

## REPARAÇÃO DE TAIPA COM CALDAS À BASE DE TERRA E CAL HIDRAÚLICA

### REPAIR OF RAMMED EARTH WITH MUD AND HYDRAULIC LIME BASED GROUTS

*Rui A. Silva*

*ISISE, Universidade do Minho*

*Oriol Domínguez Martínez*

*Earthen Architecture Initiative, The Getty Conservation Institute*

*Daniel V. Oliveira*

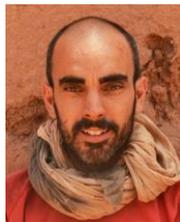
*ISISE, Universidade do Minho*

*Eduardo Pereira*

*ISISE, Universidade do Minho*

*Edgar Soares*

*ISISE, Universidade do Minho*



## RESUMO

Este artigo apresenta um programa experimental dedicado à avaliação do desempenho de uma calda de terra e de uma calda comercial, à base de cal hidráulica, na reparação de fendas em paredes de taipa. Foram executados ensaios de compressão diagonal em muretes de taipa, que foram reensaiados após reparação com a injeção das caldas. As caldas apresentaram uma eficiência de reparação semelhante.

## ABSTRACT

This paper presents an experimental program on the assessment of the performance of a mud grout and of a commercial hydraulic lime grout in the repair of cracks in rammed earth walls. Diagonal compression tests were conducted on rammed earth wallets, which were retested after repairing with the injection of the grouts. The grouts presented similar repair efficiency.

Palavras-chave: Taipa / Reparação / Injeção / Calda

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a construção de casas com terra crua é uma solução bastante popular nos países em desenvolvimento. Já nos países desenvolvidos, a utilização deste material de construção representa uma percentagem quase negligenciável da construção nova. Apesar desta situação de abandono, ainda existe, espalhado pelo mundo, um património construído em terra bastante significativo (Jaquin *et al.* 2008). Em 1983 estimava-se que um terço da população Mundial habitava uma construção deste tipo (Houben e Guillaud 2008). Como exemplos de património construído em terra de grande interesse, classificados como Património Mundial, podem-se referir sítios como Chan Chan (Perú), a Grande Muralha (China), a Alhambra de Granada (Espanha), a cidade velha de Gadamés (Líbia), o alcácer de Ait-Ben-Haddou (Marrocos) e a cidade fortificada de Shimbam (Iémen).

O conceito de construção em terra está intrinsecamente ligado ao conceito de arquitetura vernácula, uma vez que existem diferentes técnicas construtivas que são modificadas de acordo com a cultura construtiva da população local (Rocha 2005). Esta cultura construtiva é influenciada por diversos fatores, nomeadamente pela disponibilidade local de materiais de construção e pelo clima local, bem como por fatores associados a aspetos culturais, sociais e económicos das populações. Contudo, de entre as técnicas de construção em terra, a construção em taipa e em adobe são consideradas as mais populares (Minke 2006). A construção em taipa consiste na compactação de camadas de terra húmida no interior de um molde reutilizável (taipal), cuja repetição do processo permite erguer paredes monolíticas. Esta técnica construtiva distingue-se das restantes, essencialmente, pela utilização do taipal e pelo processo de compactação. Uma construção em taipa é tradicionalmente executada por fiadas de blocos de taipa, onde o taipal corre o perímetro da construção e depois é elevado para construir a fiada seguinte (Jaquin 2008).

A taipa e as construções em terra em geral são conhecidas por apresentarem uma vulnerabilidade sísmica elevada, que resulta de diversos fatores, tais como as baixas propriedades mecânicas dos materiais (com especial destaque para a resistência à tração, que é muito baixa), elevado peso próprio e ligações fracas entre os elementos estruturais (Lacouture *et al.* 2007). Além disto, a maioria das construções em terra encontram-se edificadas em regiões com perigosidade sísmica importante, pelo que é evidente a necessidade que existe de se promover o seu reforço sísmico.

