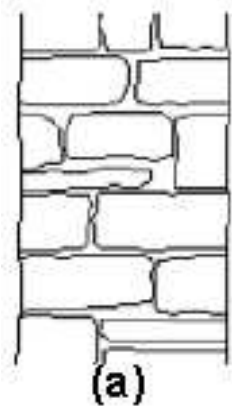
### 3.5 – Soluções para a melhoria do desempenho face ao fogo

## 4 – Conclusões

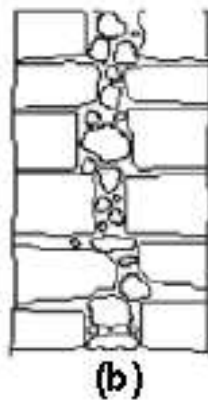


## Características gerais

- Espessuras elevadas
- Fracas resistências à tração e ao corte
- Constituição heterogênea



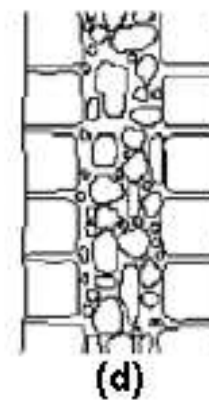
(a) - folha simples



(b) - duas folhas sem ligação



(c) - duas folhas com ligação



(d) - três folhas (ou duas folhas com núcleo de fraca qualidade)





## Deficiências estruturais

### Principais anomalias construtivas

- Desagregação
- Esmagamento
- Fendilhação



## Deficiências estruturais

### Fendas devidas a assentamento de fundações

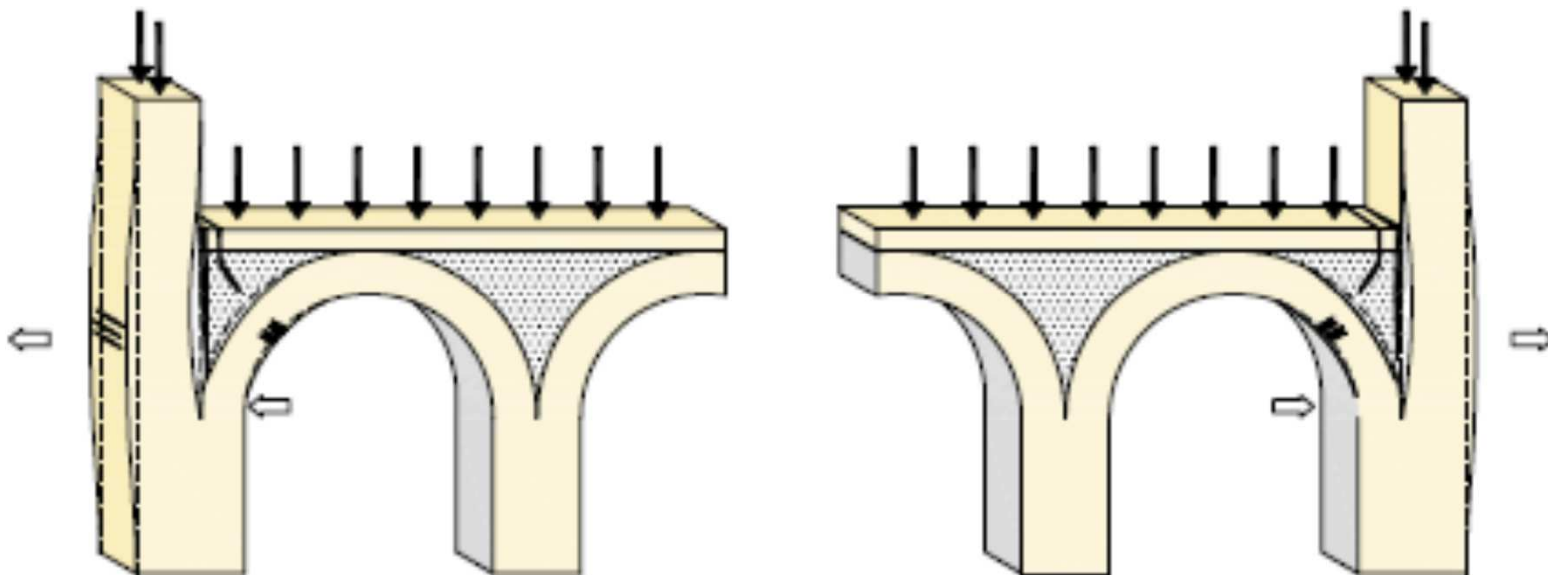
- Esforços no plano da parede



## Deficiências estruturais

### Fendas devidas a impulso de arcos

- Geradas por esforços de flexão na direção perpendicular ao plano da parede





# Paredes de alvenaria de pedra irregular

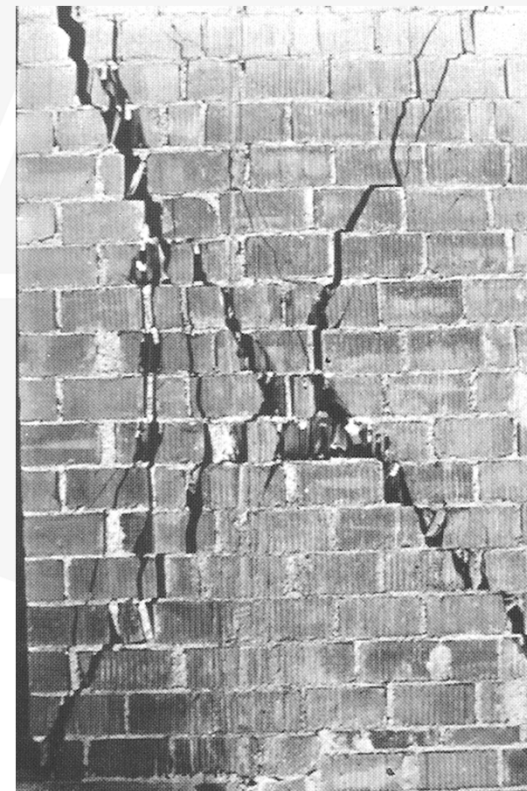
## Deficiências estruturais

### Fendas devidas a movimentos sísmicos

Esforços de flexão na direção  
perpendicular ao plano da parede



Esforços de corte no plano da  
parede





## Deficiências estruturais

A ação sísmica, dependendo da sua intensidade, é das ações que pode ter maior impacto destruidor nestes edifícios.

