

OS SISMOS E A CONSTRUÇÃO EM TAIPA NO ALGARVE

A.M. BRAGA

Assistente
ISE-UAlg
Faro - Portugal

J.M.C. ESTÊVÃO

Prof. Adjunto
ISE-UAlg
Faro - Portugal

SUMÁRIO

A terra crua, enquanto material de construção, é utilizada pelos homens há milhares de anos, continuando hoje em dia a ser uma das formas mais disseminadas de edificar habitações a nível Mundial. No Algarve, a construção em taipa terá sido popularizada durante a ocupação Árabe, tendo sido utilizada ao longo dos séculos em construções militares e em habitações. Face à necessidade da preservação e reabilitação do património construído, quer ao nível monumental, quer de simples domicílios particulares, e a necessidade de garantir a segurança da construção nova, como eventual alternativa ecologicamente responsável ao uso dos materiais actualmente hegemónicos, urge caracterizar o comportamento estrutural da taipa. No contexto do Algarve, importa avaliar o respectivo comportamento sísmico, pois são conhecidos os danos observados nas construções militares existentes em taipa, em consequência do sismo de 1755, designadamente no castelo de Paderne, mas também temos conhecimento da ausência de colapsos generalizados em habitações em virtude da ocorrência do sismo de 1969, que provocou o colapso de outros sistemas construtivos da região. Nesse sentido, foi realizado um conjunto de ensaios de modo a caracterizar o comportamento mecânico deste sistema construtivo. Os ensaios foram realizados com provetes executados com terra obtida de uma ruína de uma antiga construção em taipa, localizada na região. Com base nos resultados dos ensaios efectuados, foram realizadas análises dinâmicas numéricas de uma moradia rural de taipa e de parte da muralha do Castelo de Paderne, com o intuito de avaliar a vulnerabilidade sísmica deste tipo de construções. Com este trabalho, pretendemos criar um antecedente para futuras intervenções, certos de que a construção em terra, ao permitir despertar conhecimentos vernaculares, enriquecendo-os com saberes e tecnologias actuais, pode proporcionar uma construção ecologicamente mais sustentável, respeitadora dos valores sócio-culturais e com uma dimensão verdadeiramente humana.

1. INTRODUÇÃO

A construção em alvenaria de terra é uma técnica milenar, utilizada pelos homens ao longo dos tempos por todo o Mundo. Será talvez a forma mais utilizada ainda hoje em dia, pois, cerca de três biliões de pessoas vivem, actualmente, em edifícios de terra crua [1].

Há muitos milhares de anos terão surgido os primeiros povoados que escolheram o material terra para erigir todo o tipo de construções, nos mais diferentes lugares e em quase todas as culturas e civilizações, em longos trechos da Grande Muralha da China e em casas urbanas ou rurais, das mais modestas às mais sumptuosas [2].

Existindo no Mundo diversificadas técnicas construtivas em que a matéria-prima é a terra crua, são particularmente significativas no nosso país, a construção com adobe e a construção em taipa. No Sul, designadamente, no Algarve e no Alentejo é a taipa que é predominante, quer em pequenos edifícios disseminados por estas Regiões, quer em construção militar de muralhas defensivas [3].

A técnica construtiva em taipa, na Península Ibérica, sofreu inegavelmente um grande impulso com a colonização árabe nos séculos XI e XII, tanto em Espanha [4] como em Portugal, designadamente em muralhas defensivas existentes no Algarve [5, 6].

Posteriormente, a partir do início do século XX, a utilização de terra, como material de construção, sofreu um declínio progressivo, ante a manifesta ascensão comercial dos novos materiais industriais, como o cimento, o betão, os tijolos cozidos e o aço. A apologia desenfreada desses materiais e o conseqüente descrédito a que as

construções em terra foram votadas, completaram a nível ideológico, o que as propriedades dos novos materiais deixavam antever.

Pela necessidade de reabilitar as construções em terra existentes, e respeitando os princípios da autenticidade e da compatibilidade, muito terá de ser efectuado para não abandonar ao seu triste destino de completa destruição, o rico património edificado em terra que ainda permanece de pé.

Atendendo à elevada perigosidade sísmica do Algarve, que é expressa na NP EN 1998-1:2010 [7], neste trabalho questiona-se qual será a real vulnerabilidade sísmica das construções em taipa no Algarve, tendo em vista a reabilitação do nosso património edificado, e ainda se será viável a adopção desta técnica de construção em novas edificações.