Nas regiões do Alentejo e Algarve (Sul de Portugal) existe um património construído em taipa importante, constituído por construções militares e civis (Braga e Estêvão 2012). As construções de taipa militar consistem principalmente de castelos milenares, construídos

durante a presença Árabe na Península Ibérica, entre os séculos VIII e XIII a.C., referindo-se como exemplo o Castelo de Paderne (Correia 2004). As construções de taipa civis consistem principalmente de habitações construídas antes da década de 1950, nas quais ainda vive atualmente uma percentagem significativa da população. Contudo, a perigosidade sísmica do Alentejo e Algarve não é propriamente negligenciável, o que, combinado com a elevada vulnerabilidade sísmica destas construções, põe em risco a preservação deste património e a vida dos seus habitantes. Para além disto, as construções em taipa destas regiões são frequentemente encontradas num estado de conservação deficitário, o que contribui para amplificar a sua vulnerabilidade sísmica (Oliveira *et al.* 2010). A presença de fendas é uma das formas de dano mais comuns nas paredes de taipa, e tem particular influência no desempenho estrutural global. A capacidade resistente e a rigidez da estrutura diminuem e o comportamento monolítico das paredes de taipa é enfraquecido. Além disto, as fendas constituem locais para infiltração de chuva, o que pode levar a um aumento do teor em água da taipa e conseqüente à diminuição das suas propriedades mecânicas (Warren 1999).

Para reestabelecer o comportamento estrutural original torna-se necessário proceder à reparação das fendas das paredes de taipa. Posteriormente, a reparação pode ser complementada com a implementação de soluções de reforço estrutural visando melhorar a segurança aos sismos. As fendas podem ser reparadas utilizando-se diferentes técnicas, cuja eficiência de reparação varia bastante de caso para caso (Silva *et al.* 2014). Por exemplo, uma solução básica para a reparação de uma fenda consiste no seu simples enchimento com uma argamassa de terra. Porém, esta é uma tarefa muito dificultada pela largura de fenda disponível e pela trabalhabilidade da argamassa, pelo que dificilmente é possível garantir o preenchimento completo. Além disto, a retração de secagem das argamassas de terra condiciona a adesão da argamassa à taipa.

Silva (2013) estudou recentemente a reparação de fendas, em taipa, com a injeção de caldas, que é um material suficientemente fluído para permitir um preenchimento completo. Refira-se que este trabalho de investigação teve como uma das premissas principais o desenvolvimento de caldas compatíveis, cuja composição incluía terra. Estas caldas são designadas de caldas de terra, cujo uso é recomendado por um comité técnico para a construção em terra, constituído pelo *Getty Conservation Institute* (Getty 2007). Neste estudo foram executados ensaios de compressão diagonal em muretes de taipa reparados com estas caldas, que mostraram que a injeção permite uma recuperação satisfatória da resistência de corte, mas é totalmente ineficaz na recuperação da rigidez de corte inicial.

A preparação de caldas de terra exige a obtenção de partículas finas (dimensão inferior a 0.180 mm) do solo utilizado na taipa, através da sua peneiração. Este é um processo bastante trabalhoso e demorado, pelo que a aplicação deste tipo de caldas se torna bastante cara. Por outro lado, no mercado da construção é possível encontrarem-se caldas comerciais à base de cal hidráulica, cujo custo é bastante mais acessível. Em geral, assume-se que as caldas de cal hidráulica apresentam compatibilidade inferior às de terra. Neste contexto, este trabalho pretende comparar a eficiência de reparação de fendas em taipa através da injeção de uma calda de terra com a da injeção de uma calda comercial de cal hidráulica. Neste sentido, foi executado um programa experimental, onde foram ensaiados, à compressão diagonal, muretes de taipa reparados com a injeção de ambas as caldas. Os ensaios foram monitorizados com a técnica de correlação digital de imagem, que constitui um procedimento válido para obter o campo superficial de deslocamentos e extensões de objetos em carregamento (Chu *et al.* 1985). Além disto, também se executaram ensaios sínicos para avaliar, de forma não destrutiva a eficiência da injeção.

## 2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

A eficiência da injeção para a reparação de fendas em paredes de taipa foi avaliada através de ensaios de compressão diagonal executados em muretes representativos da taipa não estabilizada do Alentejo. Os muretes foram construídos em laboratório e ensaiados após secagem. Seguidamente, foram reparados com a injeção de calda e voltaram a ser ensaiados. Foram executados ensaios sínicos antes do primeiro e do segundo ensaio, de forma a testar a capacidade desta técnica não destrutiva para avaliar a eficiência de reparação da injeção.