A falta de integridade estrutural desses edifícios face às ações sísmicas resulta da:

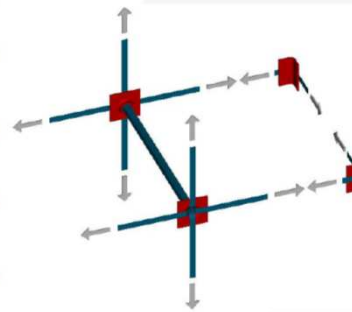
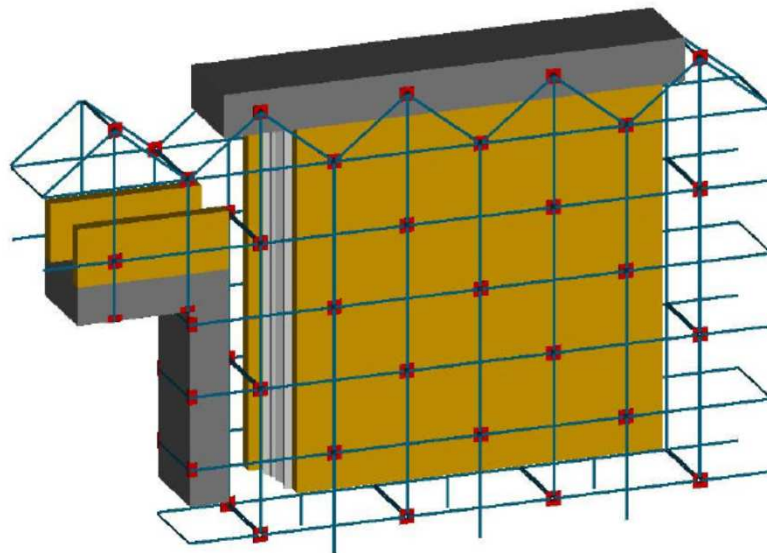
- falta de capacidade resistente das paredes de alvenaria à tração e ao corte;
- deficiência de ligações efetivas entre as paredes perpendiculares e entre as paredes e os pavimentos.



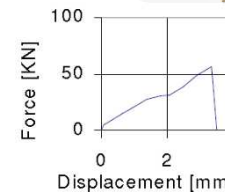
## Soluções de reforço estrutural

Na última década foram propostas **diversas técnicas inovadoras** para reforço de paredes de alvenaria

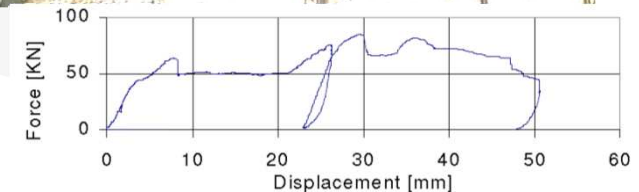
### A. Confinamento com fitas contínuas de aço



Os ensaios realizados mostram **acréscimos da resistência ao corte e da ductilidade** das alvenarias reforçadas com esta técnica



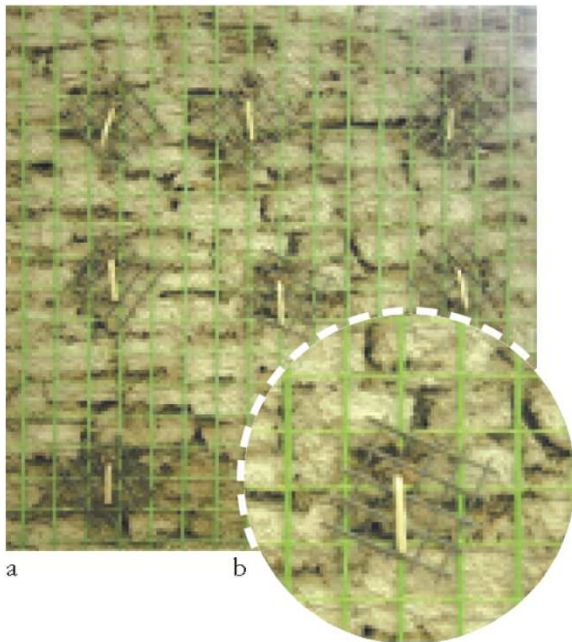
Provete não-reforçado



Provete reforçado com o sistema CAM

## Soluções de reforço estrutural

### **B. Reboco de argamassa armada com rede de fibra de GRRP e confinamento com conectores de GRFP**



A técnica consiste em:

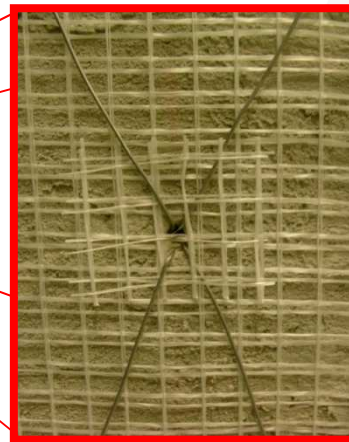
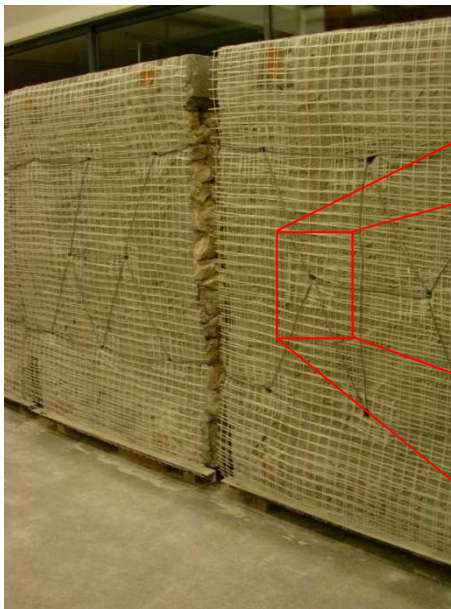
- Remoção do revestimento e da argamassa das juntas em 10-15 mm de profundidade;
- Realização de furos para a inserção de conectores de GFRP em forma de “L”;
- Colocação da rede e dos conectores;
- Execução de uma camada de revestimento de argamassa bastarda.

Os ensaios de compressão diagonal realizados evidenciaram um **acréscimo de resistência ao corte** de cerca de três vezes, dos provetes reforçados em relação aos não-reforçados



## Soluções de reforço estrutural

### C. Reboco armado de argamassa bastarda com rede de GFRP e confinamento transversal com fios de aço



Verifica-se que a **capacidade resistente praticamente triplicou** nos provetes reforçados em relação ao não-reforçados, em ensaios de compressão e de corte-compressão



