

Património Cultural Construído Face ao Risco Sísmico

16 de maio de 2013, Lisboa

isise

**OS ENSAIOS EXPERIMENTAIS
REALIZADOS NA UMINHO NO
ÂMBITO DO PROJETO NIKER**



Universidade do Minho

Daniel Oliveira
Universidade do Minho

Conteúdo

- Introdução
- Paredes de taipa
- Paredes de frontal
- Asnas de madeira
- Ligações parede-piso e parede-frontal
- Conclusões

Introdução

Paredes de taipa

Paredes de frontal

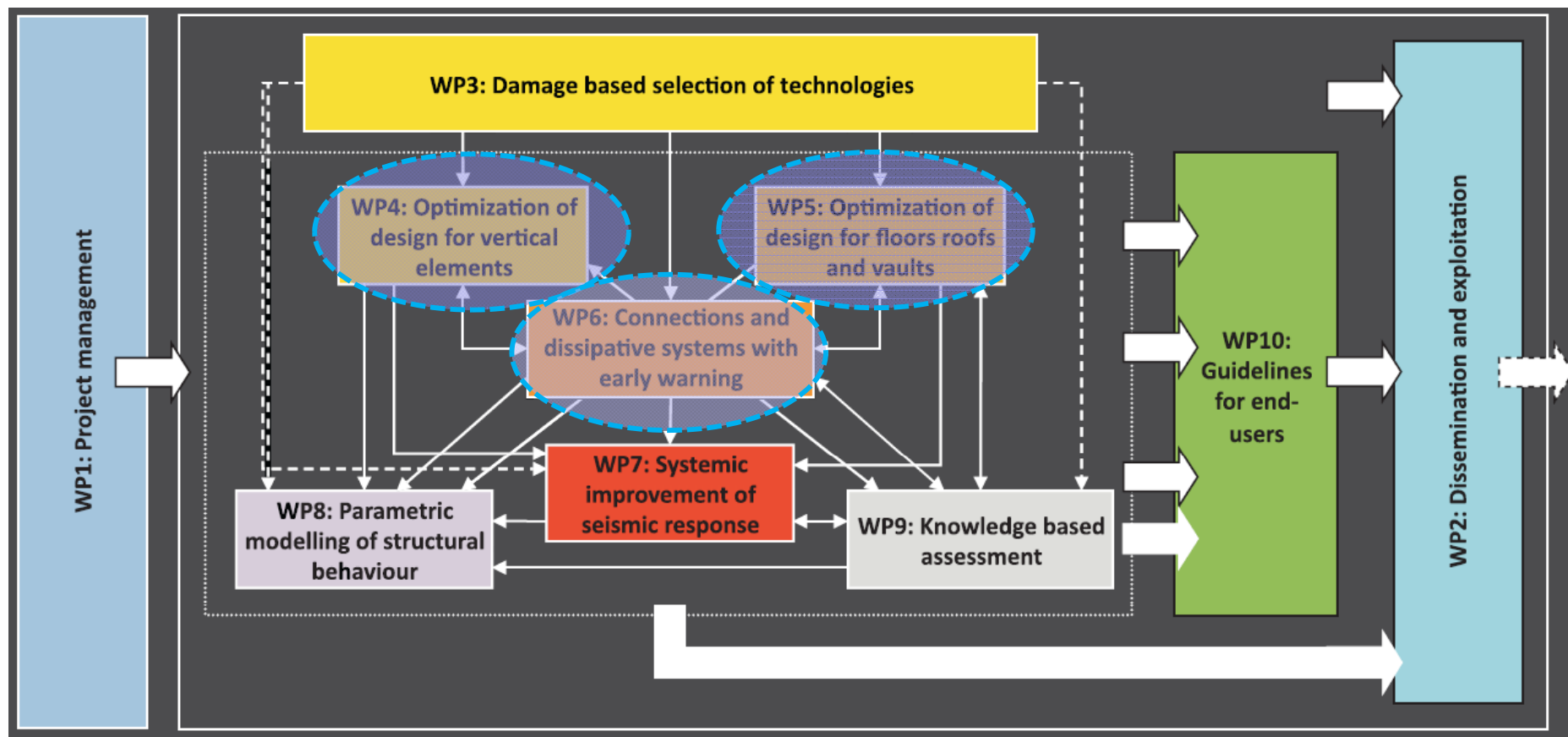
Asnas de madeira

Ligações parede-piso e parede-frontal

Conclusões

PROJETO NIKER (2010-2012)

☐ Tarefas experimentais desenvolvidas na UMinho

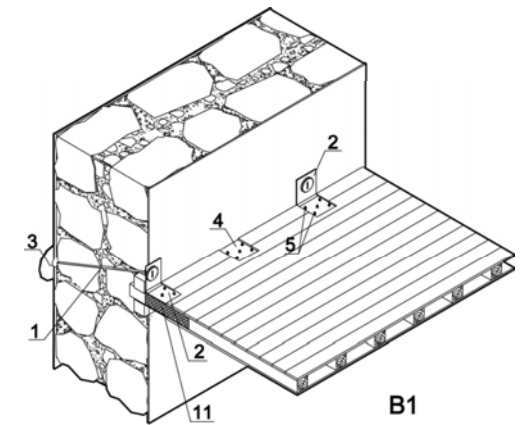


TRABALHOS EXPERIMENTAIS NA UMINHO

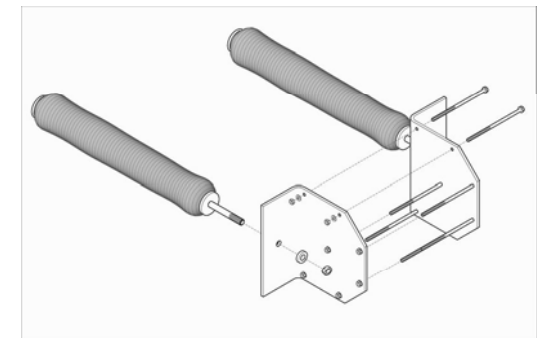
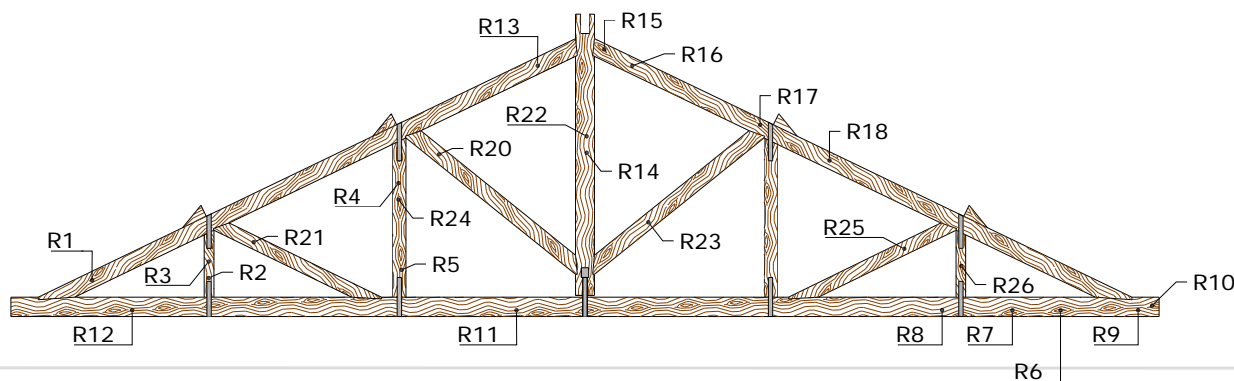
❑ Elementos verticais



❑ Ligações



❑ Elementos horizontais (coberturas)



- Introdução
- Paredes de taipa**
- Paredes de frontal
- Asnas de madeira
- Ligações parede-piso e parede-frontal
- Conclusões

REPARAÇÃO DE PAREDES DE TAIPA COM INJEÇÃO DE CALDAS

Origens da fendilhação

- ❑ Atividade biológica (plantas e animais)
- ❑ Fundação deficiente
- ❑ Outros problemas estruturais (ex: relacionados com conceção e execução)



REPARAÇÃO DE PAREDES DE TAIPA COM INJEÇÃO DE CALDAS

Importância da reparação

- ❑ Impedir infiltração de água e progressão do dano
- ❑ Recuperar (boa parte da) resistência e rigidez iniciais das paredes
- ❑ Recuperar o comportamento monolítico



INJEÇÃO DE CALDAS

Conceito

- ❑ Restabelecer a **integridade estrutural** e promover a **durabilidade**
- ❑ **Complementar** outro tipo de intervenções, como pregagens e ancoragens

Problema

- ❑ Caldas usadas na consolidação de alvenarias históricas **não são adequadas** para construções em terra (são demasiado resistentes e rígidas)
- ❑ **Incompatibilidade** físico-mecânica entre materiais pode implicar menor eficiência e problemas de durabilidade



