

# I JORNADAS DE ECO-CONSTRUÇÃO

## CARACTERIZAÇÃO E REABILITAÇÃO DE CONSTRUÇÕES EXISTENTES EM TERRA

Humberto Varum<sup>1</sup>; Aníbal Costa<sup>2</sup>; Dora Silveira<sup>3</sup>; Henrique Pereira<sup>4</sup>; João Almeida<sup>5</sup>; Tiago Martins<sup>6</sup>

Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Campus Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro

<sup>1</sup>hvarum@civil.ua.pt; <sup>2</sup>acosta@civil.ua.pt; <sup>3</sup>a25413@alunos.civil.ua.pt; <sup>4</sup>a21581@alunos.civil.ua.pt;

<sup>5</sup>a20154@alunos.civil.ua.pt; <sup>6</sup>hermanotiago@gmail.com

### RESUMO

O adobe é um material de construção que apresenta muitas características atractivas: é barato, disponível localmente, biodegradável, reciclável, adaptado a uma vasta gama de solos; apresenta excelentes propriedades térmicas e acústicas; e encontra-se associado a métodos construtivos simples e expeditos que apenas requerem um pequeno consumo de energia. É, assim, um material economicamente viável, cujo uso respeita o equilíbrio ambiental. Em alguns países a construção em adobe está mesmo a tornar-se economicamente competitiva em relação aos comuns métodos construtivos.

A reabilitação e o reforço das construções tradicionais em adobe, tendo em consideração exigências e necessidades modernas, contribuem para a melhoria da qualidade de vida daqueles que as utilizam, e para um aumento dos níveis de segurança associados, particularmente se for assegurado o reforço sísmico. A preservação destas construções também contribui para o reconhecimento das vantagens que o adobe, enquanto material construtivo, apresenta, encorajando o seu uso em construções novas, e permitindo a redução dos esforços e recursos afectos às novas edificações que geralmente substituem as existentes em adobe.

Na Beira Litoral, e em particular no distrito de Aveiro, o adobe foi um material de construção largamente utilizado até ao final da segunda metade do século XX. Actualmente, o adobe pode ainda ser encontrado com abundância em edifícios rurais e urbanos, muitos dos quais possuem valor arquitectónico reconhecido. Uma parte significativa destas construções apresenta, contudo, degradação estrutural e não estrutural pronunciada.

Um grupo de investigação, pertencente ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, tem vindo a desenvolver trabalho para caracterização do vasto parque tradicional construído em adobe existente no distrito de Aveiro. Foram conduzidos ensaios para avaliação da composição e comportamento mecânico de unidades de adobe e de argamassas, e ainda ensaios para análise do comportamento estrutural de paredes de alvenaria e arcos em adobe. Estes estudos foram estimulados pelo reconhecimento da importância da preservação desta herança cultural e arquitectónica e da promoção do adobe como material de construção. Têm como objectivo a criação de uma base de conhecimento que possa suportar a interpretação de patologias estruturais, calibração de modelos numéricos, avaliação da segurança estrutural, e desenvolvimento de soluções de reforço caracterizadas por simplicidade, eficiência e baixo custo.

## 1 INTRODUÇÃO

Em Portugal, a construção em terra foi principalmente utilizada no sul e no centro litoral. A taipa era mais aplicada no sul e o adobe no centro litoral, especialmente no distrito de Aveiro [1, 2].

A deterioração e, em muitos casos, o abandono das construções em adobe no distrito de Aveiro constituem, cada vez mais, uma realidade preocupante. Podem ainda ser encontradas, contudo, muitas construções inteiramente capazes de cumprir as funções que lhes são requeridas, apenas necessitando de pequenas intervenções de conservação e manutenção. A demolição tem sido, no entanto, a solução adaptada com maior frequência, salvo raras exceções. Apenas um pequeno número de proprietários, sensível para a importância da protecção e preservação deste património, tem promovido o seu reforço e reabilitação.

A reabilitação destas edificações apresenta dificuldades relevantes, essencialmente devido à escassez de informação relativa às propriedades e características do comportamento mecânico da alvenaria em adobe. São por isso necessários estudos técnicos para a determinação destas propriedades e características. A caracterização mecânica da alvenaria em adobe constitui um instrumento fundamental no suporte aos projectos de reabilitação e reforço, e ainda no suporte à concepção de novas construções em adobe [3].