## 1 – Introdução

## 2 – Paredes de alvenaria de pedra irregular

### 2.1 – Características gerais

### 2.2 – Deficiências estruturais

### 2.3 – Soluções de reforço estrutural

## **3 – Pavimentos de madeira**

### **3.1 – Características gerais**

### **3.2 – Deficiências estruturais**

### **3.3 – Soluções de reforço estrutural**

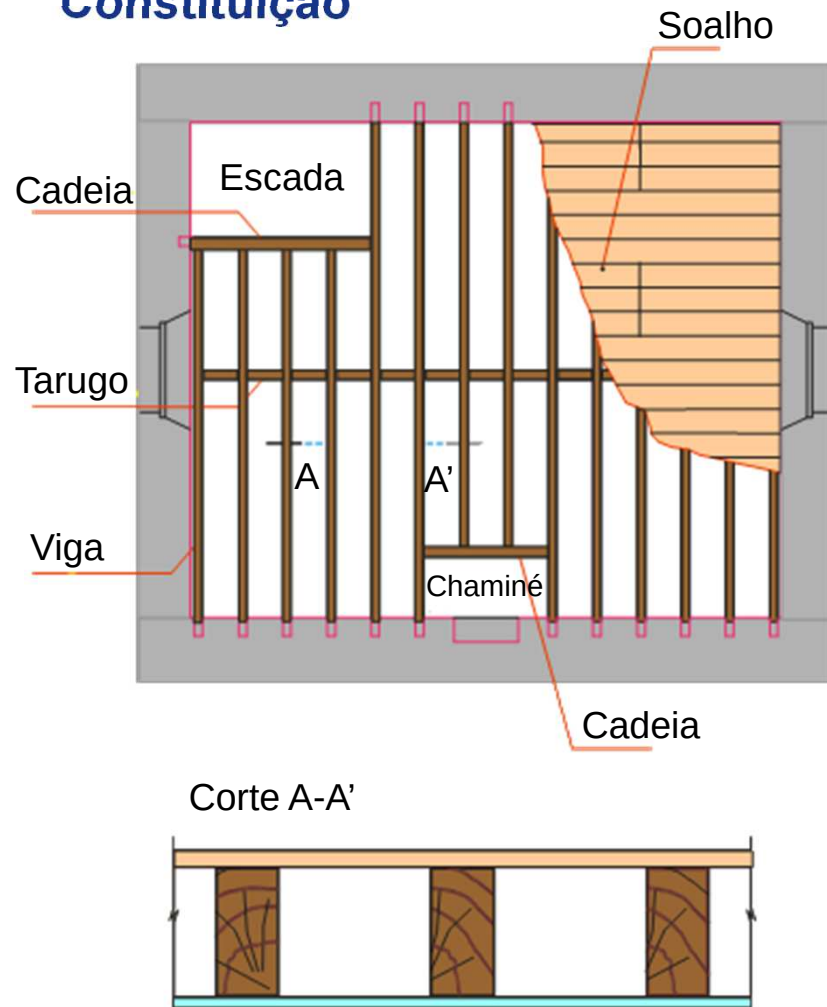
### **3.4 – Deficiências no desempenho face ao fogo**

### **3.5 – Soluções para a melhoria do desempenho face ao fogo**

## 4 – Conclusões

## Características gerais

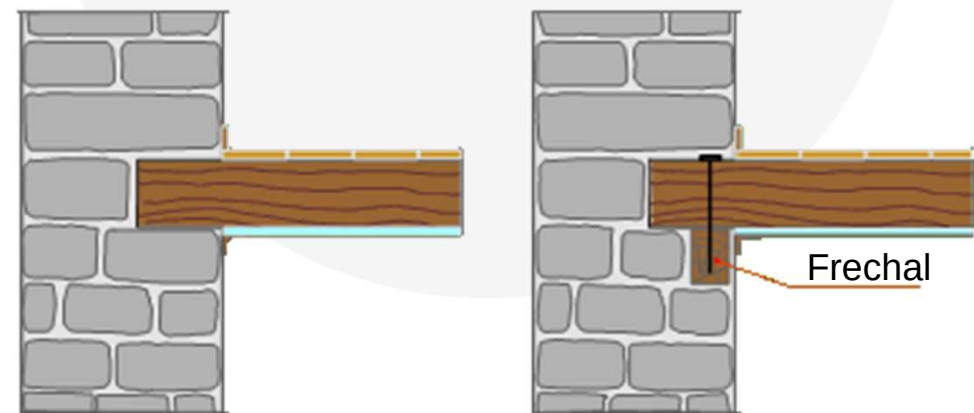
### Constituição



### Dimensões e afastamento do vigamento

- Vigas com afastamento entre faces contíguas entre 0,20 e 0,40 m;
- Vigas com altura não superior a 0,20 m;
- Vãos da ordem dos 4 m;

### Apoio nas paredes



## Deficiências estruturais

As deficiências ou insuficiências do ponto de vista do desempenho estrutural dos pavimentos de madeira dos edifícios antigos estão associadas à sua deformação excessiva

- quer para fora do seu plano, face às ações verticais decorrentes do uso normal;
- quer no seu plano, face às ações sísmicas.

## Deficiências estruturais

Face às ações sísmicas, os pavimentos podem ter uma maior ou menor capacidade de distribuição das forças de inércia horizontais pelos elementos verticais, ou seja, pelas paredes.

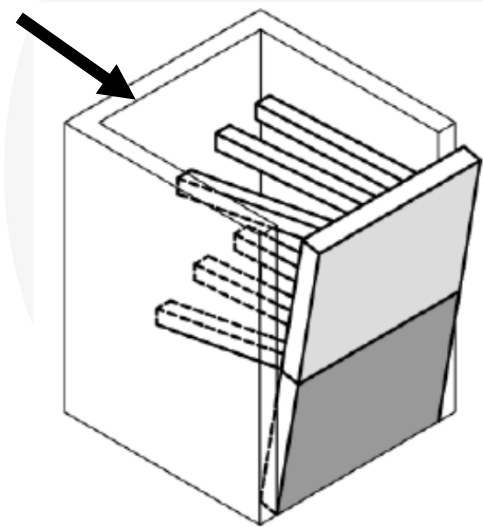
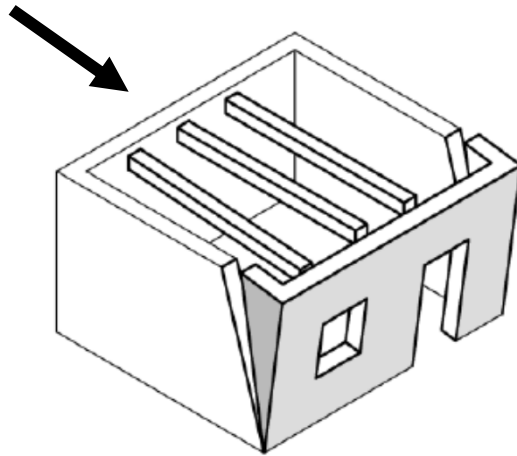
Essa capacidade de distribuição, em que o pavimento funciona como uma membrana ou um diafragma, depende

- da deformabilidade do pavimento no seu plano;
- das ligações do pavimento às paredes adjacentes.