- ❑ Necessidade de desenvolver **caldas de injeção específicas**

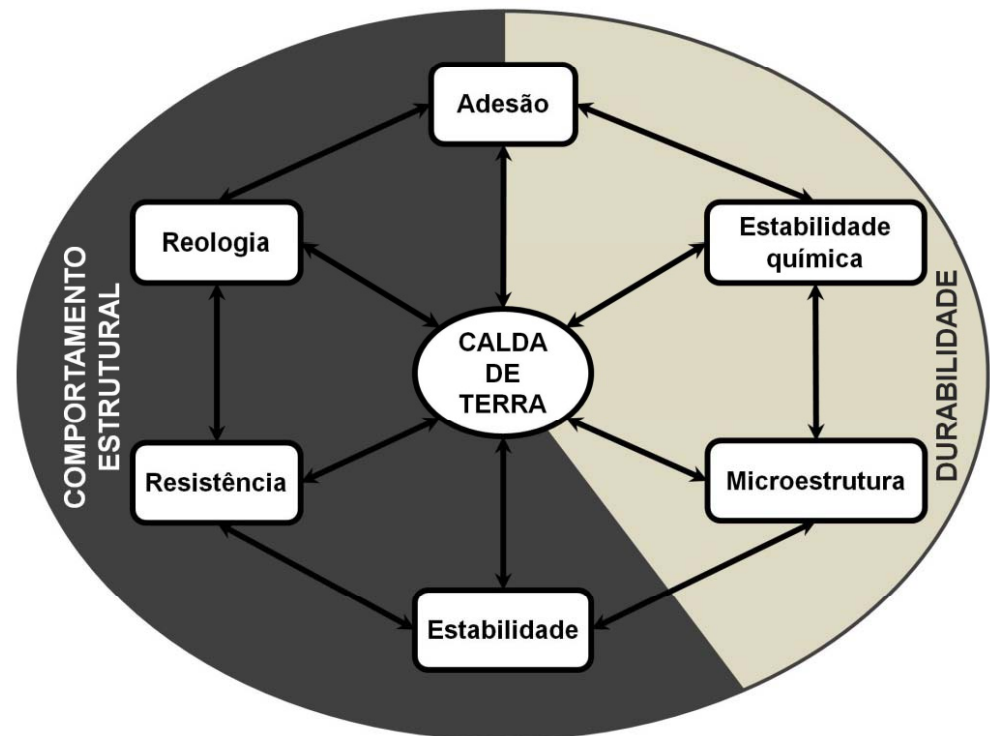
DESENVOLVIMENTO DE UMA CALDA DE TERRA

Propriedades

- ❑ Fluidez elevada
- ❑ Retração mínima
- ❑ Resistência mecânica



Fluidez vs. resistência...



DESENVOLVIMENTO DE UMA CALDA DE TERRA

Componentes

- ❑ Argila (terra peneirada ou pó de caulino)
- ❑ Filer (pó de calcário)
- ❑ Desfloculante (promover fluidez)
- ❑ Água (promover fluidez + ativar a resistência da argila)



VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL

- Ensaio de flexão: recuperação média de resistência entre 55 e 74%



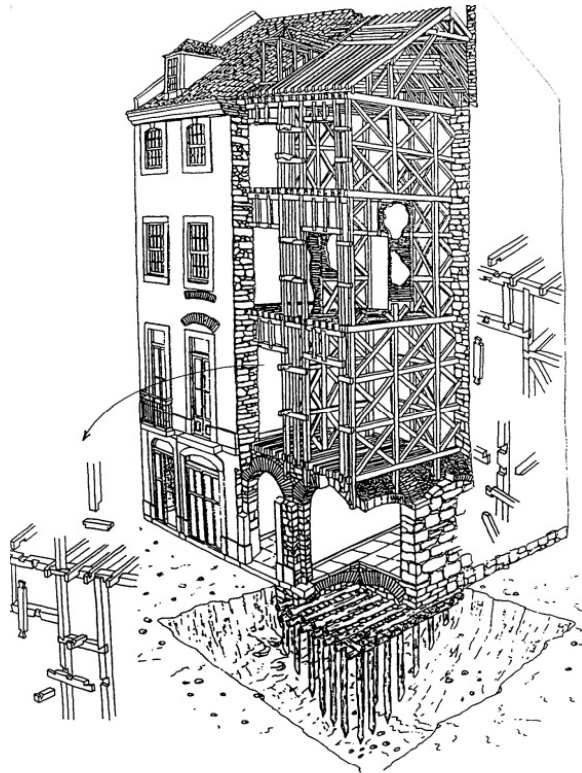
- Ensaio de compressão diagonal: recuperação média de resistência de 66%



- Introdução
- Paredes de taipa
- Paredes de frontal**
- Asnas de madeira
- Ligações parede-piso e parede-frontal
- Conclusões

PAREDES DE FRONTAL

- ❑ Solução **sismo-resistente tradicional**, encontrada em Lisboa mas também no norte.



Típico edifício Pombalino
(Mascarenhas 2004)



Paredes de frontal em Guimarães

PAREDES DE FRONTAL

- ❑ Não é uma solução só portuguesa... (é utilizada em varios paises)



Germany



Turkey

(Gulkan & Langenbach 2004)



India

(Langenbach 2007)

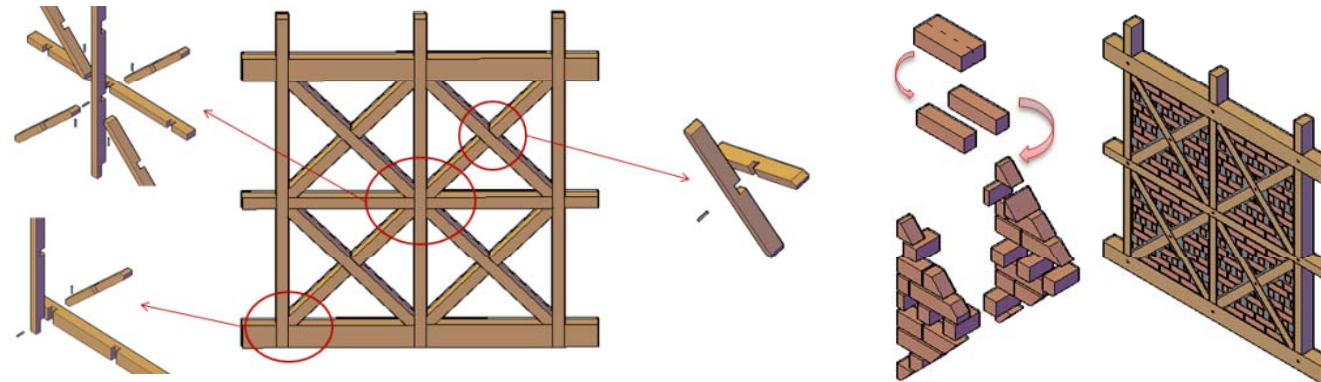
E também:

- Itália
- Espanha
- França
- Grecia
- Inglaterra
- ...

- ❑ A grande difusão e importância cultural deste tipo de construção torna fundamental a sua preservação

ENSAIOS EM PAREDES DE FRONTAL

- ❑ **Objetivo:** perceber o **comportamento** das paredes & estudar tipologias de **reforço**

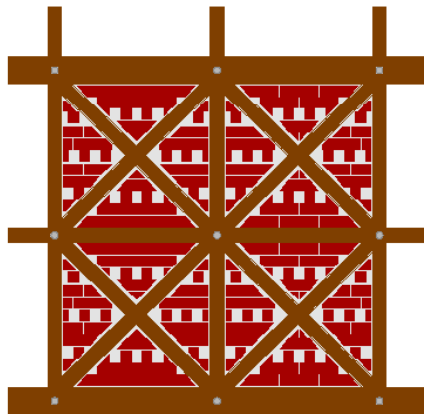


- ❑ Dimensões e ligações tradicionais dos frontais pombalinos

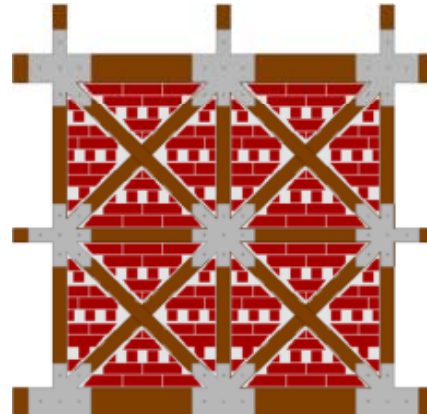


ENSAIOS EM PAREDES DE FRONTAL REFORÇADAS

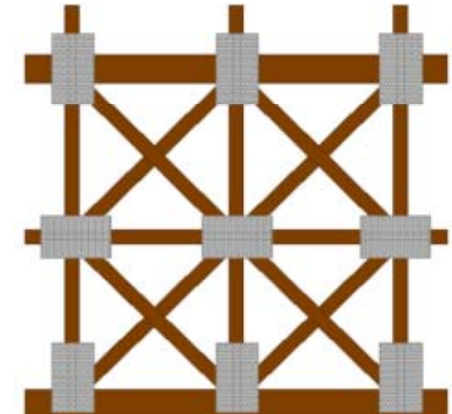
□ Tipos de reforço:



Parafusos nas ligações principais



Chapas nas ligações principais

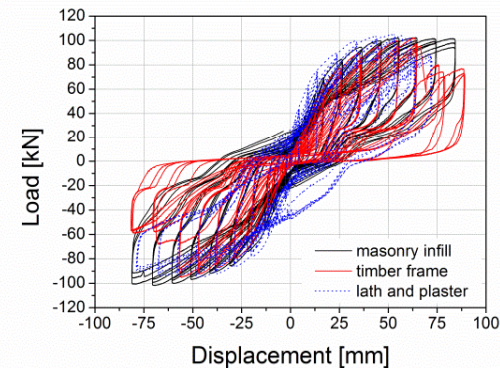
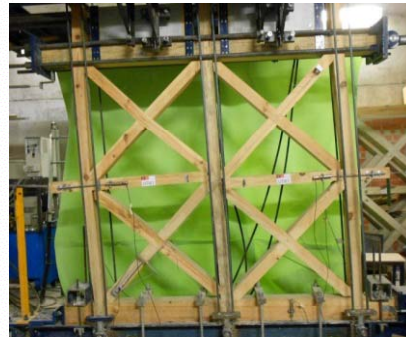
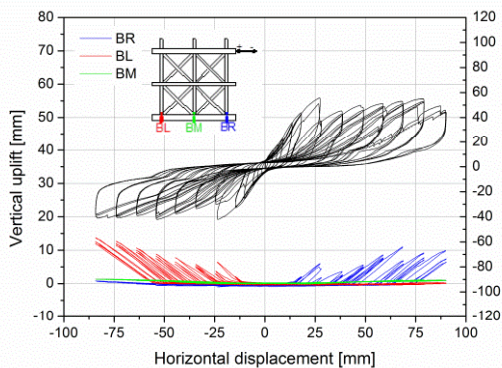


Chapas nas ligações principais

□ **Objectivo:** Melhorar o comportamento às ações sísmicas

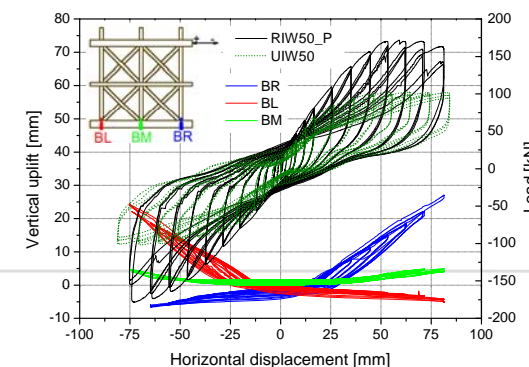
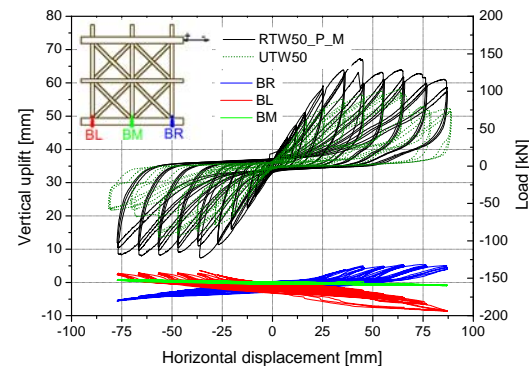
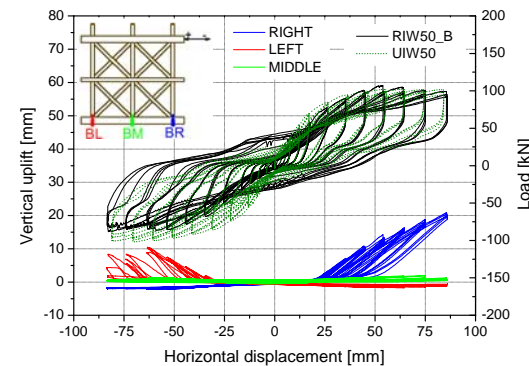
RESULTADOS DAS PAREDES NÃO REFORÇADAS

- ❑ Comportamento dominante de corte (não preenchidas) e flexão (preenchidas)
- ❑ Material de preenchimento aumenta a resistencia e rigidez das paredes, e a capacidade de dissipar energia
- ❑ Carga vertical maior aumenta a resistência, a rigidez e a capacidade dissipativa das paredes



RESULTADOS DAS PAREDES REFORÇADAS

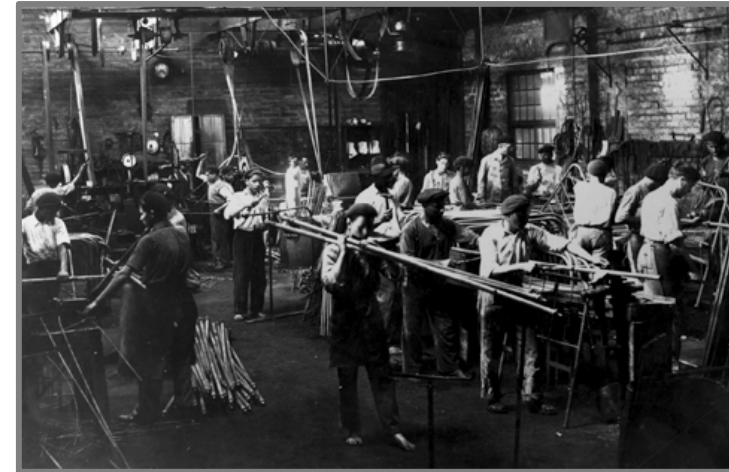
- ❑ O reforço com parafusos não aumentou a resistência das paredes, mas melhorou o funcionamento das ligações da madeira
- ❑ O reforço com chapas aumentou a resistência das paredes até 88%, a rigidez até 77% e a capacidade dissipativa até 60%



- Introdução
- Paredes de taipa
- Paredes de frontal
- Asnas de madeira**
- Ligações parede-piso e parede-frontal
- Conclusões

COMPORTAMENTO EXPERIMENTAL DE ASNAS TRADICIONAIS

- ❑ Recuperação de 3 asnas (12.6m vão) de uma antiga fábrica do distrito de Aveiro



- ❑ **Objetivo:**

- Avaliar o comportamento da **asna original**
- Avaliar a eficiência de **técnicas de reforço “simples”**



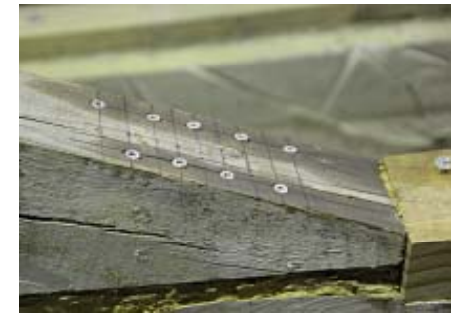
COMPORTAMENTO EXPERIMENTAL DE ASNAS TRADICIONAIS

- ❑ Inspeção visual e diagnóstico do **estado de conservação** dos elementos em madeira

- ❑ **Ensaio**s cíclicos simulando a aplicação de cargas in situ
 - 1 asna original (sem reforço)

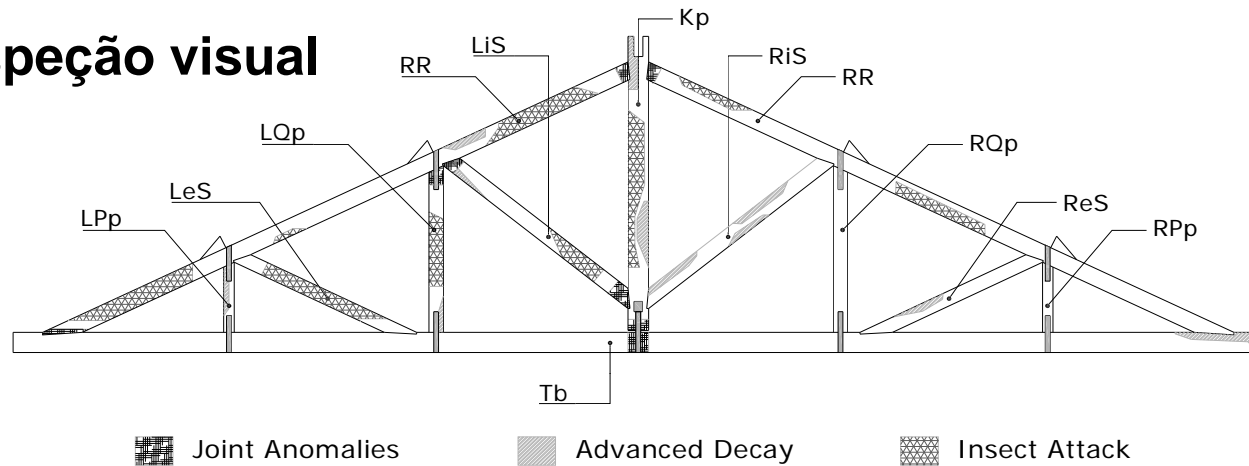
 - 1 asna reforçada com parafusos autoperfurantes