### 2.1 Muretes de taipa

Foram construídos seis muretes de taipa com uma mistura de solo recolhido de Amoreiras-Gare (Alentejo), areia de rio e brita, nas proporções de 50%, 28% e 22%, respetivamente. O solo original apresentava uma percentagem de argila elevada, pelo que a sua correção granulométrica resultou em percentagem de argila ( $\phi < 0,002$  mm), silte ( $0,002 \text{ mm} \leq \phi < 0,060$  mm), areia ( $0,060 \text{ mm} \leq \phi < 2$  mm) e seixo ( $2 \text{ mm} \leq \phi < 20$  mm) de 14%, 16%, 32% e 37%, respetivamente. Os muretes foram construídos com dimensões  $550 \times 550 \times 200 \text{ mm}^3$ , através da compactação de seis camadas de espessura idêntica. Controlou-se a massa volúmica de cada camada tendo em consideração a massa volúmica máxima obtida pelo ensaio de Proctor normal, enquanto que o teor em água da mistura foi definido pelo ensaio da bola (NZS 4298 1998). Note-se que este método permite obter

valores de teores em água bastante próximos do teor ótimo. Além dos muretes, foram preparados seis provetes cilíndricos com 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura, para serem ensaiados à compressão. Os valores médios obtidos para resistência à compressão e módulo de elasticidade foram de 1,5 N/mm<sup>2</sup> e 536 N/mm<sup>2</sup>, respetivamente (ver Domínguez Martínez (2015) para informação mais detalhada sobre estes ensaios).

## 2.2 Procedimento de ensaio

Os ensaios de compressão diagonal foram executados segundo o procedimento da ASTM E 519 (2002), após um período longo de secagem dos muretes. O respetivo esquema de ensaio é apresentado na Fig. 1, destacando-se que as deformações, numa das faces, foram medidas com recurso a dois LVDTs, fixos no terço intermédio de cada diagonal do murete (fixos na direção vertical e horizontal). As deformações da outra face foram medidas com recurso a correlação digital de imagem, pelo que a superfície foi pintada de forma a criar-se um padrão com pequenos pontos pretos de distribuição aleatória. Os apoios utilizados, para colocar os muretes na diagonal e efetuar o carregamento, são de aço e têm uma largura de apoio de cerca de 100 mm. O contato entre provete e apoio foi regularizado com recurso a bandas de borracha neoprene. Os ensaios foram executados com aplicação de carga em controlo de deslocamento monotónico, com uma velocidade de 0,002 mm/s. Note-se que este procedimento foi utilizado no primeiro e segundo ensaio de cada parede, sendo que o segundo ensaio foi executado cerca de 28 dias após a reparação.

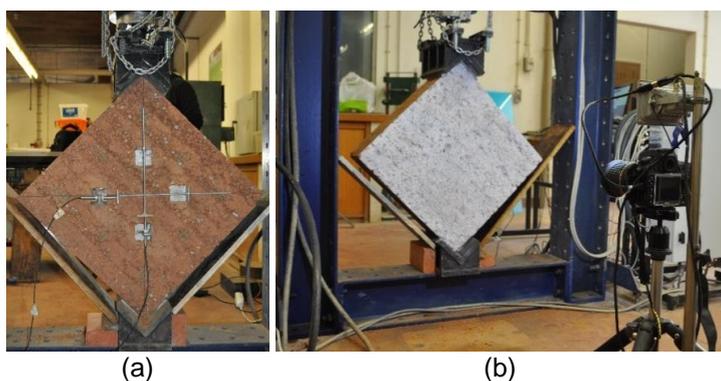
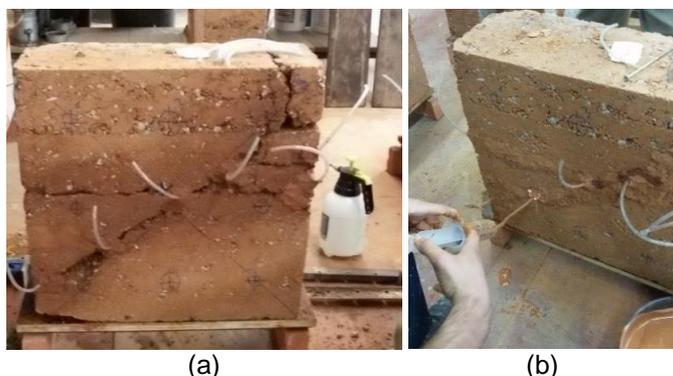


Fig. 1 – Ensaios de compressão diagonal: (a) LVDTs; (b) correlação digital de imagem.