## Deficiências estruturais

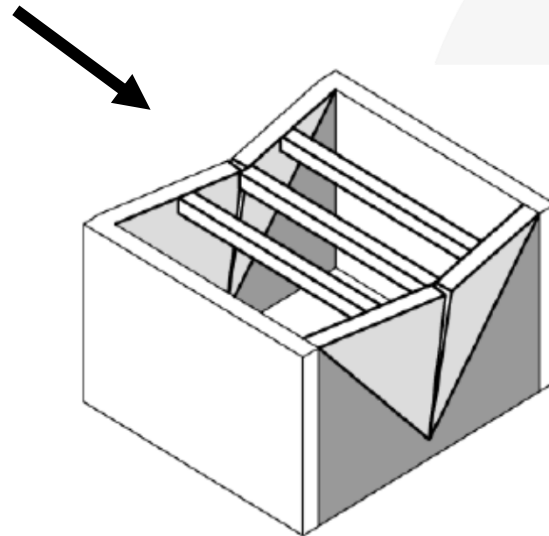
Falta de ligação às paredes laterais



Rotação da parede perpendicular à ação sísmica, devida à falta de ligação do pavimento às paredes paralelas à ação sísmica

## Deficiências estruturais

Flexibilidade do pavimento



Rotura em flexão de parede perpendicular à ação sísmica, devida **ao impulso de pavimento** demasiado flexível

## Deficiências estruturais

### Flexibilidade excessiva no plano

Da observação de danos em sismos havidos, assim como de análises efetuadas sobre esta questão, é possível prever, perante a ação sísmica, deformações elevadas desses pavimentos no plano



Jason Ingham



## Soluções de reforço estrutural

### Soluções para a melhoria do desempenho face às ações sísmicas

As intervenções que visam melhorar o comportamento dos pavimentos de madeira, funcionando como componentes de contraventamento dos edifícios **perante a ação dos sismos compreendem:**

- 1) A melhoria das **ligações pavimento-parede na zona dos apoios;**
- 2) A melhoria das **ligações pavimento-paredes laterais;**
- 3) Aumento da **rigidez no plano dos pavimentos** de madeira.

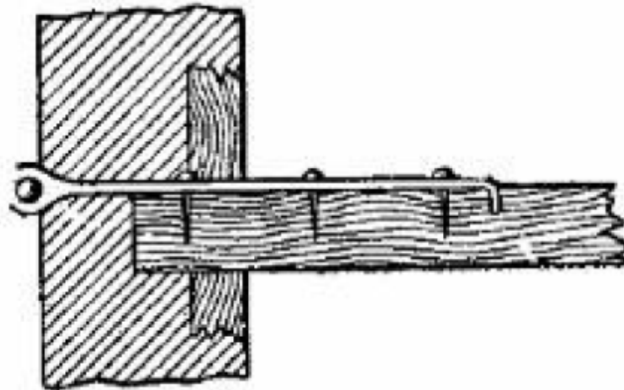


## Soluções de reforço estrutural

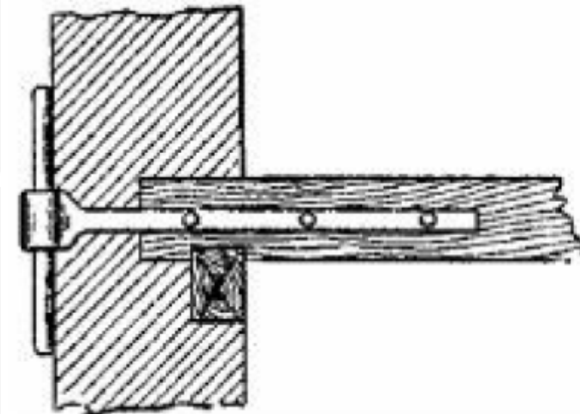
### Soluções para a melhoria do desempenho face às ações sísmicas

#### 1) Ligação pavimento-parede na zona dos apoios

Reforço da ligação de viga à parede com barra de aço



a) pregada na face superior  
das vigas



b) pregada na face lateral  
das vigas

Segurado

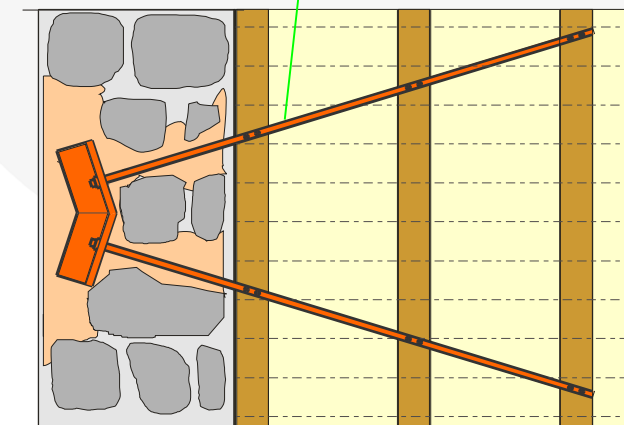
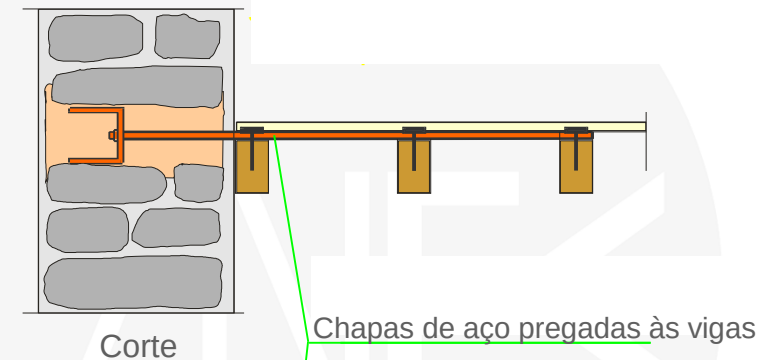
## Soluções de reforço estrutural

### Soluções para a melhoria do desempenho face às ações sísmicas

#### 2) Ligação pavimento-paredes laterais



Jason Ingham



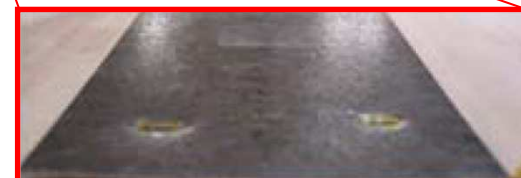
## Soluções de reforço estrutural

### Soluções para a melhoria do desempenho face às ações sísmicas

#### 3) Aumento da rigidez no plano dos pavimentos de madeira

Têm vindo a ser preconizadas e analisadas diversas soluções para o aumento de rigidez dos pavimentos no seu plano, que em geral passam pela aplicação, sobre o soalho existente, de:

- elementos de madeira maciça ou de placas de derivados de madeira;
- de tiras e chapas metálicas;
- de faixas de materiais compósitos de polímero reforçado com fibras (FRP);
- ou ainda, de camadas de betão armado, constituindo pavimentos mistos madeira-betão.