 - 1 asna reforçada com esquadros metálicos aparafusados

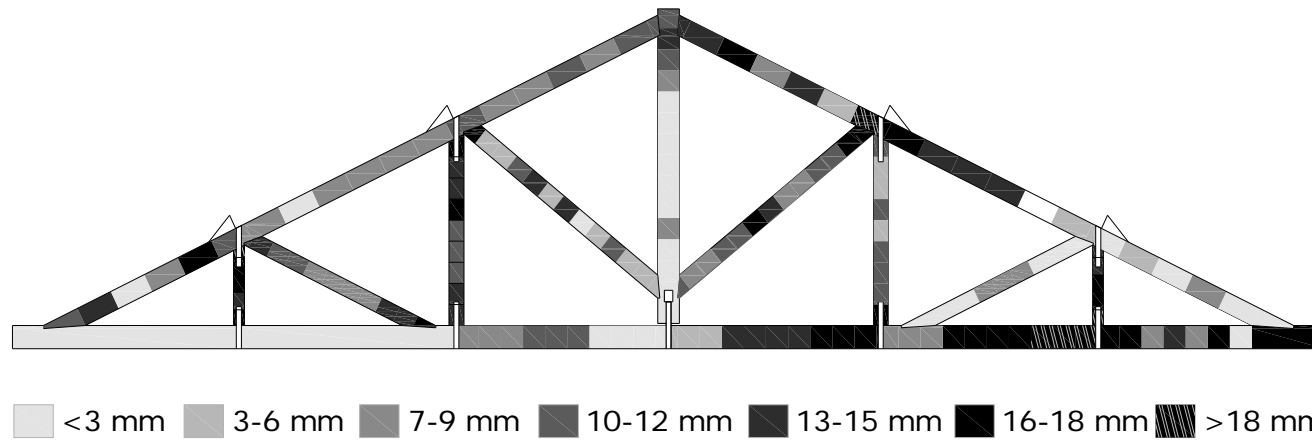


DIAGNÓSTICO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO

Inspeção visual

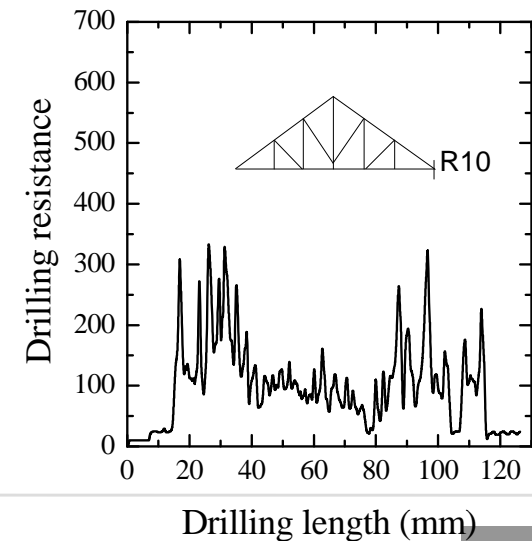
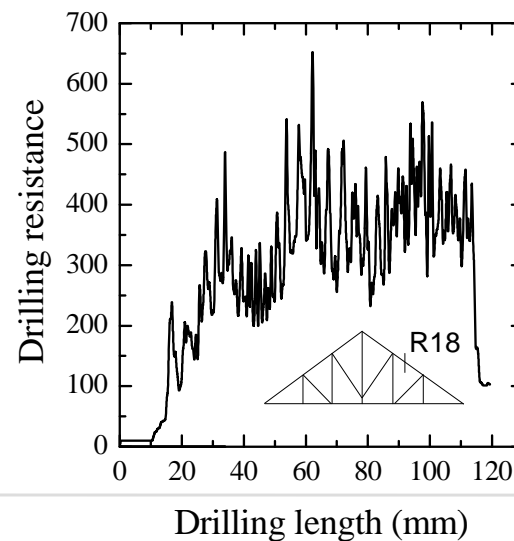
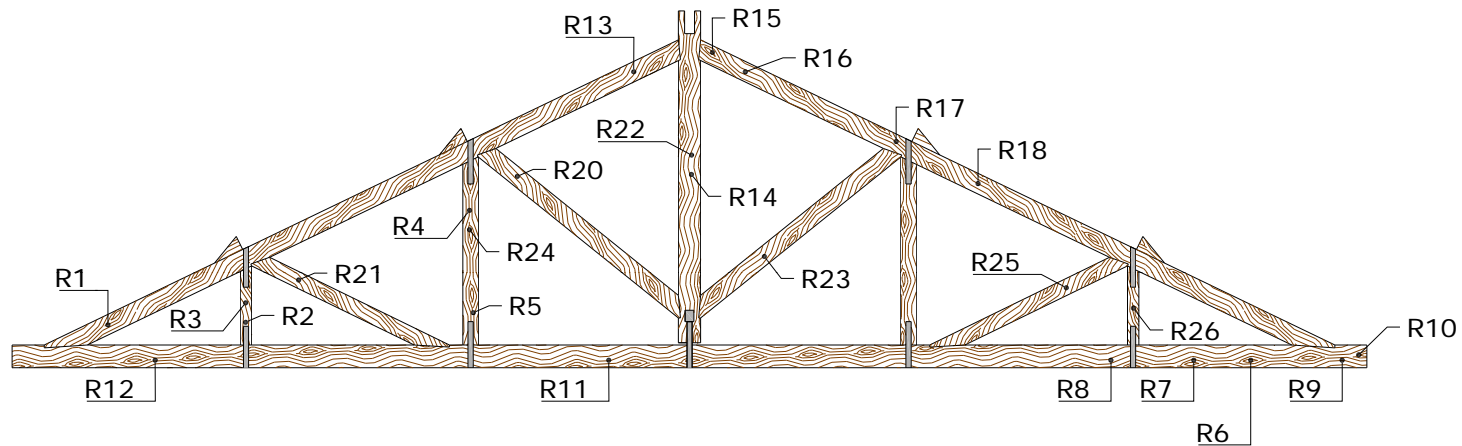


Ensaio de Pylodin (dureza superficial)

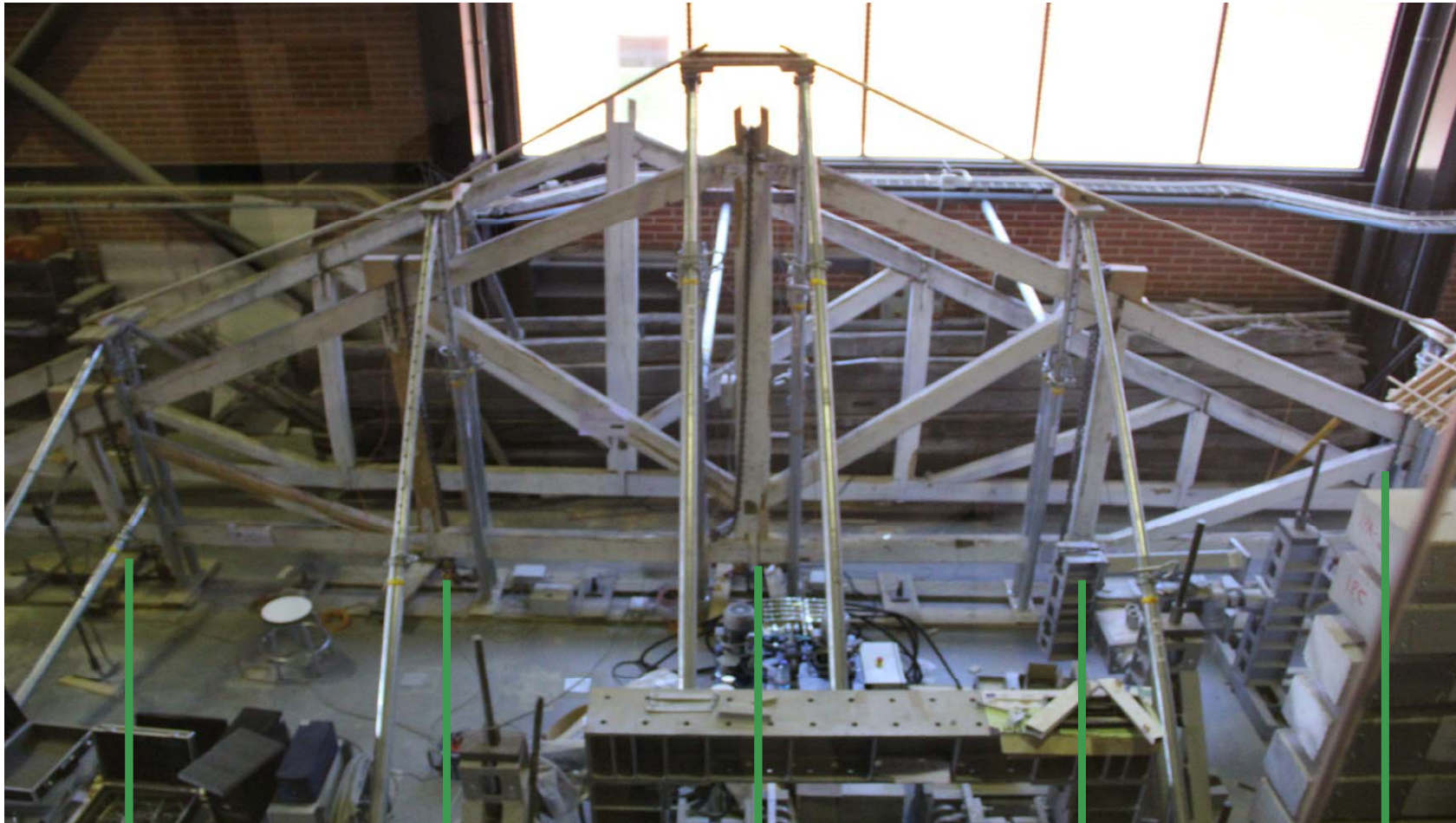


DIAGNÓSTICO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO

Resistógrafo (resistência à perfuração)