Procede-se, por um lado, à caracterização do material utilizado, quer em construções civis, quer em construções militares através de comuns ensaios de compressão e flexão de provetes. A terra foi retirada de uma habitação em ruína e de um bloco há muito desmoronado do Castelo de Paderne, para uma avaliação mais coerente do respectivo desempenho estrutural.

2. CONSTRUÇÕES EXISTENTES NO ALGARVE

Foi realizado um levantamento, tão completo quanto o possível, do património edificado em taipa no Algarve, quer em relação aos edifícios civis, quer em relação às construções militares. Em relação às construções ainda existentes na região algarvia, mais de 90 % localizam-se no Barlavento, distribuídas maioritariamente nos concelhos de Portimão, Monchique e Aljezur.

2.1. Edifícios civis

O estado de deterioração e abandono evidenciado aponta a extrema urgência com que se torna necessário recolher, enquanto tal for possível, os testemunhos de uma arquitectura e de uma prática construtiva que constituem um património insubstituível do saber fazer popular.

Trata-se de edifícios de pequeno porte, com formas puras e maciças, destinadas a habitação, a currais ou arramadas para abrigar o gado ou arrecadações agrícolas. Apresentam uma tipologia construtiva de piso único ou, muito raramente, dois pisos sobrepostos, com uma planta rectangular e com reduzido número de vãos.

As paredes de alvenaria de taipa, com uma altura, usualmente, não superior a 2.50 m, apresentam uma espessura variável entre 45 e 60 cm, erigidas quase sempre sobre fundações de pedra.

Verifica-se a existência de “acilhos”, embasamentos protectores em alvenaria de pedra de xisto com junta seca, como forma de impedir a acção da humidade ascendente do solo, por capilaridade, e proteger dos salpicos de chuva provenientes do solo. A parte superior do embasamento encontra-se, pelo menos, 50 centímetros acima da cota interior dos pavimentos, geralmente um pouco elevados relativamente ao terreno exterior, para evitar acessos de águas pluviais no Inverno. Ao lado deste embasamento, verifica-se, algumas vezes, a existência de um poial que, para além de uma função estrutural, era utilizado como banco, para apanhar o fresco e para apoiar provisoriamente diferentes objectos.

O acabamento, quando existe, é de cal. Sobre as paredes em taipa pode existir um reboco de cal e areia posteriormente caiado, ou apenas pasta de cal directamente aplicada sobre o suporte, ou ainda, a caição directamente aplicada sobre a taipa.

A caição era anualmente renovada, proporcionando uma textura fantástica fruto das sucessivas caições ao longo dos anos e uma cor imaculadamente branca nos paramentos e o ocre ou o azul nas bordaduras dos vãos e na marcação dos cunhais. Nalguns casos constatou-se a utilização da cor nas pinturas das fachadas, resultante da mistura de corantes naturais com a cal, num caso isolado a existência de motivos de cor azul, inseridos na pintura branca, quer interior, quer exteriormente.

Muitas vezes, apenas se rebocava a fachada principal, bem como os paramentos mais fustigados pelos ventos dominantes. As fachadas Sul e Sudoeste ficariam assim mais protegidas da erosão provocada pela chuva e pelo vento, enquanto nas restantes permanecia a taipa à vista. Por outro lado, era usual só executar o reboco com argamassa de cal aérea após a passagem de um Inverno, para que a chuva pudesse lavar os paramentos, retirando alguns finos e propiciando melhores condições de aderência do reboco ao suporte, então mais rugoso.

A pobreza que estas habitações revelam é condizente com o exíguo número de compartimentos, a sua reduzida dimensão e os exíguos pés-direitos. O compartimento principal era a cozinha, usualmente com uma lareira, nem sempre dispo de chaminé, saindo o fumo pelos espaços do ripado do telhado. Além da cozinha e separados dela por paredes, geralmente de adobe, existiam os quartos ou alcovas. Era comum a existência da denominada “casa de fora”, contígua ao exterior e de utilização diversa.

É possível observar que, em muitos casos, as construções iam sofrendo ampliações horizontais, por inclusão progressiva de compartimentos, visando suprir as novas necessidades, que o crescimento familiar implicava.

Os blocos de taipa (taipaladas) apresentam dimensões variáveis, à volta de 50 centímetros de altura e 1.50 metros de comprimento, com juntas horizontais mais ou menos marcadas e juntas verticais pouco nítidas, algumas vezes, por motivo construtivo, inclinadas em “rampado”.