## 2 CONSTRUÇÃO EM ADOBE NO MUNDO

A terra é um dos materiais de construção mais antigos e mais difundidos. Actualmente milhões de edifícios em terra são ainda utilizados por pessoas em muitos países em todo o Mundo, por motivos culturais, climáticos e económicos.

É estimado, de acordo com Houben e Guillard [4], que cerca de 30% da população Mundial vive em edifícios de terra, e que cerca de 50% da população dos países em desenvolvimento, incluindo a maioria da população rural e pelo menos 20% da população urbana e urbana marginal, vive em edifícios de terra. No Peru, por exemplo, cerca de 60% das casas são construídas com adobe ou com taipa, e na Índia, de acordo com os censos de 1971, 73% dos edifícios eram, naquela altura, construídos com terra (67 milhões de casas, habitadas por 374 milhões de pessoas).

A construção em terra também apresenta uma expressão importante nos países desenvolvidos. De acordo com Kanuka-Fuchs [5], na França, por exemplo, cerca de 15% da população vive em casas com paredes de adobe e, em algumas regiões da Austrália, este número atinge os 20%. Nos países ocidentais, durante as últimas décadas, muitas casas luxuosas em terra têm sido construídas, demonstrando as qualidades e potencial deste material natural, e dissociando-o de preconceitos como pobreza e inferioridade.

## 3 CONSTRUÇÃO EM ADOBE EM PORTUGAL

Num passado recente, a terra era um material de construção muito comum em Portugal. O adobe e a taipa foram usados durante muitos anos em praticamente todos os tipos de construção, tendo a sua utilização declinado no final da segunda metade do século 20, com a emergência da indústria do cimento.

Na Beira Litoral os dois métodos de construção em terra dominantes foram vastamente aplicados. O rio Mondego estabelece a linha de fronteira entre as duas regiões onde estes dois métodos eram aplicados: o adobe prevalece a norte e a taipa a sul.

Presentemente, de acordo com informação da Câmara Municipal, cerca de 25% dos edifícios existentes na cidade de Aveiro são de adobe. Estima-se que esta percentagem sobe para 40% quando nos referimos a todo o distrito, reflectindo a importância deste sistema construtivo em áreas rurais. O adobe pode ser encontrado em vários tipos de construção: edifícios rurais e urbanos, muitos dos quais são ainda habitados, muros, poços de água, igrejas e armazéns (fig. 1). Um número importante dos edifícios urbanos em adobe é de valor cultural, histórico e arquitectónico reconhecido, nomeadamente do estilo Arte Nova.

O antigo edifício dos bombeiros de Aveiro, a igreja de Quintãs, e o edifício da Fábrica da Ciência Viva de Aveiro, entre muitos outros, são bons exemplos de edifícios em adobe existentes no distrito de Aveiro com importante valor sócio-cultural.



Figura 1: Exemplos de construções em adobe existentes no distrito de Aveiro

#### 4 COMPORTAMENTO DO ADOBE COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO

O adobe é um material de construção que apresenta muitas características atractivas: é barato, disponível localmente, biodegradável, reciclável, adaptado a uma vasta gama de solos; apresenta excelentes propriedades térmicas e acústicas; e encontra-se associado a métodos construtivos simples e expeditos que apenas requerem um pequeno consumo de energia. É, assim, um material economicamente viável, cujo uso respeita o equilíbrio ambiental. Em alguns países a construção em adobe está mesmo a tornar-se economicamente competitiva em relação aos comuns métodos construtivos.

O adobe pode, no entanto, apresentar algumas desvantagens. A construção em adobe, se não for devidamente concebida e reforçada, pode apresentar uma resposta deficiente quando sujeita a acções cíclicas, como aquelas induzidas pelos sismos, sofrendo danos estruturais severos e atingindo, frequentemente, o colapso. A construção em adobe, se não for adequadamente protegida, é também particularmente vulnerável à deterioração, sendo a água um dos seus principais elementos agressores. Os edifícios, geralmente, não possuem projecto e são construídos por mão-de-obra não especializada, o que contribui para a grande quantidade de anomalias, estruturais e não estruturais, que se encontra neste tipo de edifícios.