ENSAIOS CÍCLICOS



Atuador 1

Atuador 2

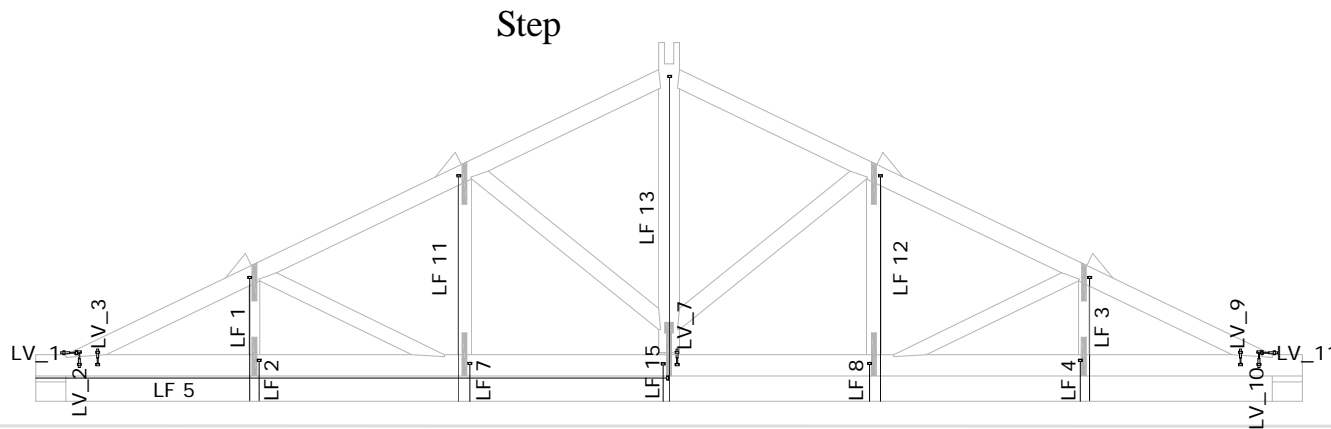
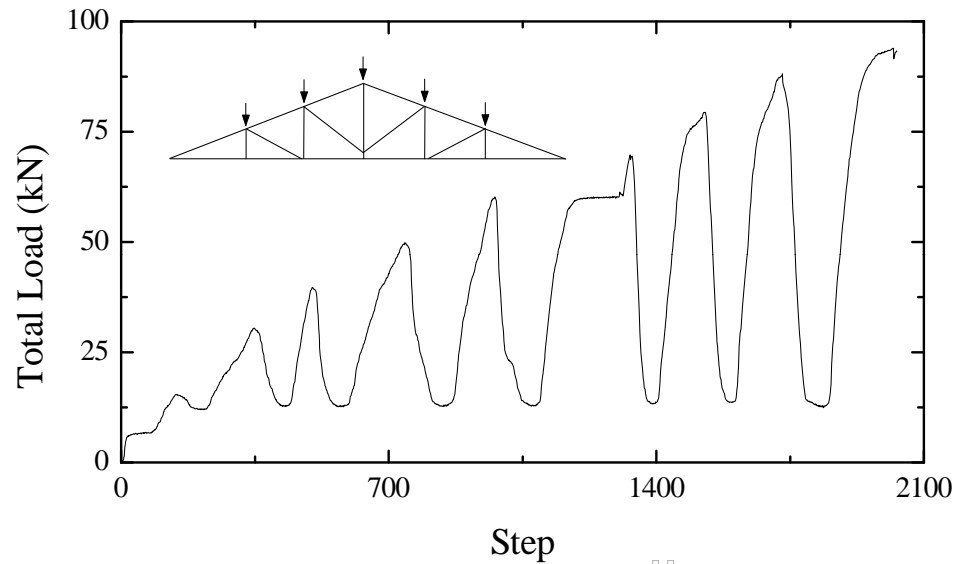
Atuador 3

Atuador 4

Atuador 5

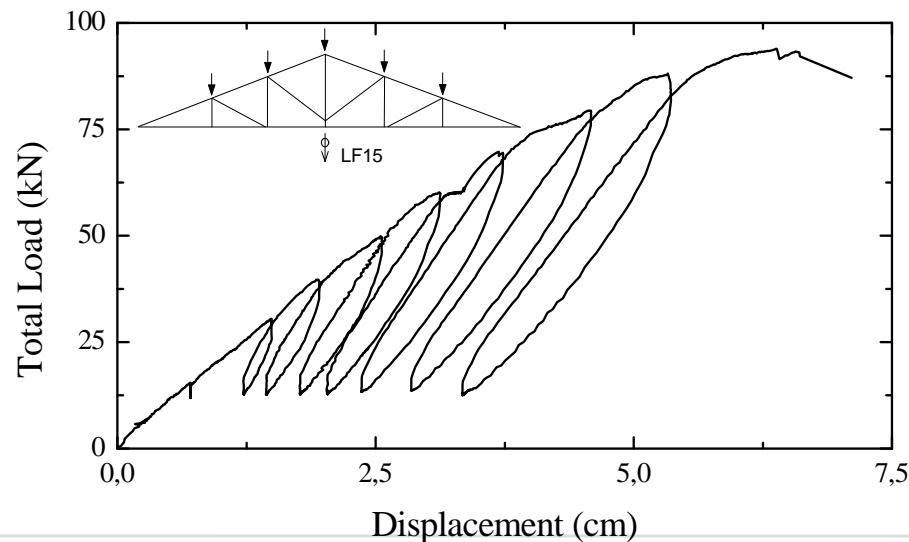
ENSAIOS CÍCLICOS

❑ Carga cíclica em 5 nós da asna



RESULTADOS: ASNA ORIGINAL (NÃO REFORÇADA)

- ❑ Bom comportamento global (ligações como zonas críticas)
- ❑ Rotura por esmagamento da madeira (lado esquerdo) e por corte na ligação (lado direito)



REFORÇO DAS ASNAS

Parafusos autoperfurantes

(ligações perna-linha)

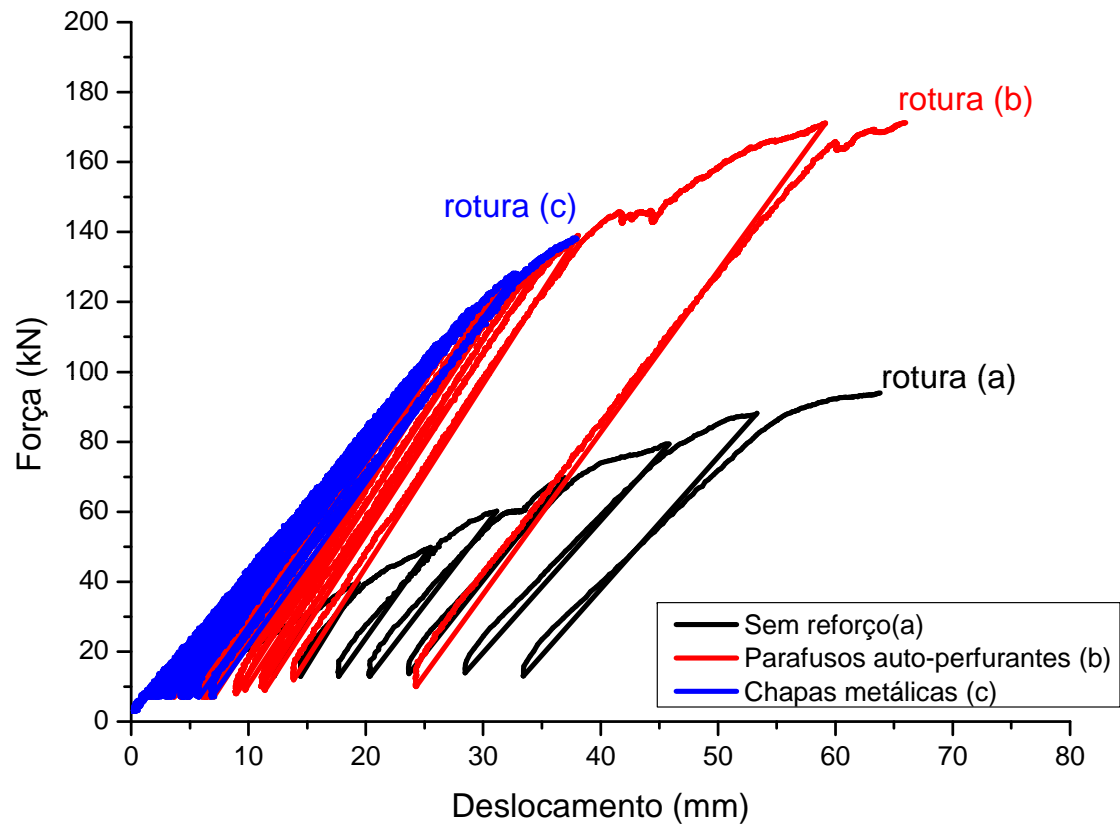


Esquadros metálicos aparafusados

(ligações perna-linha,
pendural-pernas e
pendural-escoras)