Jason Ingham

## Soluções de reforço estrutural

### Soluções para a melhoria do desempenho face às ações sísmicas

#### 3) Aumento da rigidez no plano dos pavimentos de madeira

Para além de se proceder à melhoria das ligações pavimento-parede, interessa aumentar a rigidez dos pavimentos no seu plano, garantindo que os pavimentos funcionem como diafragmas.



Appleton



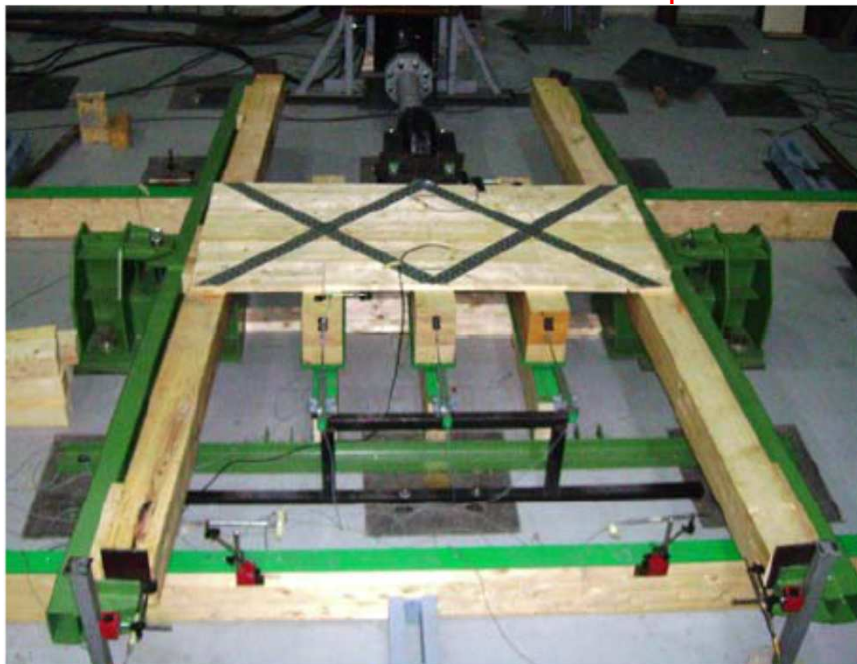
## Soluções de reforço estrutural

### Soluções para a melhoria do desempenho face às ações sísmicas

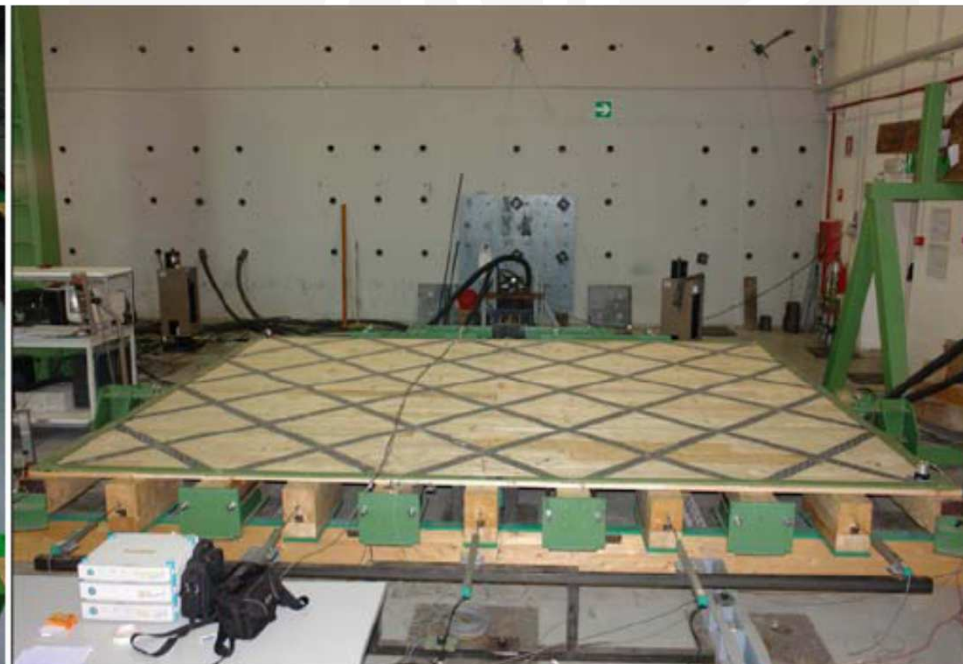
#### 3) Aumento da rigidez no plano dos pavimentos de madeira

Refere-se a título de exemplo um trabalho de investigação experimental realizado na Universidade de Trento, em que foi analisado o comportamento em flexão no plano de modelos de pavimentos com diferentes soluções de reforço

#### Dispositivos de ensaios utilizados



a) Ensaios monotónicos preliminares (2 x 1 m)



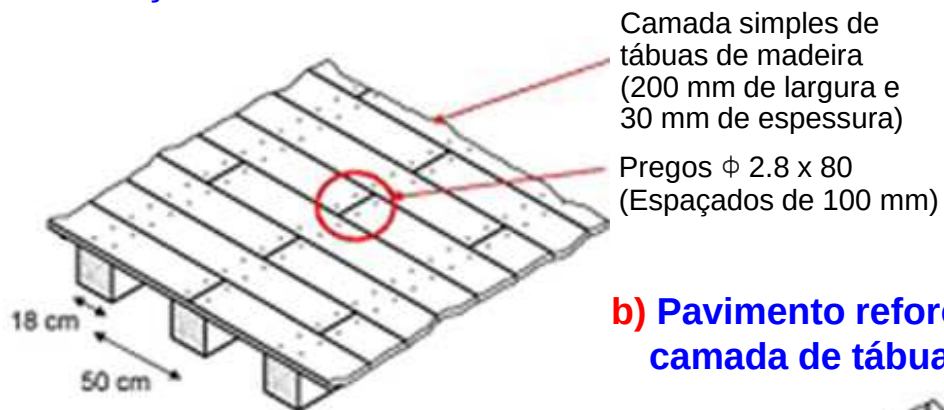
b) Ensaios cíclicos (5 x 4 m)