O uso de construção em terra é muito comum em algumas regiões do Mundo onde a perigosidade sísmica é elevada, como em alguns países da América Latina, África, Ásia (especialmente na Índia), Médio Oriente e Sul da Europa. Vários sismos recentes que afectaram a construção em terra evidenciam a vulnerabilidade sísmica que existe associada a este tipo de construção quando não é devidamente reforçada. Os sismos que ocorreram em El Salvador, em Janeiro e Fevereiro de 2001, e o sismo que ocorreu em Bam, no Irão, em 26 de Dezembro de 2003, são exemplos significativos. Nos sismos de El Salvador mais de um milhão de pessoas ficou sem casa, tendo a maioria dos danos ocorrida em casas de adobe.

#### 5 A URGÊNCIA DA AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA ESTRUTURAL, REABILITAÇÃO E REFORÇO DAS CONSTRUÇÕES EM ADOBE EXISTENTES NO DISTRITO DE AVEIRO

Portugal tem sido afectado, nos últimos séculos, por vários sismos de intensidade elevada e moderada. O distrito de Aveiro fica localizado numa região de perigosidade sísmica moderada. No entanto, devido à natureza mole dos solos de fundação, eventuais sismos que fustiguem a região poderão ser consideravelmente amplificadas. Assim, o risco sísmico associado às construções em adobe no distrito de Aveiro não é negligenciável.

A construção em adobe no distrito de Aveiro era realizada com base na experiência acumulada, transmitida de geração em geração, e que não incluía a preocupação com a segurança sísmica, nem outros cuidados

associados a exigências funcionais e de conforto compatíveis com as exigências actuais. Assim, este vasto parque construído não se encontra adequadamente reforçado para resistir à acção sísmica, nem devidamente conservado e adaptado às actuais exigências, sofrendo de anomalias estruturais e não estruturais de vários tipos.

É assim urgente procurar atingir um nível de conhecimento profundo do parque construído em adobe no distrito de Aveiro, nomeadamente no que diz respeito à sua constituição, dimensões, sistemas estruturais, patologias e estado de conservação, com o principal objectivo de promover a sua reabilitação e reforço.

A reabilitação e o reforço das construções tradicionais em adobe, tendo em consideração exigências e necessidades modernas, contribuem para a melhoria da qualidade de vida daqueles que as utilizam, e para um aumento dos níveis de segurança associados, particularmente se for assegurado o reforço sísmico. A preservação desta importante herança cultural e arquitectónica pode também contribuir para o reconhecimento das vantagens que o adobe, enquanto material construtivo, apresenta, encorajando o seu uso em construções novas, e permitindo a redução dos esforços e recursos afectos às novas edificações que geralmente substituem as existentes em adobe. Tal esforço poderá ter repercussões, por um lado em todas as outras regiões de Portugal onde a construção em terra tem uma expressão significativa (nomeadamente em toda a Beira Litoral, no Algarve e no Alentejo) e, por outro, em outras regiões do planeta com sistemas construtivos semelhantes.

## **6 TRABALHO EXPERIMENTAL DESENVOLVIDO**

### **6.1 Introdução**

Um grupo de investigação, pertencente ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, tem vindo a desenvolver trabalho para caracterização do vasto parque tradicional construído em adobe existente no distrito de Aveiro. Foram conduzidos ensaios para avaliação da composição e comportamento mecânico de unidades de adobe e de argamassas, e ainda ensaios para análise do comportamento estrutural de paredes de alvenaria em adobe.

### **6.2 Caracterização mecânica de unidades de adobe, argamassas e muretes**

#### **6.2.1 Ensaios de compressão simples e de compressão diagonal sobre provetes de adobe**

Foi seleccionado um conjunto de amostras de adobe representativo das diferentes tipologias existentes na região de Aveiro, tendo estas sido recolhidas de 8 muros e 8 casas em locais distintos. Das amostras recolhidas foram retirados carotes cilíndricos com diâmetro compreendido entre 60 e 95mm. Estes foram posteriormente cortados com uma altura igual ao dobro do diâmetro.

Um total de 101 provetes cilíndricos, 51 procedentes de casas e 50 de muros, foi submetido a ensaios mecânicos: 83 provetes foram submetidos a ensaios de compressão simples e 18 a ensaios de compressão diagonal (fig. 2).