EFICIÊNCIA DO REFORÇO



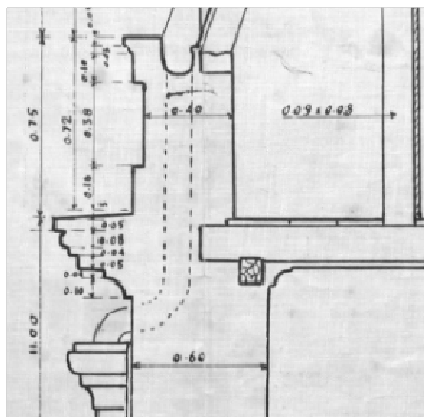
- ☐ Melhoria do comportamento estrutural das asnas deve incluir reforço das juntas

- Introdução
- Paredes de taipa
- Paredes de frontal
- Asnas de madeira
- Ligações parede-piso e parede-frontal**
- Conclusões



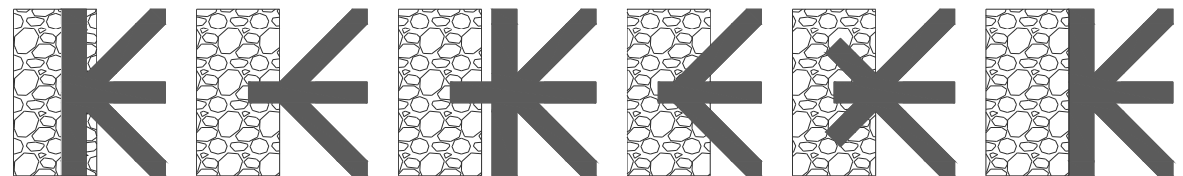
LIGAÇÕES ENTRE ELEMENTOS VERTICAIS E HORIZONTAIS

- ❑ Sismos recentes apontam o **colapso de paredes de alvenaria para fora do seu plano** como um dos mecanismos de colapso **mais comuns**
- ❑ **Colapsos para fora do plano** estão associados à **inexistência de ligações estruturais** apropriadas
- ❑ A redução da **vulnerabilidade sísmica** passa também pelo **reforço apropriado das ligações**
- ❑ O comportamento sísmico das ligações é ainda muito pouco conhecido



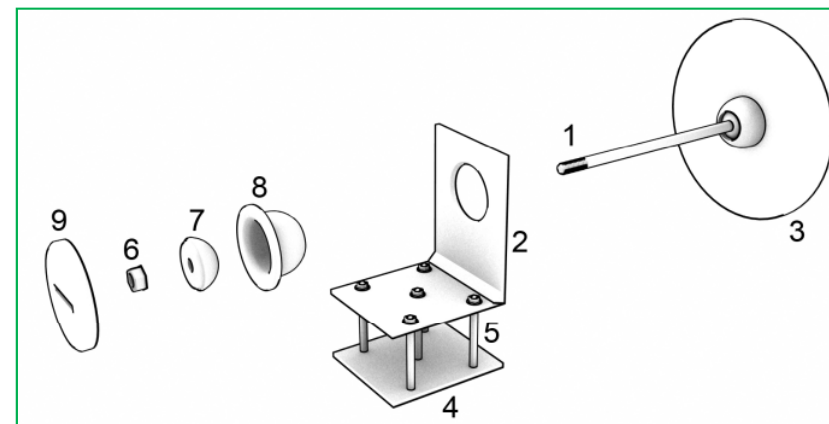
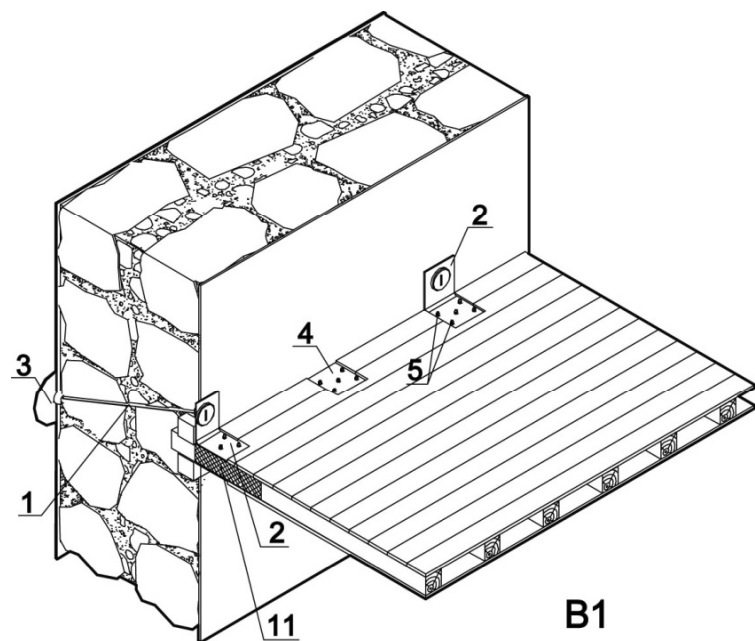
Ligações parede-piso

Ligações parede-frontal



LIGAÇÃO PAREDE-PISO

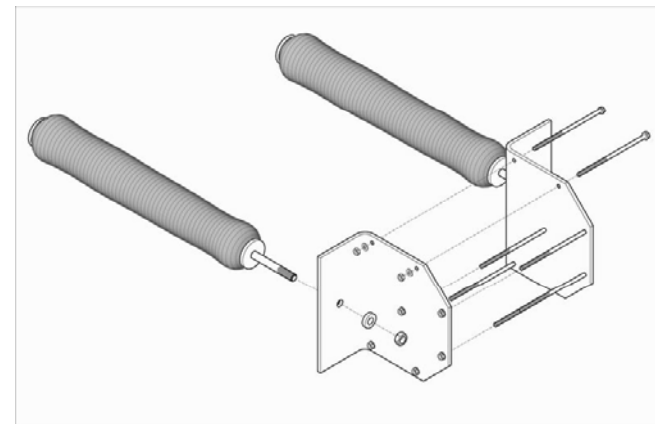
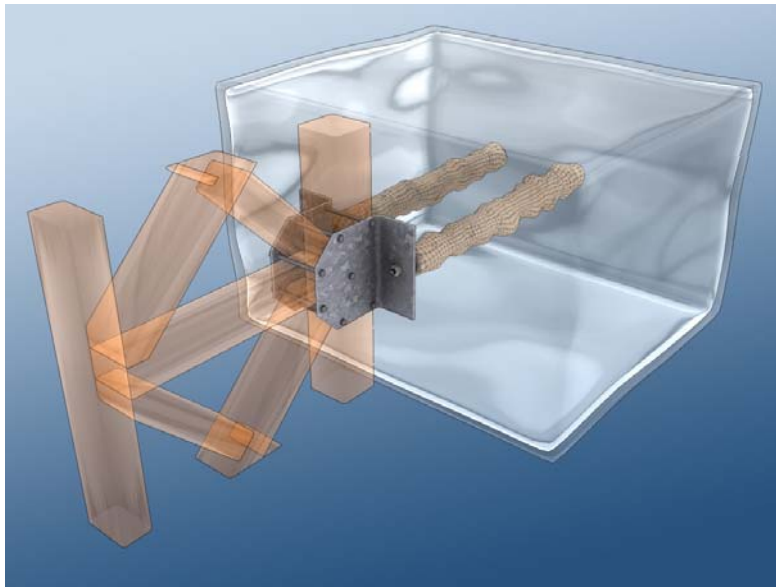
- ❑ **Cantoneira** estabelece a ligação entre o elemento de madeira e a parede de alvenaria
- ❑ Sistema de ancoragem **atirantado**