## Soluções de reforço estrutural

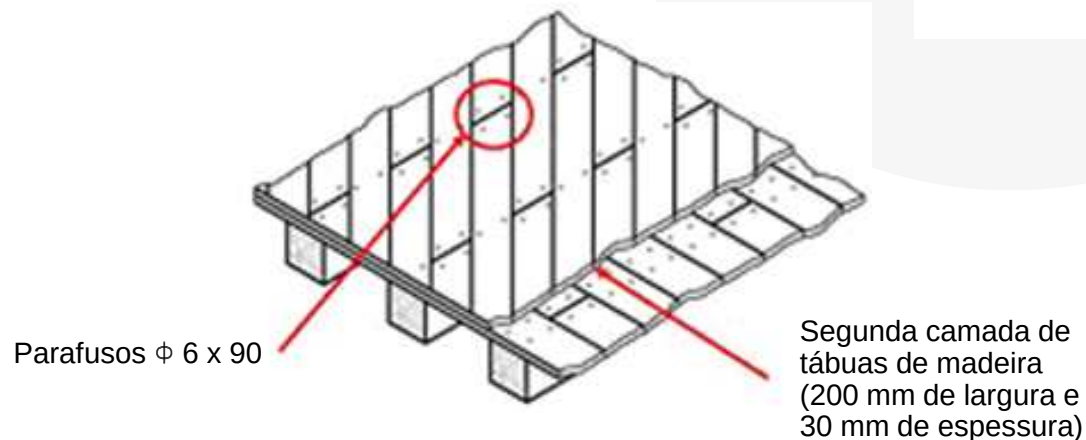
### Soluções para a melhoria do desempenho face às ações sísmicas

#### 3) Aumento da rigidez no plano dos pavimentos de madeira

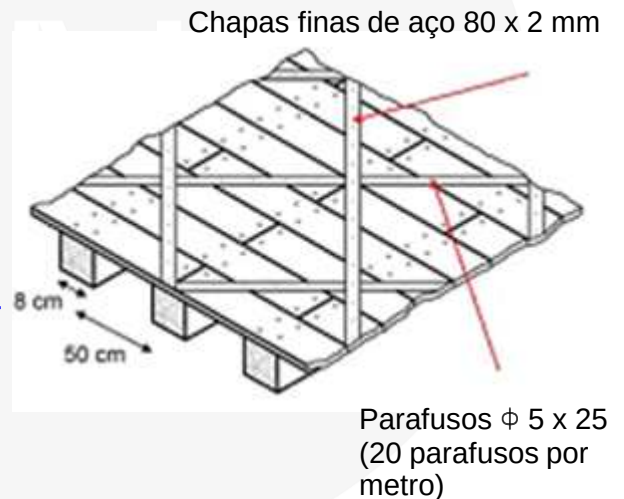
##### a) Pavimento de madeira simples, não reforçado - modelo de referência



##### b) Pavimento reforçado com segunda camada de tábuas de soalho



##### c) Pavimento reforçado com chapas finas de aço

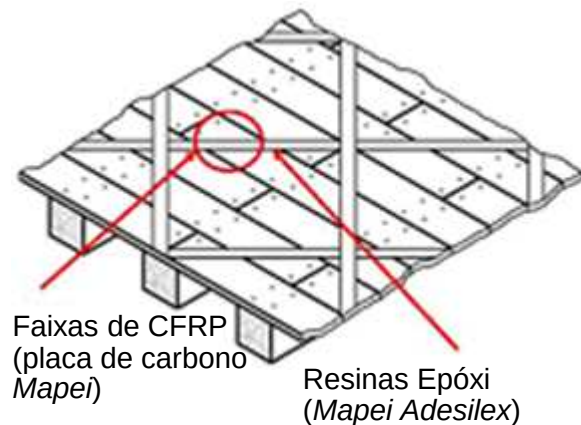


## Soluções de reforço estrutural

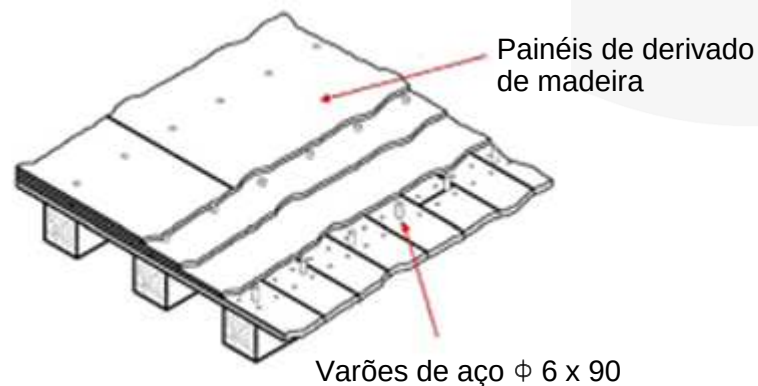
### Soluções para a melhoria do desempenho face às ações sísmicas

#### 3) Aumento da rigidez no plano dos pavimentos de madeira

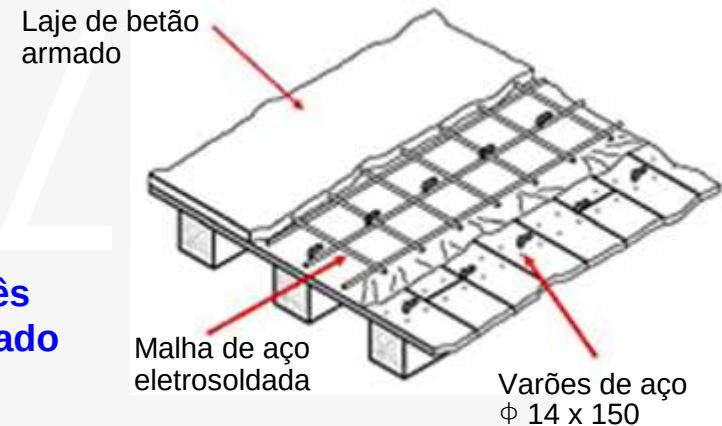
##### d) Pavimento reforçado com faixas de CFRP