Os resultados obtidos nos ensaios de compressão simples mostram valores significativos da resistência à compressão das amostras ensaiadas (0.32-2.46MPa), sendo que para a resistência à tracção, igualmente expressivos, os resultados obtidos correspondem a valores de aproximadamente 20% da resistência à compressão respectiva.

Verifica-se ainda uma clara tendência para que as amostras com maiores fracções de partículas de menores dimensões apresentem valores de resistência à compressão e tracção superiores.

Uma descrição detalhada dos procedimentos e dos resultados obtidos pode ser encontrada em [6, 7].

#### **6.2.2 Ensaios de compressão simples sobre provetes de argamassa**

10 provetes de argamassa (2 de reboco e 8 de junta) retirados de 3 casas diferentes foram submetidos a ensaios de compressão simples (fig. 2).

A força aplicada pela máquina de compressão foi transmitida através de duas placas quadradas em aço, com 40mm de lado. Obteve-se os seguintes valores para as resistências médias: 1.68MPa (casa 1); 1.07MPa (casa 5); e 0.45MPa (casa 12).

### 6.2.3 Ensaio de compressão, perpendicular e diagonal, sobre muretes

Com o objectivo de determinar a resistência ao corte e compressão das paredes tradicionais de alvenaria de adobe foram realizados 13 muretes com  $17 \times 17 \times 10$ cm e ensaiados à compressão perpendicular às juntas de assentamento e à compressão diagonal (fig. 2).

Os muretes foram construídos a uma escala reduzida (1:3). Na sua construção utilizaram-se pequenos blocos rectangulares extraídos a partir de unidades originais de construções existentes, e uma argamassa com composição análoga à usada tradicionalmente.

Os ensaios de compressão perpendicular e diagonal às juntas de assentamento realizados sobre os muretes mostram valores de resistência à compressão e ao corte que variam entre 0.77 e 1.57MPa, e entre 0.05 e 0.19MPa, respectivamente. Para os muretes constituídos por adobe de menor resistência à compressão obteve-se uma menor resistência ao corte.

O módulo de elasticidade transversal e a resistência ao corte, para cada série de muretes ensaiada, é cerca de 1/10 dos correspondentes módulo de elasticidade e resistência à compressão avaliados nos ensaios de compressão perpendicular às juntas.

Uma descrição detalhada dos procedimentos e dos resultados obtidos pode ser encontrada em [8].

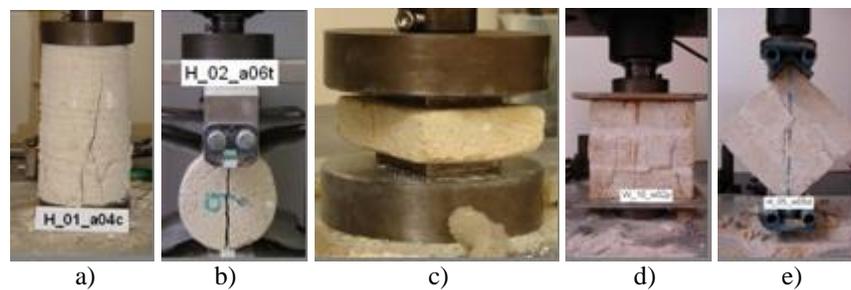


Figura 2: a) Ensaio de compressão simples e b) ensaio de compressão diametral sobre provetes de adobe; c) Ensaio de compressão simples sobre provete de argamassa; Ensaio de compressão sobre muretes: d) perpendicular e e) diagonal às juntas de assentamento.

## 6.3 Ensaio sobre paredes de alvenaria

### 6.3.1 Introdução

Foram conduzidos ensaios sobre paredes de alvenaria de adobe, em laboratório e *in situ*, com o principal objectivo de caracterizar o comportamento mecânico desta alvenaria quando sujeita a acções cíclicas, como aquelas induzidas pelos sismos.

Uma descrição detalhada dos procedimentos e dos resultados obtidos pode ser encontrada em [9].

### 6.3.2 Ensaio realizado em laboratório

A parede ensaiada em laboratório foi construída com unidades de adobe retiradas de construções existentes e com uma argamassa com composição análoga à usada tradicionalmente. A parede tem as seguintes dimensões: 1.08m de altura, 1.02m de largura e 0.185m de espessura. As condições de apoio evitam deslocamentos laterais e rotações.