## 2.3 Procedimento de reparação

O primeiro ensaio dos muretes resultou em fendas que os dividiram em alguns fragmentos de grande dimensão, que foram retirados do esquema de ensaio e montados novamente na forma do murete. As fendas entre cada um dos fragmentos foram seladas com uma argamassa de terra, preparada com o solo utilizado na construção dos muretes, cuja granulometria máxima foi reduzida a 4,75 mm, após peneiração. Em simultâneo, foram

instalados, nas fendas de uma das faces dos muretes, tubos de injeção de plástico flexível transparente e de diâmetro 6 mm. Os tubos foram colocados de forma a penetrarem cerca de 40 mm no interior dos muretes e foram dispostos para que o espaçamento entre tubos fosse inferior a 100 mm (Fig. 2a). A injeção das caldas foi executada após o endurecimento da argamassa de selagem. Com vista a mitigar a absorção de água das caldas pela taipa, uma hora antes, foi injetado cerca de 100 ml de água em cada tubo de injeção. Foi utilizada uma seringa alimentar com 100 ml de capacidade para injetar as caldas. Iniciou-se a injeção pelo tubo inferior, prosseguindo-se nos seguintes, até ao topo do murete (Fig. 2b). Após saída de calda no tubo de injeção seguinte, a injeção foi interrompida e o tubo selado, continuando-se a injeção no tubo de saída de calda, e assim sucessivamente.



**Fig. 2 – Reparação dos muretes: (a) selagem e instalação dos tubos; (b) execução da injeção.**

Foram utilizadas duas caldas na reparação dos muretes, nomeadamente a calda NMG40-60 e FB 790 (três muretes por calda). A calda NMG40-60 consiste numa calda de terra constituída por solo utilizado na construção dos muretes, cuja granulometria máxima foi reduzida a 0,180 mm (corresponde à dimensão máxima das partículas da calda) após peneiração húmida (S#80). Esta calda inclui também pó de calcário (200-OU) na sua composição, cuja finalidade é reduzir a percentagem de argila do solo S#80, uma vez que é um material essencialmente constituído por partículas com o tamanho de silte e argila. A incorporação deste material permite reduzir a necessidade de água da calda e os efeitos da retração por secagem. Neste caso, a percentagem de argila da calda resultante verificou-se ser de cerca de 21%, após análise granulométrica dos materiais constituintes. A fluidez da calda foi melhorada com a adição de hexametáfosfato de sódio (HMP), que é um agente dispersante bastante utilizado para argilas. A calda FB 790 é uma calda comercial à base de cal hidráulica e foi fornecida pela empresa Fassa Bortolo. Esta calda é indicada pelo fabricante como sendo adequada para a consolidação de alvenaria antiga. A composição das caldas é apresentada na Tabela 1, referindo-se que foi utilizada água da torneira em ambos os casos. A mesma tabela apresenta as propriedades das caldas em termos de

tempo de escoamento de 1 dm<sup>3</sup> (ASTM C 939 1994), e resistências médias à flexão ( $f_b$ ) e à compressão ( $f_c$ ) (EN 1015-11 1999). Destaque-se que as caldas apresentam uma razão água-sólidos (A/S) e um tempo de escoamento semelhantes, indicando que é possível obter caldas de terra com fluidez semelhante à das caldas comerciais para valores de A/S também semelhantes. Por outro lado, a calda NMG40-60 é 60% menos resistente que a calda FB 790, esperando-se que esta diferença possa ser ainda superior com a hidratação/endurecimento a longo prazo, uma vez que os provetes de calda foram ensaiados aos 28 dias de idade.

**Tabela 1 – Composição e propriedades das caldas.**

Calda	Composição					Propriedades		
	S#80 (%)	200-OU (%)	HMP (%)	FB 790 (%)	A/S	Tempo de escoamento (s)	$f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )
NMG40-60	40	60	0,46	-	0,30	42,3	1,4	2,1
FB 790	-	-	-	100	0,33	43,9	3,4	5,3

## 2.4 Ensaios sônicos

A eficiência da reparação dos muretes também foi avaliada através da execução de ensaios sônicos, que permitem medir a homogeneidade do material antes do primeiro ensaio de compressão diagonal (antes da ocorrência do dano) e antes do segundo ensaio (após reparação). Os ensaios sônicos são uma das técnicas de ensaios não destrutivos disponíveis, que consiste em fazer transmitir ondas acústicas (frequência entre 20 Hz e 20 kHz), geradas por um martelo instrumentado, e medindo-se o tempo de propagação até um segundo ponto com o auxílio de um acelerômetro. Assim, o equipamento de ensaio utilizado consistiu de um martelo instrumentado para gerar a onda, um acelerômetro piezoelétrico para medir a chegada da onda, e um sistema de aquisição com frequência de amostragem elevada e um computador para aquisição, visualização e análise dos resultados (Fig. 3a).