##### e) Pavimento reforçado com três camadas de painéis de derivado de madeira



##### f) Pavimento reforçado com laje de betão armado,

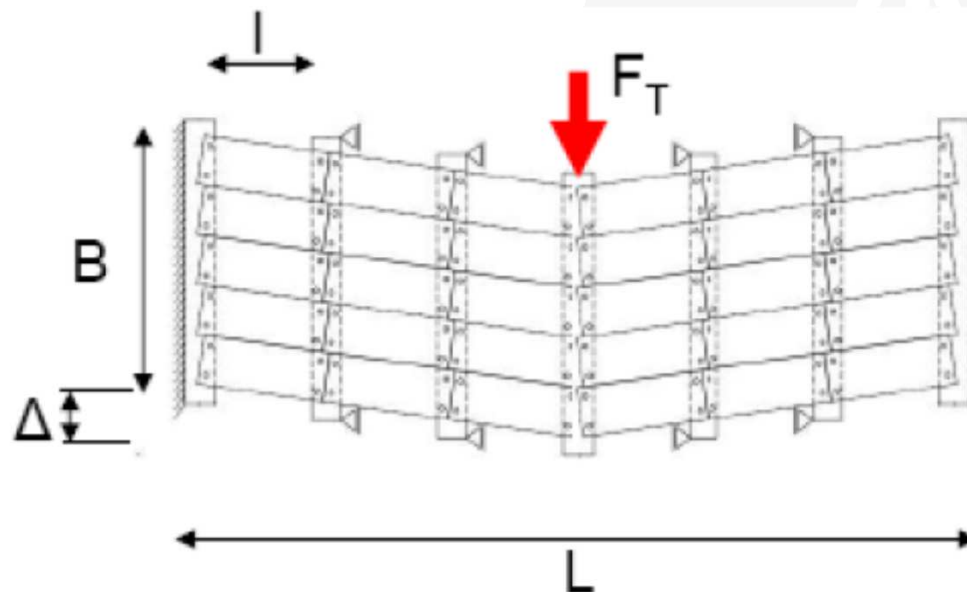


## Soluções de reforço estrutural

### Soluções para a melhoria do desempenho face às ações sísmicas

#### 3) Aumento da rigidez no plano dos pavimentos de madeira

Fator de rigidez  $K = \frac{F_T}{\Delta} \quad [\text{kN/mm}]$





## Soluções de reforço estrutural

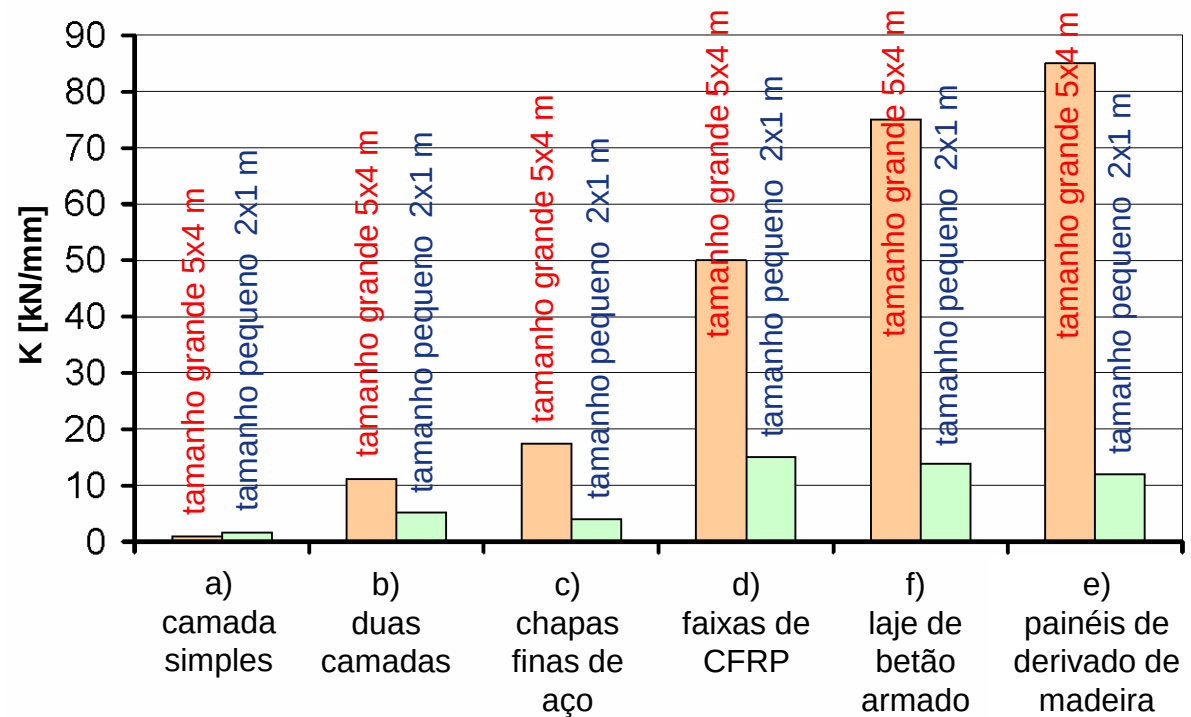
### Soluções para a melhoria do desempenho face às ações sísmicas

#### 3) Aumento da rigidez no plano dos pavimentos de madeira

Valores do fator de rigidez (K) correspondentes às diferentes soluções:

- Os provetes com as faixas de CFRP são mais rígidos do que os provetes com chapas finas de aço
- A rigidez dos provetes com três camadas de placas de derivados de madeira é similar à rigidez dos provetes com a laje de betão

Resultados dos ensaios



## Deficiências no desempenho face ao fogo

A segurança contra riscos de incêndio, por razões diversas, constitui em geral uma das grandes debilidades dos edifícios antigos.

Os problemas de segurança ao incêndio em edifícios antigos relacionam-se com:

- a) Elevada probabilidade de deflagração de incêndio;
- b) Relativa facilidade de desenvolvimento e propagação do incêndio;
- c) Dificuldade de evacuação do edifício;
- d) Dificuldade de combate ao incêndio.

## Deficiências no desempenho face ao fogo



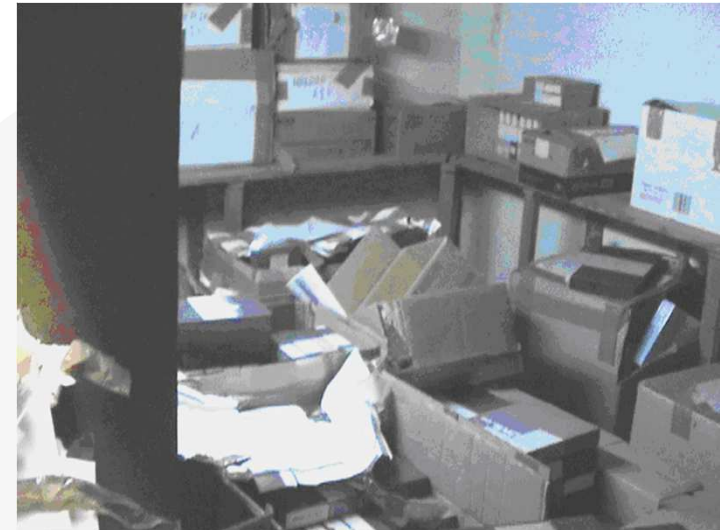
O grande incêndio de 1988 no Chiado, assim como outros incêndios que, apesar de menores repercussões, ocorrem com alguma frequência em edifícios antigos, são prova da sua debilidade em relação aos aspetos enunciados.

## Deficiências no desempenho face ao fogo

### a) Deflagração de incêndio

São diversos os fatores que potenciam um início de incêndio nestes edifícios:

- A madeira da constituição dos edifícios (pavimentos, coberturas, escadas, paredes divisórias);
- Tipo de utilização (habitação, escritórios, comércio) e as cargas de incêndio associadas (botijas de gás, papel, tecidos, etc.);
- Deficiente manutenção do edifício (acumulação de poeiras e de materiais diversos no desvão das coberturas);
- Deficiente estado das instalações elétricas.