As paredes interiores, geralmente de adobe, têm uma espessura à volta de 20 centímetros. A parede longitudinal, por baixo da cumeeira, quando existente, era identicamente construída em taipa, assumindo uma função resistente.

A cobertura é inclinada, em telhado de uma ou duas águas, com uma inclinação entre 20 e 35 %, revestidas com telha de canudo e beirado usualmente saliente. A estrutura é de madeira, constituída por varas assentes no pau de fileira e nos frechais. Sobre estas varas estava colocado o forro, amiúde em caniço e era, directamente sobre ele, que se assentavam as telhas.

Os vãos são em número reduzido e de pequena dimensão, a porta de entrada é única, relativamente pequena e com um postigo de madeira na parte superior, à altura dos olhos.

Os pavimentos eram habitualmente realizados em terra batida, existindo ainda alguns indícios de tijoleiras de barro, de forma quadrangular e rectangular, que terão revestido os pavimentos de alguns poucos compartimentos.

2.2. Construções militares

A construção em taipa ainda pode ser observada, total ou parcialmente, em muralhas defensivas existentes em Silves, Paderne, Salir, Faro e Tavira [5, 6]. A muralha de Albufeira, de onde só restam vestígios, terá sido também em taipa [5].

O castelo de Paderne é um caso raro por apresentar um único processo construtivo. Está situado a cerca de 2.5 km da povoação homónima, no concelho de Albufeira, e apresenta uma importante posição estratégica, no cimo de uma elevação com cerca de 90 metros de altura, sendo adjacente à ribeira de Quarteira. Tem uma área relativamente reduzida, pouco superior a 3000 metros quadrados. Terá sido construído na segunda metade do século XII, durante o domínio Almóada do Garb Al-Andaluz [5, 6].

Este castelo possui algumas características comuns a outras fortificações existentes no Algarve e no Alentejo, deste mesmo período Almoáde, muralhas espessas de taipa militar, uma torre albarrã separada da muralha e ainda visível, um acesso em cotovelo, “skifa” protegido por barbacã e uma cisterna de aprovisionamento de águas pluviais.

As muralhas apresentam uma forma trapezoidal irregular, com um comprimento de 263 metros aproximadamente, sobre uma sólida sapata em pedra, encontrando-se actualmente bastante arruinadas, tendo,

grande parte delas, desabado, quer para o interior, quer para o exterior e apresentando, outras, enorme fendilhação e vegetação abundante adossada (Figura 1).

A taipa militar, que constitui as muralhas, consiste na adição de grande percentagem de cal à terra utilizada. Este é o principal elemento identificador deste tipo de taipa, pois a existência de taipais, pilões, agulhas e restantes elementos é comum à taipa civil. A espessura dos muros é de aproximadamente 1.80 metros e a altura dos taipais de 90 centímetros, a que corresponderiam, respectivamente, quatro e dois côvados (o côvado é uma medida correspondente à distância entre o cotovelo e a ponta dos dedos, tendo sido usado por diversas civilizações antigas, cujo comprimento era, obviamente, variável e dependendo do porte individual do artífice, embora geralmente compreendido entre os 40 e os 53 centímetros).



Figura 1: Alguns pormenores das muralhas do Castelo de Paderne.

Ainda se nota a existência do que se julga terem sido faixas de cal, delimitando horizontalmente e verticalmente os taipais, destinados a sugerir a eventuais invasores a resistência acrescida de silhares. Realça-se a resistência manifestada pela taipa militar que é enorme, provocando a cal, com o passar do tempo, uma quase petrificação da terra, tal como é possível observar no local.

Este castelo foi alvo de obras de restauro em 2004/2006, usando processos diversificados, desde a construção em taipa tradicional a terra projectada [6].

3. ENSAIOS REALIZADOS

Foi realizado um conjunto de ensaios laboratoriais de modo a caracterizar algumas características mecânicas da taipa como material estrutural. Esses ensaios ocorreram no Laboratório de Estruturas e Construção (LEC) e no Laboratório de Materiais de Construção (LMC) do Departamento de Engenharia Civil (DEC) do Instituto Superior de Engenharia da Universidade do Algarve (ISE-UAIG).

A terra utilizada foi recolhida de uma edificação em taipa, abandonada e bastante deteriorada, localizada nas proximidades de Odelouca, com as seguintes coordenadas 37° 12.521' N e 8° 30.529' W.

Não existindo regulamentação específica para a terra, utilizaram-se os procedimentos que melhor se adaptassem à caracterização pretendida. Previamente ao ensaio e, sempre que necessário, os topos dos provetes foram rectificadas com uma fina camada de gesso.