Foram executados ensaios sônicos diretos ao longo do comprimento dos muretes (através das faces laterais) em três alinhamentos definidos aos 1/4, 2/4 e 3/4 da altura, com uma extensão de 550 mm. Também foram realizados ensaios sônicos indiretos, utilizando-se os 15 alinhamentos delimitados numa malha de 3 x 3 pontos (definidos aos 1/4, 2/4 e 3/4 do comprimento e da altura do murete) e com uma extensão de cerca de 350 mm, tal como ilustrado na Fig. 3b. Foram executadas 15 medições em cada alinhamento, mas consideraram-se apenas as 6 medições estatisticamente mais representativas para o cálculo do tempo de propagação das ondas.

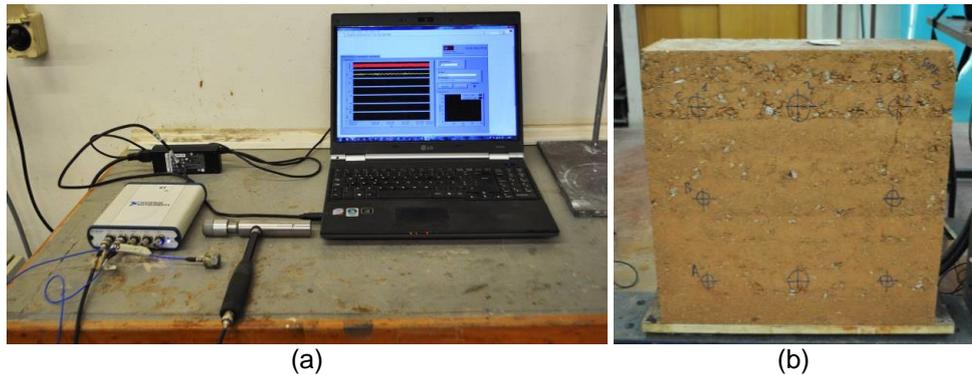


Fig. 3 – Ensaios sônicos: (a) equipamento; (b) malha de pontos dos ensaios indiretos.

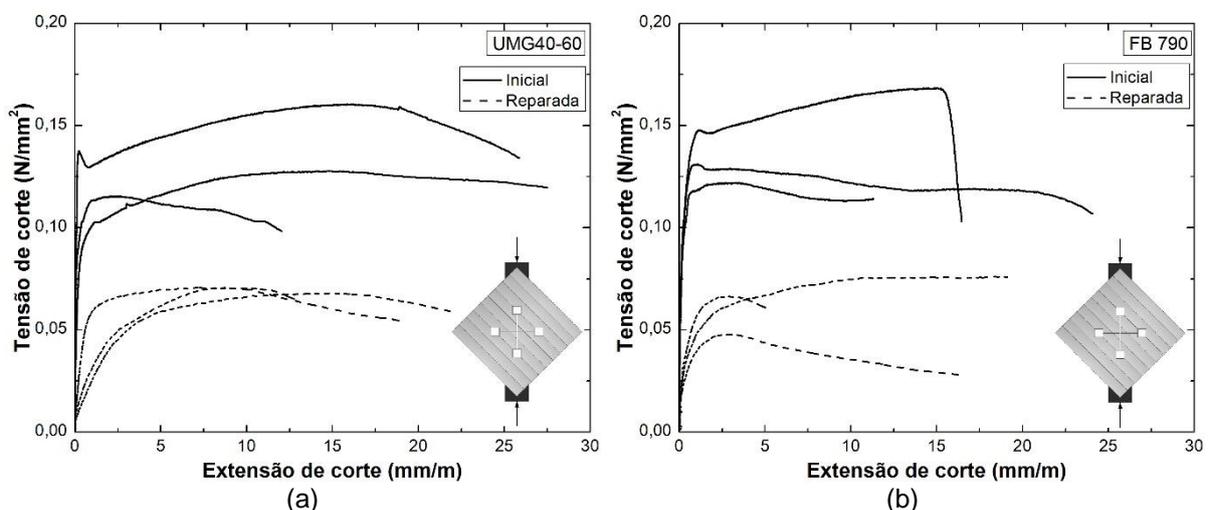
### 3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Seguidamente são apresentados e discutidos os resultados dos ensaios de compressão diagonal e dos ensaios sônicos executados nos muretes de taipa.