## Deficiências no desempenho face ao fogo

### b) Desenvolvimento e propagação do incêndio

São diversos os fatores que potenciam a propagação dos incêndios:

- A limitada capacidade de resistência ao fogo dos elementos de compartimentação horizontais e verticais (pavimentos e divisórias de madeira);
- Intervenções realizadas sobre os edifícios antigos (aberturas em paredes meias, não-reposição de paredes guarda-fogo emergentes da cobertura;



## Deficiências no desempenho face ao fogo

### b) Desenvolvimento e propagação do incêndio

No interior de edifícios antigos, tirando as paredes de alvenaria que em geral apresentam boa resistência ao fogo, existem os pavimentos de madeira e as paredes que integram elementos de madeira, cuja resistência ao fogo em geral não é satisfatória.

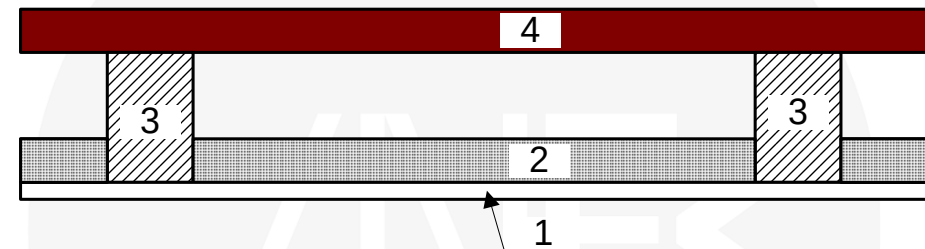
De acordo com a legislação em vigor, em, por exemplo, edifícios de habitação (utilização-tipo I), os elementos de separação entre fogos e entre fogos e zonas comuns do mesmo edifício (pavimentos e paredes) devem ser da classe de resistência:

- **REI 30**, para edifícios até 9 m acima do solo (1ª categoria de risco);
- **REI 60**, para edifícios até 28 m acima do solo (2ª categoria de risco).

## Soluções para a melhoria do desempenho face ao fogo

A satisfação destas exigências de resistência ao fogo (REI 30 e REI 60) pelos pavimentos de madeira, obriga à adoção de soluções de reforço da sua resistência ao fogo, que poderão passar, por exemplo:

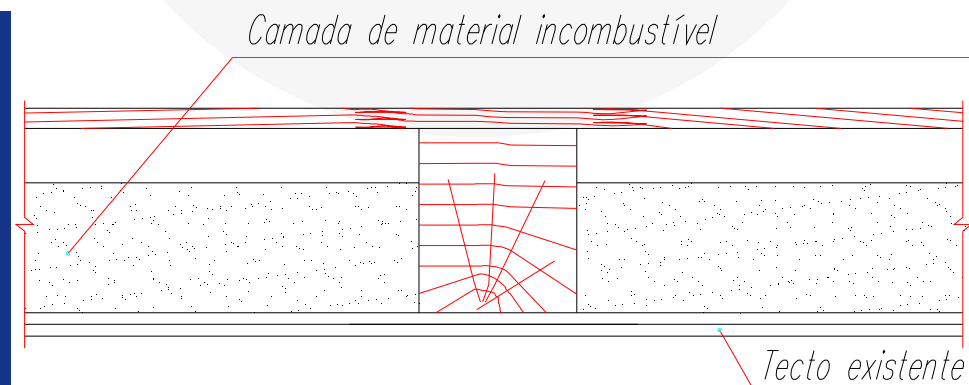
**Pela aplicação de placas de gesso, com isolante térmico (lã de rocha) pregadas às vigas ou ao teto existente;**



Legenda:

- 1 - Placa de gesso com espessura  $\geq 1$  cm
- 2 - Isolamento térmico (lã de rocha com espessura  $\geq 5$  cm)
- 3 - Vigas de madeira
- 4 - Soalho de madeira (espessura  $\geq 3$  cm /  $\rho \geq 6$  kN/m<sup>3</sup>)

**Pelo preenchimento do espaço entre o revestimento de piso e o revestimento de teto com material incombustível.**



## 1 – Introdução

## 2 – Paredes de alvenaria de pedra irregular

### 2.1 – Características gerais

### 2.2 – Deficiências estruturais

### 2.3 – Soluções de reforço estrutural

## 3 – Pavimentos de madeira

### 3.1 – Características gerais

### 3.2 – Deficiências estruturais

### 3.3 – Soluções de reforço estrutural

### 3.4 – Deficiências no desempenho face ao fogo

### 3.5 – Soluções para a melhoria do desempenho face ao fogo

## 4 – Conclusões



### Soluções para a melhoria do desempenho estrutural de paredes de alvenaria de pedra irregular

A associação das técnicas de reforço constituídas por **conectores transversais** e por **revestimento das faces das paredes efetuado com reboco armado com redes de GFRP** permitem acréscimos razoáveis de resistência ao corte no plano das paredes de alvenaria, e em simultâneo podem ser consideradas **pouco intrusivas, reversíveis e compatíveis** com as alvenarias existentes.

Salienta-se a necessidade de melhorar o conhecimento das técnicas de reforço referidas, **quando aplicadas às alvenarias construídas em Portugal**, e de estabelecer **critérios de dimensionamento** que permitam a sua utilização corrente, de forma fundamentada, no reforço das paredes de alvenaria.

### Soluções para a melhoria do desempenho estrutural de pavimentos de madeira em relação às ações sísmicas

Chama-se a atenção para a necessidade de se garantirem adequadas **ligações pavimento-parede** e de diminuir **a deformação no plano dos pavimentos**, como forma de evitar deformações elevadas das paredes para fora do seu plano. Referiu-se um trabalho de investigação experimental em que foram estudadas diversas soluções para aumentar a rigidez no plano dos pavimentos de madeira.

Salienta-se a necessidade de aprofundar o conhecimento das implicações do comportamento dos pavimentos de madeira no comportamento global dos edifícios, em particular às ações sísmicas, e de estudar sistemas inovadores de ligação dos pavimentos às paredes de alvenaria, assim como de soluções de reforço dos pavimentos que lhes permitam adequado funcionamento de diafragma.

### Soluções para a melhoria do desempenho face ao fogo dos pavimentos de madeira

Em particular referem-se as técnicas que permitem melhorar a resistência ao fogo dos pavimentos de madeira, salientando-se a necessidade da sua aplicação, já que os pavimentos existentes, só por si, constituem uma das maiores debilidades dos edifícios antigos no que se refere à propagação do fogo.

Apontam-se técnicas pouco intrusivas e reversíveis **aplicáveis às situações em que é possível intervir sob o pavimento**, ou seja nos tetos, **e às situações em que os tetos devem ser mantidos**, por exemplo, pela ornamentação que apresentam e nesse caso a intervenção tem de ser efetuada através do revestimento de piso.

Salienta-se a necessidade de realizar estudos experimentais, a fim de caracterizar soluções tradicionais e inovadoras para reforço da resistência ao fogo de pavimentos de madeira de edifícios antigos.

# Obrigado