As frequências naturais nas duas direcções horizontais (transversal e longitudinal) foram medidas com um sismógrafo. Mediu-se uma frequência de 10.94Hz na direcção transversal e, a partir da mesma, estimou-se um módulo de elasticidade médio de 316MPa. Posteriormente, foi aplicada uma carga vertical de 2.86kN no topo da parede, para simular uma parede com o dobro da altura, e foram impostas forças horizontais no plano, em ciclos de amplitude crescente, até se atingir o colapso (fig. 3). Foi aplicada uma força horizontal máxima de 3.2kN. O modo de rotura caracterizou-se pela abertura de uma fenda horizontal na base da parede.

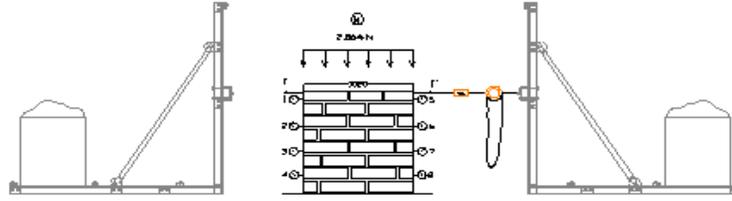


Figura 3: Esquema de ensaio da parede, no plano: pórticos de reacção, transdutores de deslocamento, dinamómetro e sistema de aplicação de forças horizontais na parede.

### 6.3.3 Ensaio realizado *in situ*

A parede ensaiada *in situ* foi primeiramente sujeita a ensaios dinâmicos. Mediu-se uma frequência de 2.20Hz na direcção transversal e, a partir da mesma, estimou-se um módulo de elasticidade médio de 101MPa.

Para os testes cíclicos não se considerou uma carga vertical adicional. Inicialmente, foram impostas forças horizontais no plano, em ciclos de amplitude crescente (fig. 3). Numa segunda fase, foram aplicadas forças fora do plano, também em ciclos de amplitude crescente, mas sem inversão do sentido da força, até se atingir o colapso. Foi aplicada uma força horizontal máxima no plano de 10.7kN. Esta força não foi levada a um nível superior para que se pudesse conduzir, de seguida, o ensaio fora do plano. Foi aplicada uma força horizontal máxima fora plano de 0.69kN. O modo de rotura caracterizou-se por uma rotação da parede pela base, com a zona intermédia muito fragilizada.

## 7 TRABALHO EM DESENVOLVIMENTO

O trabalho apresentado neste artigo faz parte de um projecto de investigação focado na reabilitação e reforço do parque construído em adobe do distrito de Aveiro. Neste projecto a seguinte metodologia tem sido seguida: i) caracterização detalhada das construções existentes e das suas patologias estruturais e não estruturais mais comuns; ii) caracterização mecânica dos materiais; iii) caracterização estrutural e avaliação da segurança estrutural; iv) desenvolvimento de soluções de reabilitação e reforço.

Para além do trabalho que tem sido desenvolvido para a caracterização mecânica de paredes em alvenaria de adobe, foi também iniciado trabalho para o estudo de soluções de reforço para esta alvenaria. A parede testada em laboratório foi reforçada com uma malha polimérica e revestida com uma camada de argamassa com composição semelhante à usada tradicionalmente nas construções existentes (fig. 4). A resposta estrutural da parede reforçada, quando sujeita a deslocamentos horizontais cíclicos, está a ser investigada. A melhoria de comportamento alcançada com a solução de reforço será avaliada. Esta análise constitui apenas o início de um trabalho que pretende desenvolver soluções efectivas de reforço para as construções em adobe existentes.



Figura 4: Reforço da parede, em laboratório, com malha polimérica e com argamassa de revestimento.

Deu-se também início ao estudo do comportamento de arcos em adobe. Foi construído um arco em laboratório, com blocos extraídos de unidades de adobe recolhidas numa construção existente e com uma argamassa formulada em laboratório, com composição semelhante à utilizada tradicionalmente. Este arco foi inicialmente submetido a um ensaio com carregamento vertical simétrico, posteriormente a um ensaio

com carregamento vertical não simétrico e, por fim, a um ensaio com carga vertical pontual até ao colapso (fig. 5). Os resultados obtidos estão a ser analisados.