Visando caracterizar mecanicamente, da forma mais rigorosa possível, a terra crua utilizada, foram realizados diversificados provetes. Prismas com 40×40×160, cilindros com um diâmetro de 70 e uma altura de 140, cubos com aresta de 200, blocos simples com 200×200×500 e, finalmente, pequenos muretes, constituídos por três camadas justapostas, perfazendo 200×500×600. Todas as dimensões expressas em mm.

Para a execução dos espécimes mais pequenos, visando a caracterização da resistência mecânica, ou seja os prismas com 40×40×160 [mm] e os cilindros com 70×140 [mm], procedeu-se à passagem da terra através do

peneiro n.º 4 de forma a utilizar-se unicamente material com granulometria inferior a 4.76 mm. Os restantes provetes foram executados com amostras integrais.

Em primeiro lugar, foi realizada uma determinação da resistência à compressão e à flexotracção a partir dos espécimes com 40×40×160 [mm], de acordo com uma adaptação às disposições da norma NP EN 196-1:2006 [8], que embora destinada a argamassas de cimento se entendeu aplicar às amostras de terra. O equipamento utilizado denomina-se FORM+TEST SEIDNER. PRUFMASHINEN U. LABORGERATE. TESTING EQUIPMENT TYPE 505/200/10DM1.

Quanto aos provetes prismáticos [40×40×160], obteve-se um valor médio da resistência à compressão de 1.86 MPa e um desvio-padrão de 0.24 MPa, com os limites superior e inferior de, respectivamente, 2.24 e 1.52 MPa. Em termos de flexo-tracção, para um valor médio de 0.35 MPa e um desvio-padrão de 0.05 MPa, os limites superior e inferior foram, respectivamente, 0.44 e 0.29 MPa. Tal corresponde uma resistência à tracção por flexão de 18.8 %, relativamente à compressão, com os limites superior e inferior de, respectivamente, 24.1% e 15.1%.

Relativamente aos cilindros [70×140], obteve-se um valor de resistência à tracção, por compressão diametral de 0.15 MPa, com um desvio-padrão de 0.01 MPa (7.7 %). Os ensaios foram realizados por adaptação da NP EN 12390-6:2003 [9], preceituada para betão endurecido, com uma velocidade de, aproximadamente, 0.05 MPa.s⁻¹. Os provetes cilíndricos são submetidos a uma força de compressão aplicada ao longo da respectiva altura, originando tensões ortogonais responsáveis pela rotura do provete por tracção. A tensão resulta do quociente entre a força (em N) aplicada e a área (em mm²), sendo esta correspondente ao produto da altura do cilindro pelo semi-perímetro da base.

Quanto aos cubos de 200 mm de aresta (Figura 2), foram ensaiados na prensa para betão “SEIDNER”, type WP 300 EM 3, n.º 5542. O valor médio da resistência à compressão foi de 1.64 MPa, com um desvio-padrão de 0.16 MPa, correspondente a 9.5 %.



Figura 2: Ensaio de um cubo de taipa à compressão (200×200×200 [mm]).

Procedeu-se, igualmente, à avaliação da resistência de pequenos muretes, à compressão, com blocos triplos com 200×500×600 [mm] e à flexão com blocos simples de 200×200×500 [mm]. Na realização dos ensaios, procurou-se seguir o indicado nas normas NP EN 1052-1:2002 [10], para os ensaios à compressão, e na NP EN 1052-2:2002 [11], para os ensaios à flexão, tanto quanto o possível, atendendo às características do material ensaiado. Também se procurou seguir alguns procedimentos adoptados em estudos realizados por outros autores [12-14].

As resistências à compressão (f_i) dos provetes de taipa (N/mm²) foram obtidas com base na expressão proposta na NP EN 1052-1:2002:

$$f_i = \frac{F_{i,max}}{A_i} \quad (1)$$

em que $F_{i,max}$ é a carga máxima obtida na célula de carga (N) e A_i é a área da secção transversal carregada (mm²) de um provete de taipa.

Para efeitos do cálculo do módulo de elasticidade, foram realizados ensaios num pórtico, com um sistema de aquisição de dados digital, controlado por um programa informático desenvolvido no DEC-ISE-UAlg. Em cada provete, foram utilizados dois transdutores lineares de deslocamento (um em cada face do provete) e uma célula de carga (Figura 3).



Figura 3: Ensaio de um provete de taipa à compressão (200×500×600 [mm]).