#### 3.1 Ensaios de compressão diagonal

As curvas extensão-tensão de corte obtidas de cada ensaio de compressão diagonal são apresentadas na Fig. 4 e a

Tabela 2 resume os resultados para cada murete em termos de massa volúmica ( $\rho_d$ ), resistência ao corte inicial ( $f_{si}$ ), resistência ao corte reparada ( $f_{sg}$ ), módulo de corte inicial ( $G_{oi}$ ) e módulo de corte reparado ( $G_{og}$ ). Note-se que os módulos de corte de cada ensaio foram calculados por regressão linear da curva tensão-extensão de corte no intervalo de 5% a 30% da respetiva resistência ao corte.



**Fig. 4 – Curvas extensão-tensão de corte dos muretes: (a) calda NMG40-60; (b) calda FB 790.**

**Tabela 2 – Resultados dos ensaios de compressão diagonal.**

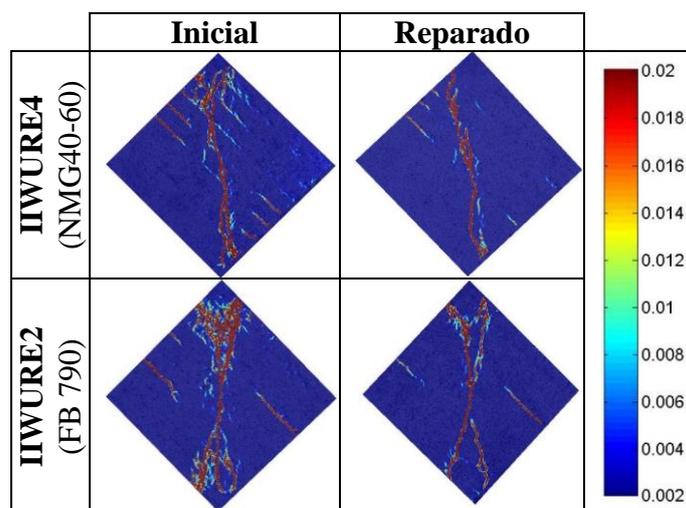
	Murete	$\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	$f_{si}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{sg}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$G_{oi}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$G_{og}$ (N/mm <sup>2</sup> )
NMG40-60	IIWURE1	2,05	0,12	0,05	1056	14
	IIWURE3	2,04	0,17	0,08	632	20
	IIWURE4	2,04	0,13	0,07	1068	8
	Média (CoV)	2,04 (1%)	0,14 (14%)	0,06 (18%)	919 (22%)	14 (36%)
FB 790	IIWURE2	2,04	0,16	0,07	1356	99
	IIWURE5	2,05	0,13	0,07	460	22
	IIWURE6	2,05	0,12	0,07	-	33
	Média (CoV)	2,05 (1%)	0,14 (14%)	0,07(2%)	908 (-)	51 (66%)

De uma forma geral, as curvas extensão-tensão de corte iniciais são caracterizadas por um pico inicial da tensão de corte, seguido de uma acentuada perda de rigidez. Este comportamento é semelhante ao observado anteriormente por Silva (2013), em que o aparecimento do pico de tensão inicial pensa-se estar relacionado com a perda de coesão do material, garantida pela capacidade ligante da argila. Assim, até este ponto o comportamento ao corte dos muretes parece resultar da coesão da argila, e do atrito e imbricamento produzidos pelas partículas grossas. Depois deste ponto, o comportamento ao corte parece depender apenas do atrito e imbricamento. Os muretes também apresentaram uma deformação de corte elevada, pelo que é expectável que esta capacidade tenha um papel relevante na dissipação de energia durante um sismo.

Relativamente aos ensaios após reparação, os muretes injetados com a calda NMG40-60 apresentaram um valor médio de resistência ao corte de 0,06 N/mm<sup>2</sup>, enquanto que para os muretes injetados com a calda FB 790 foi de 0,07 N/mm<sup>2</sup>. Em termos médios, foi possível recuperar cerca de 44% e 51% da resistência ao corte inicial no caso da calda NMG40-60 e FB 790, respetivamente. Em ambos casos obtêm-se valores de eficiência de reparação semelhantes, parecendo indicar que o desempenho de uma calda comercial poderá ser semelhante ao de uma calda de terra, apesar de as primeiras, geralmente, apresentarem resistências mecânicas bastante superiores. Note-se ainda que os valores obtidos para a

eficiência de reparação são semelhantes aos obtidos por Silva (2013). Além disto, constata-se novamente que a injeção é incapaz de recuperar a rigidez de corte dos muretes, ao não conseguir recuperar o atrito e o imbricamento das partículas mais grossas da taipa, mesmo utilizando-se uma calda mais rígida, como será o caso expectável da calda FB 790. Na verdade, os muretes ensaiados após reparação com a calda FB 790 apresentaram em média um módulo de corte três vezes superior ao conseguido com a reparação com a calda NMG40-60. Mesmo assim, em ambos os casos, os valores do módulo de corte obtido após reparação são marginais comparativamente aos valores iniciais.