Placa de ancoragem + tirante + sistema fixação

LIGAÇÃO PAREDE-FRONTAL

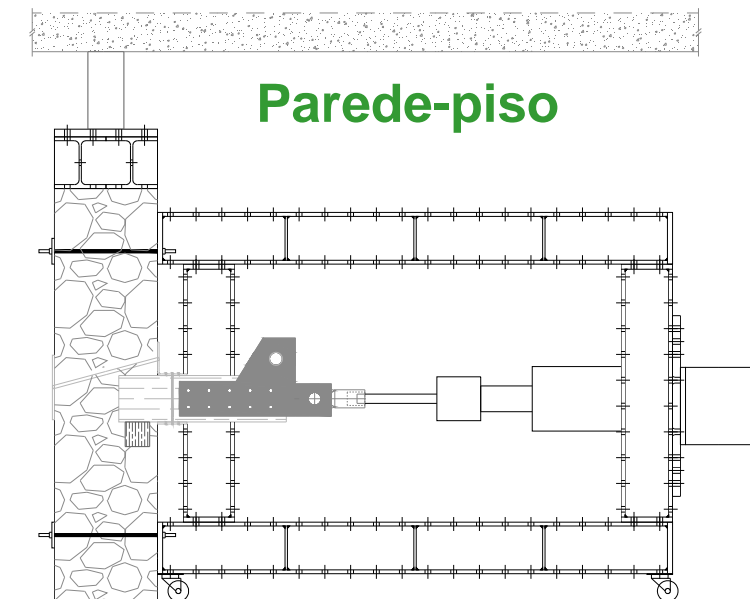
- ❑ **Cantoneira** estabelece a ligação entre o elemento de madeira e a parede de alvenaria
- ❑ Sistema de ancoragem **chumbado na parede**



Mangas injetadas na parede

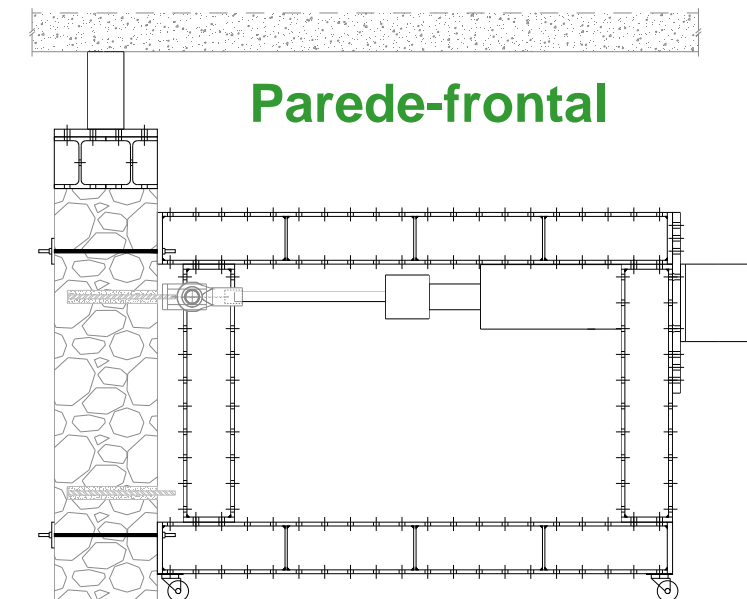
ENSAIOS DAS LIGAÇÕES

- ❑ **Caracterização** estrutural de todos os componentes (pedra, argamassa, alvenaria e varões)
- ❑ Construção de XXX paredes de alvenaria de calcário à escala real para a realização de ensaios monotónicos e cíclicos às ligações
- ❑ Desenvolvimento de um sistema de ensaio **autoequilibrado**



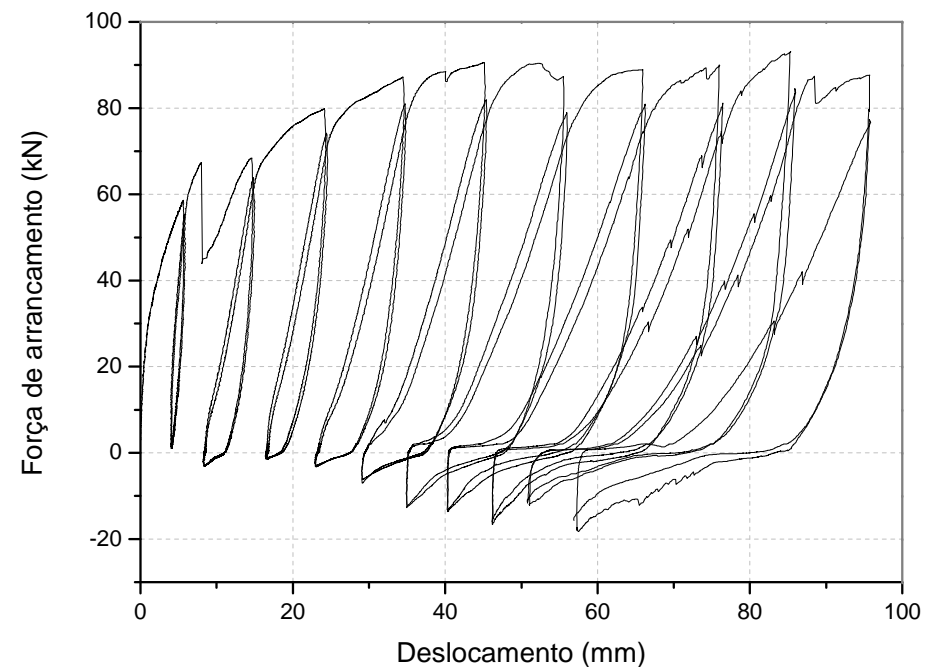
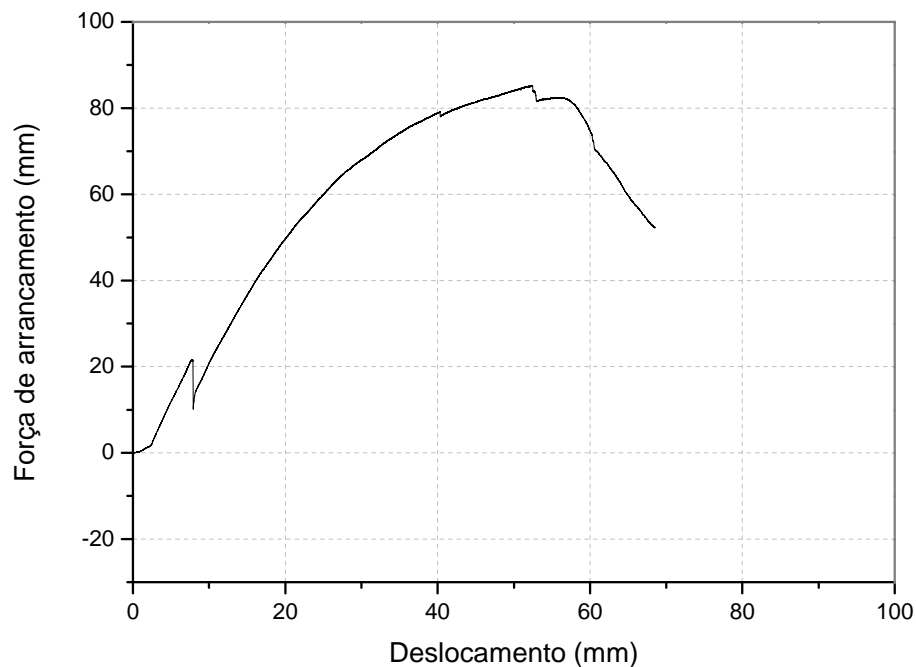
ENSAIOS DAS LIGAÇÕES

- ❑ **Caracterização** estrutural de todos os componentes (pedra, argamassa, alvenaria e varões)
- ❑ Construção de XXX paredes de alvenaria de calcário à escala real para a realização de ensaios monotónicos e cíclicos às ligações
- ❑ Desenvolvimento de um sistema de ensaio **autoequilibrado**