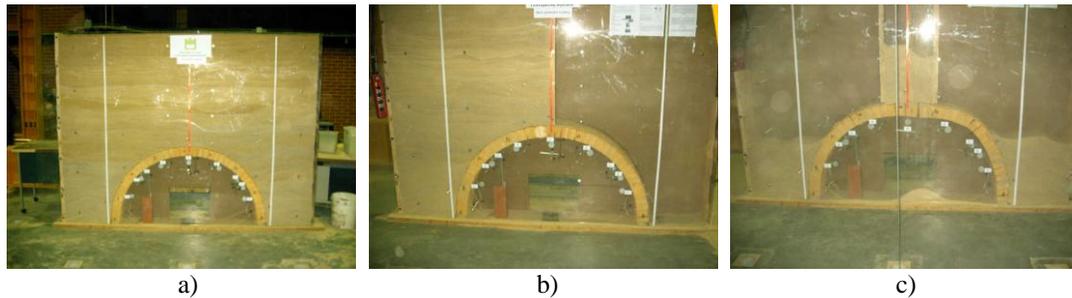


Figura 5: Ensaio sobre o arco construído em laboratório: a) carregamento vertical simétrico; b) carregamento vertical não simétrico; c) carga vertical pontual.

## 8 AGRADECIMENTOS

Os autores expressam os seus agradecimentos a Hugo Rodrigues, Orlando Sousa e Nuno Vicente pela sua colaboração no trabalho experimental aqui sumariamente apresentado, à CIVILRIA, S.A. pelo transporte das unidades de adobe para o laboratório, à MARTIFER, S.A. pela oferta dos pórticos de reacção utilizados nos ensaios cíclicos realizados sobre as paredes de adobe, e a todas as pessoas que gentilmente abriram as suas casas para a recolha de amostras e ensaio de paredes.

## 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Oliveira, E.V. & Galhano, F., *Arquitectura tradicional portuguesa*, Publicações D. Quixote: Lisboa, 1992.
- [2] *Seminário Arquitecturas de Terra*, eds. CCRCentro: Portugal, 1992.
- [3] Hernandez, R.S., Barrios, M.S. & Pozas, J.M.M., Characterization of ancient construction materials (mud walls and adobe) in the Churches of Cisneros, Villada and Boada de Campos (Palencia). *Materiales de Construcción*, **50(257)**, pp. 33–45, 2000.
- [4] Houben, H. & Guillaud, H., *Earth construction - A comprehensive guide*, ITDG Publishing: Londres, 1994.
- [5] North, G. & Kanuka-Fuchs, R., Waitakere City's Sustainable Home Guidelines - Earth building; Waitakere City Council. <http://www.waitakere.govt.nz/AbtCit/ec/bldsus/pdf/materials/earthbuilding.pdf>.
- [6] Varum, H., Martins, T. & Velosa, A., Caracterização do adobe em construções existentes na região de Aveiro. *IV SIACOT Seminário Ibero-Americano de Construção com terra and III Seminário Arquitectura de Terra em Portugal*, eds. ARGUMENTUM: Monsaraz, pp. 233–235, 2005.
- [7] Varum, H., Costa, A., Pereira, H. & Almeida, J., Ensaio de caracterização do comportamento estrutural de construções existentes em adobe. *V SIACOT Seminário Ibero-Americano de Construção com terra e I Seminario Argentino de Arquitectura y Construcción con tierra*, eds. R. Mellace, J.A. Voltan, S.A. Cirvini, G.M. Viñuales, C.M. Neves, R. Rotondaro & E. Montaña: Mendoza, pp. 73–74, 2006.
- [8] Varum, H., Costa, A., Pereira, H. & Almeida, J., Comportamento estrutural de elementos resistentes em alvenaria de adobe. *I Seminário Arquitectura e Construção com Terra no Brasil e IV Seminário Arquitectura de Terra em Portugal*, Ouro Preto, pp. 1–8, 2006.
- [9] Varum, H., Costa, A., Pereira, H., Almeida, J. & Rodrigues, H., Avaliação experimental do comportamento estrutural de elementos resistentes em alvenaria de adobe. *III Congreso Internacional de Arquitectura en Tierra*, Valladolid, 2006.