O módulo de elasticidade (E_i) dos provetes de taipa (N/mm²) foi determinado como o módulo secante, a partir da média das extensões (ε_i) obtidas das posições de medida, correspondentes a uma tensão igual a um terço da tensão máxima atingida no ensaio, tal como é proposto na NP EN 1052-1:2002, sendo:

$$E_i = \frac{F_{i,max}}{3 \times \varepsilon_i \times A_i} \quad (2)$$

A relação entre as extensões e as tensões obtidas do ensaio estão apresentadas na Figura 4.

O valor calculado para a resistência à compressão foi de 0.89 MPa e o módulo de elasticidade de 264 MPa, valor 296 vezes superior àquele.

As resistências à flexão (f_{xi}) dos provetes de taipa (N/mm²) foram obtidas com base na expressão proposta na NP EN 1052-2:2002:

$$f_{xi} = \frac{3 \cdot F_{i,max} \cdot (l_1 - l_2)}{2 \cdot b \cdot h_u^2} \quad (3)$$

em que b e h_u são, respectivamente, a largura e a altura do provete, l_1 e l_2 correspondem às dimensões assinaladas na Figura 5.

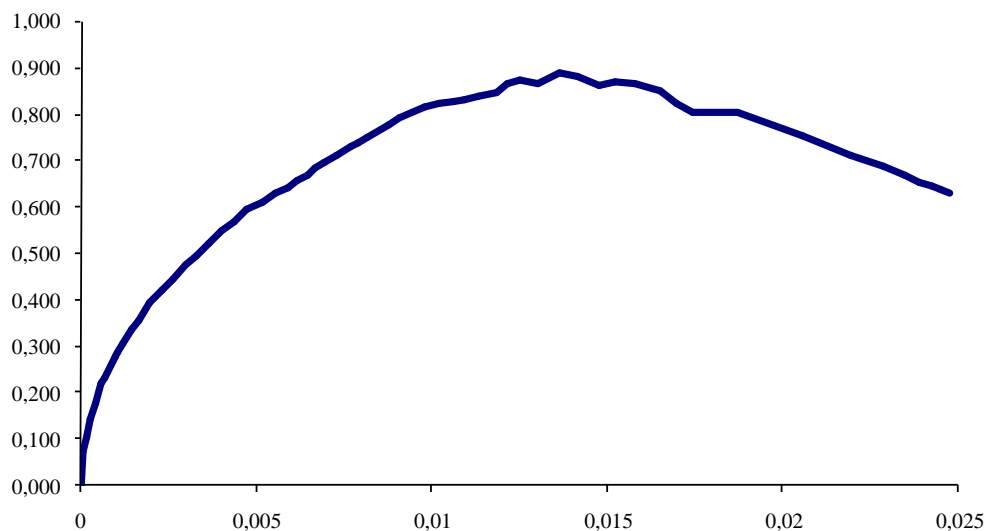


Figura 4: Curva obtida do ensaio experimental à compressão da relação entre as extensões e as tensões (MPa) no murete de taipa.

O valor obtido foi de 0.17 MPa, o que traduz uma resistência à tracção por flexão de 17.2 %, relativamente à compressão.

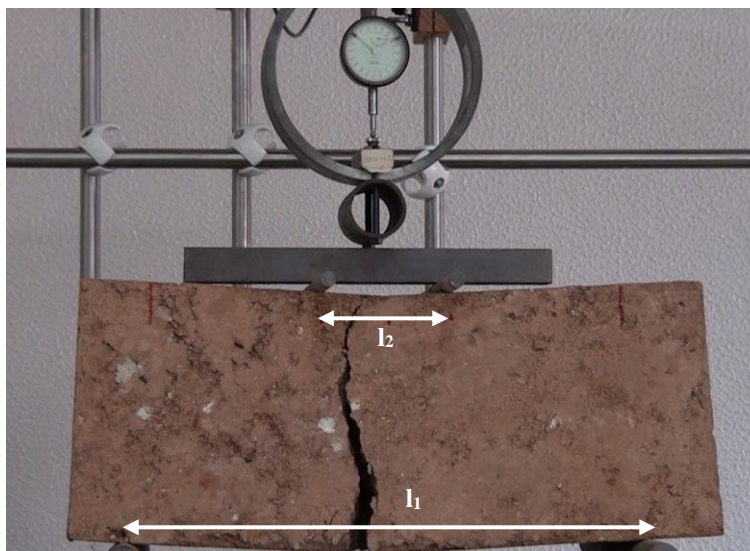


Figura 5: Ensaio de um provete de taipa à flexão (200×200×500 [mm]).