Na Fig. 5 são apresentados os campos de extensões principais máximas dos muretes IIWURE4 (reparado com a calda NMG40-60) e IIWURE2 (reparado com a calda FB 790), obtidos através de correlação digital de imagem. Estas imagens foram obtidas nos dois ensaios de cada murete para um estado de deformação próximo da rotura, permitindo obter uma ideia do dano ocorrido. Além disto, a técnica utilizada permite também seguir a evolução do dano com o decorrer do ensaio.



**Fig. 5 – Extensões principais máximas das paredes IIWURE2 e IIWURE4 (perto da rotura).**

De uma forma geral, o modo de rotura dos muretes no primeiro ensaio é caracterizado pela formação de uma fenda principal (ou conjunto de fendas) com a orientação da diagonal (vertical) do murete, e que se estende por toda a sua extensão. A iniciação desta fenda ocorre de forma repentina no meio do murete, imediatamente antes de ser atingido o pico inicial da tensão de corte, e propaga-se em direção aos apoios. Durante estes ensaios, também se observou a formação de fendas nas interfaces entre camadas, tendo sido verificada uma maior incidência no murete IIWURE4. No caso do segundo ensaio, também ocorreu a formação da fenda na diagonal do murete, mas o seu desenvolvimento iniciou-se mais cedo e ocorreu de forma progressiva. Verificou-se ainda que o desenvolvimento da

fenda principal, em todas as paredes reparadas, ocorreu numa região praticamente coincidente com a fenda resultante do primeiro ensaio. Provavelmente esta situação ocorre devido a dano existente na taipa nestas regiões e não devido a falta de capacidade de adesão das caldas. De facto, a inspeção visual das paredes reparadas após ensaio permitiu verificar uma boa adesão das caldas à taipa.

### 3.2 Ensaios sínicos

Os resultados dos ensaios sínicos são apresentados na Fig. 6. Os ensaios diretos do primeiro ensaio apresentam uma velocidade média das ondas P de cerca 2469 m/s, que é um valor comparável ao de uma alvenaria média-boua. Este valor reduziu-se em cerca de 18% nos muretes reparados, o que demonstra uma perda de homogeneidade do material, conseqüente da presença de dano não reparado na taipa. Além disto, as duas caldas usadas apresentam resultados semelhantes, pelo que estes ensaios não parecem refletir diferenças nas suas propriedades. Podem ser realizadas observações semelhantes no caso dos ensaios indiretos, onde a velocidade média das ondas R do primeiro ensaio foi de cerca de 963 m/s e diminuiu em cerca de 17% no segundo. Note-se ainda que pensa-se que as medições dos ensaios sínicos sejam afetadas pela argamassa de selagem, que poderá preencher até cerca de 20 mm o interior da fenda com um material inferior à taipa e à calda. Assim, torna-se difícil concluir sobre a fiabilidade dos ensaios sínicos para avaliar quantitativamente a eficiência da reparação de fendas em paredes de taipa através da injeção de caldas.

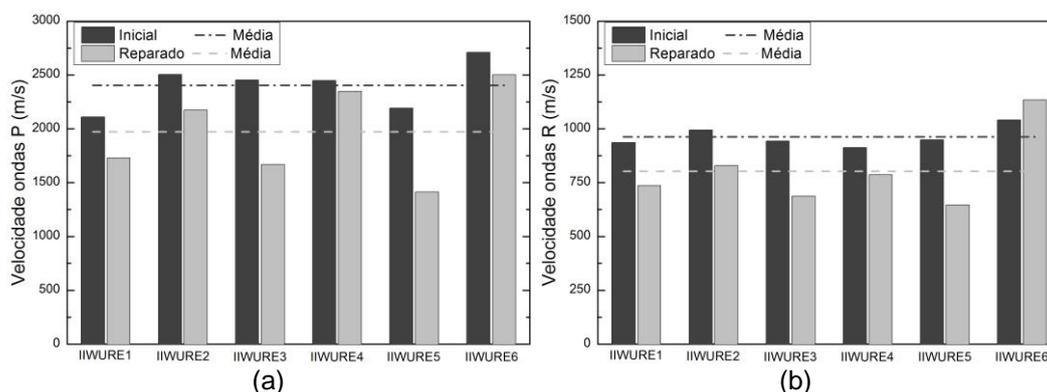


Fig. 6 – Resultados dos ensaios sínicos: (a) diretos; (b) indiretos.