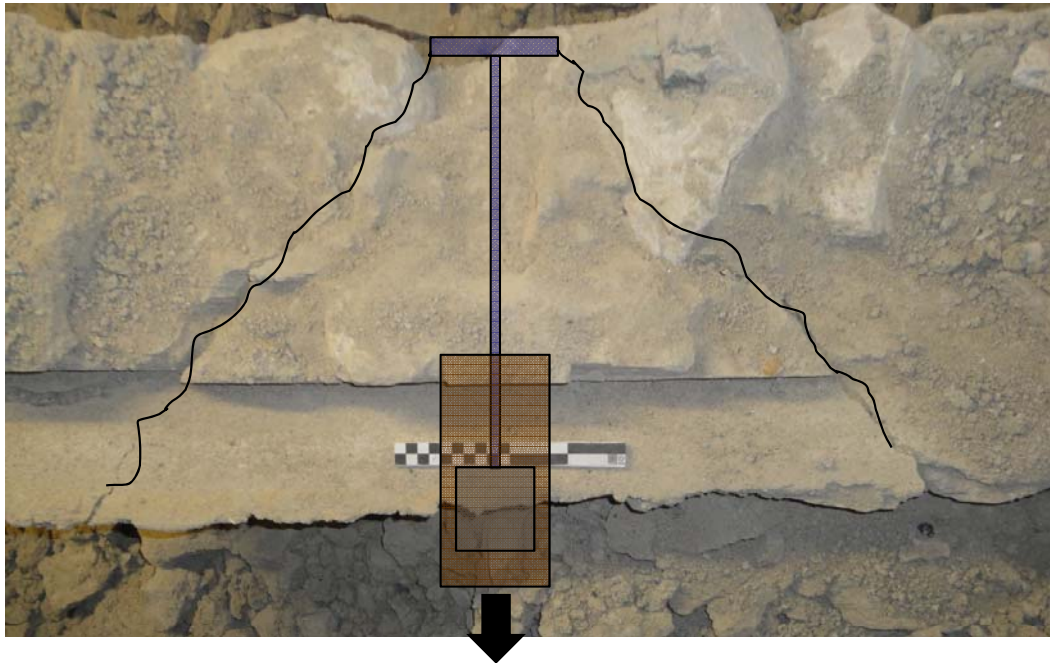
RESULTADOS: LIGAÇÃO PAREDE-PISO

- ❑ Otimização da ligação durante os ensaios (crescente valor da força de arrancamento e deslocamentos)
- ❑ Forças de arrancamento elevadas (entre 85 kN e 111 kN)
- ❑ Elevada capacidade de dissipação de energia



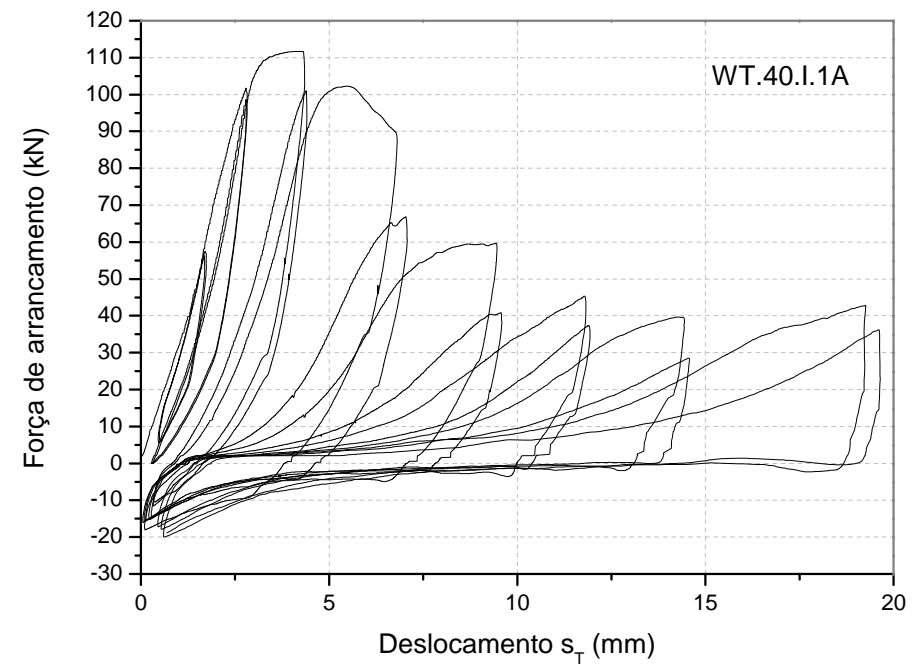
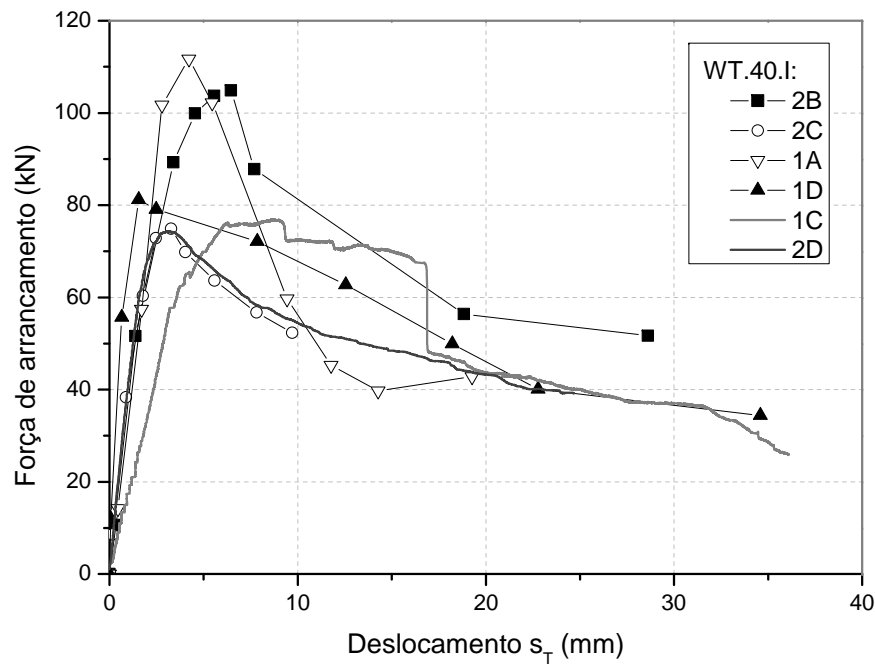
RESULTADOS: LIGAÇÃO PAREDE-PISO

- ❑ Rotura por cone de punçoamento da parede
- ❑ Rotura por esmagamento da madeira na ligação aparafusada



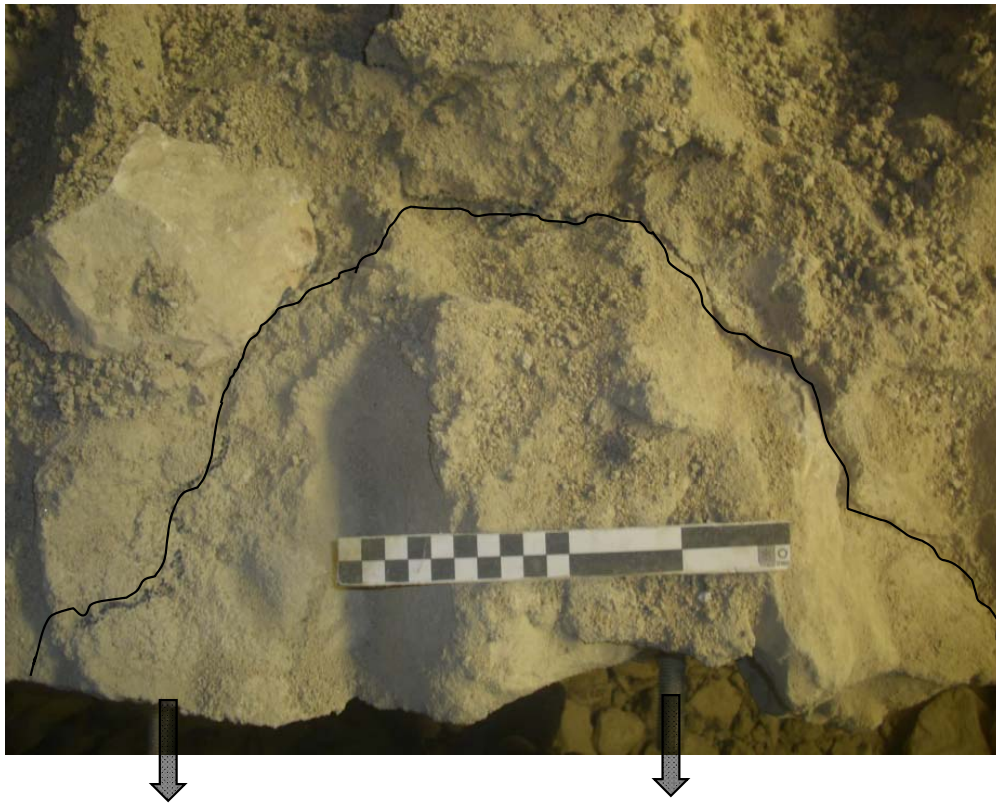
RESULTADOS: LIGAÇÃO PAREDE-FRONTAL

- ❑ Elevada força de arrancamento (entre 77kN e 108 kN)
- ❑ Alguma capacidade de dissipação de energia
- ❑ Rápida degradação para desloc > 8cm



RESULTADOS: LIGAÇÃO PAREDE-FRONTAL

- ❑ Rotura devido à formação de cone de punçoamento e escorregamento da manga injetada



- Introdução
- Paredes de taipa
- Paredes de frontal
- Asnas de madeira
- Ligações parede-piso e parede-frontal
- Conclusões**

PRINCIPAIS CONCLUSÕES

- ❑ Estudo de 4 “componentes” estruturais praticamente ausentes da literatura
- ❑ Caracterização detalhada do comportamento estrutural
- ❑ Desenvolvimento e validação de soluções de reforço eficientes e compatíveis
- ❑ Criação de base de dados experimental para suporte à modelação numérica

Muito obrigado pela vossa atenção e interesse