## 4. CONCLUSÕES

O programa experimental aqui apresentado permitiu confirmar alguns aspetos já observados por Silva (2013), relativamente ao comportamento da taipa ao corte e à eficiência da reparação de fendas com a injeção de caldas de terra. Adicionalmente, foi possível

demonstrar que a eficiência de reparação de uma calda comercial, à base de cal hidráulica, pode ser semelhante á de uma calda de terra. Ressalve-se que neste artigo não são abordadas questões de compatibilidade entre a calda comercial e a taipa, mas este deverá ser um assunto a considerar no caso de uma intervenção numa construção de taipa. Finalmente, constatou-se que os ensaios sónicos parecem não constituírem um método fiável para avaliar quantitativamente a eficiência da injeção de uma forma não destrutiva.

## 5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado por fundos do FEDER através do Programa Operacional Fatores de Competitividade - COMPETE e por fundos nacionais através da Fundação para Ciência e a Tecnologia - FCT no âmbito do projeto POCI-01-0145-FEDER-007633, POCI-01-0145-FEDER-016737 (PTDC/ECM-EST/2777/2014) e da bolsa de pós-doutoramento FRH/BPD/97082/2013. Os autores agradecem o financiamento concedido.

## 6. REFERÊNCIAS

- ASTM C 939: American Society for Testing and Materials. 1994. Standard test method for flow of grout for preplaced-aggregate concrete (flow cone method).
- ASTM E 519: American Society for Testing and Materials. 2002. Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages.
- Braga, A.M. e Estêvão, J.M.C. 2012. Dificuldades associadas à reabilitação do património construído em taipa no Algarve. Congresso da Construção 2012, 18-20 de dezembro, Coimbra, Portugal.
- Chu, T.C. *et al.* 1985. Applications of digital-image-correlation techniques to experimental mechanics, *Exp Mech*, 25(3), p. 232-244.
- Correia, M. 2004. Fortificações islâmicas em taipa militar. *Pedra & Cal*, 24, p. 16.
- Domínguez Martínez, O. 2015. Preservation and repair of rammed earth constructions. Tese de Mestrado, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal.
- EN 1015-11: EUROPEAN STANDARD. 1999. Methods of test for mortar for masonry: Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar.
- Getty 2007. Interdisciplinary Experts Meeting on Grouting Repairs for Large-scale Structural Cracks in Historic Earthen Buildings in Seismic Areas. The Getty Conservation Institute.
- Houben, H. e Guillaud H. 2008. Earth Construction: A Comprehensive Guide. 3rd Edition, CRATerre - EAG, Intermediate Technology Publication, London, UK.
- Jaquin, P. A. 2008. Analysis of Historic Rammed Earth Construction. Tese de Doutoramento, Durham University, Durham, Reino Unido.
- Jaquin, P. *et al.* 2008. Chronological Description of the Spatial Development of Rammed Earth Techniques. *International Journal of Architectural Heritage*, 2(4) (2008), p. 377-400.
- Lacouture, L. *et al.* 2007. Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y taipa pisada. *Apuntes*, 20(2), p. 286-303.
- Minke, G. 2006. Building with earth: Design and technology of a sustainable architecture. Birkhäuser-Publishers for Architecture, Basel-Berlin-Boston.
- NZS 4298: Standards New Zealand. 1998. Materials and workmanship for earth buildings.
- Oliveira, D.V. *et al.* 2010. As construções em taipa e os sismos. Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia. SÍSMICA 2010, 20-23 de outubro; Aveiro, Portugal.

- Rocha, M. 2005. Taipa na arquitetura tradicional: técnica construtiva. *Arquitetura de terra em Portugal*. Argumentum, Lisboa, Portugal, p. 21-26.
- Silva *et al.* 2014. Conservation and new construction solutions in rammed earth. *Structural Rehabilitation of Ancient Buildings*, A. Costa; J. Miranda; H. Varum (Eds), Springer, p. 77-108. ISBN 978-3-642-39685-4.
- Silva, R.A. 2013. Repair of earth constructions by means of grout injection. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho / KULeuven, Guimarães, Portugal.
- Warren, J. 1999. *Conservation of Earth Structures*. Butterworth Heinemann, Bath, Reino Unido.