A partir dos pedaços de taipa retirada, quer da construção rural em Odelouca, quer da muralha do Castelo de Paderne, foram realizados blocos que, após rectificação das faces com argamassa, foram ensaiados à compressão uniaxial. Obtiveram-se os seguintes valores em MPa, respectivamente para a tensão máxima, tensão mínima e tensão média dos seis blocos ensaiados: Odelouca – 1.74; 0.79 e 1.13. Paderne – 6.32; 3.24 e 4.19.

4. VULNERABILIDADE SÍSMICA DA CONSTRUÇÃO EM TAIPA

A NP EN 1998-1:2010 restringe o uso de estruturas de alvenaria simples a zonas de baixa sismicidade, o que não é o caso da região do Algarve, dado que apresenta a maior perigosidade sísmica de Portugal Continental. No entanto, existe todo um património edificado em alvenaria simples, designadamente em taipa, cuja vulnerabilidade importa quantificar.

Para a avaliação da vulnerabilidade sísmica da construção em taipa no Algarve, é importante a percepção sobre o comportamento sísmico desse tipo de construções em virtude da ocorrência de sismos do passado, designadamente dos sismos ocorridos desde a ocupação árabe.

Nesse período de tempo, os principais sismos que originaram destruição no património edificado no Algarve ocorreram em 1356 (24 de Agosto), 1504 (5 de Abril), 1587 (Novembro), 1719 (6 de Março), 1722 (27 de Dezembro), 1755 (1 de Novembro), 1856 (12 de Janeiro) [15, 16] e 1969 (28 de Fevereiro).

É sabido que as construções de taipa sofreram danos em virtude da ocorrência de alguns desses sismos, tendo sido o sismo de 1755 o mais destruidor. O castelo de Paderne é uma importante referência, por ser todo construído em taipa, tendo sido muito afectado pelo efeito das vibrações sísmicas nas muralhas e na torre [17].

Não existindo dados fiáveis dos prejuízos causados pelo sismo de 1969 em habitações de taipa no Algarve, de qualquer forma, pelos dados disponibilizados e pelas informações prestadas por quem testemunhou o sucedido, e por nós recolhidas, parece poder inferir-se o melhor comportamento da construção em taipa relativamente à construção em alvenaria de pedra, não tendo sido possível identificar colapsos significativos de edifícios de taipa aquando do sismo. Também é evidente a existência de um elevado número de construções em taipa, edificadas antes do sismo de 1969, que ainda estão intactas, estando muitas delas na zona 1.1 da NP EN 1998-1:2010, a zona de maior valor de aceleração de cálculo.

Muito embora o desempenho sísmico das construções de adobe e de taipa seja, muitas vezes, englobado no mesmo nível de vulnerabilidade sísmica, G. Minke [18] refere que construções históricas com paredes de taipa entre 60 e 100 cm apresentaram suficiente resistência à acção de sismos que levaram ao colapso outras construções de alvenaria simples, nomeadamente em adobe e em tijolo.

Para uma melhor avaliação do desempenho sísmico das construções em taipa, foi realizada a análise sísmica linear de uma moradia rural de taipa e também de uma parte da muralha do Castelo de Paderne (15 m), com recurso ao programa de cálculo automático SAP200 [19]. As análises realizadas tiveram como objectivo a obtenção de uma estimativa do valor mínimo da aceleração de pico necessária para induzir o colapso deste tipo de construções.

Nas análises sísmicas realizadas, foram utilizados os registos normalizados obtidos a quando do sismo de Michoacán ocorrido em 1985/09/19, em Zihuatanejo, México (AZIH - Guerrero Array Stn ZIH, 17.6080°N, 101.4620°W), a uma distância focal de cerca de 133 km. Estes registos estão em consonância com o espectro de resposta proposto na NP EN 1998-1:2010 para o cenário de sismo distante (Figura 6).

As estruturas foram modeladas com o recurso a elementos finitos sólidos tridimensionais de oito nós, com 3 graus de liberdade por nó, e ao programa de cálculo automático SAP2000 [19].

Para a definição das malhas de elementos finitos, foi realizado, previamente, um estudo de sensibilidade dos resultados da frequência fundamental em relação à dimensão dos elementos da malha. O que se verificou foi que, para uma parede de 50 cm os resultados se mantinham constantes a partir da divisão da espessura da parede num número não inferior a 4 elementos. As malhas adoptadas nos estudos realizadas estão apresentadas nas Figuras 7 e 8.

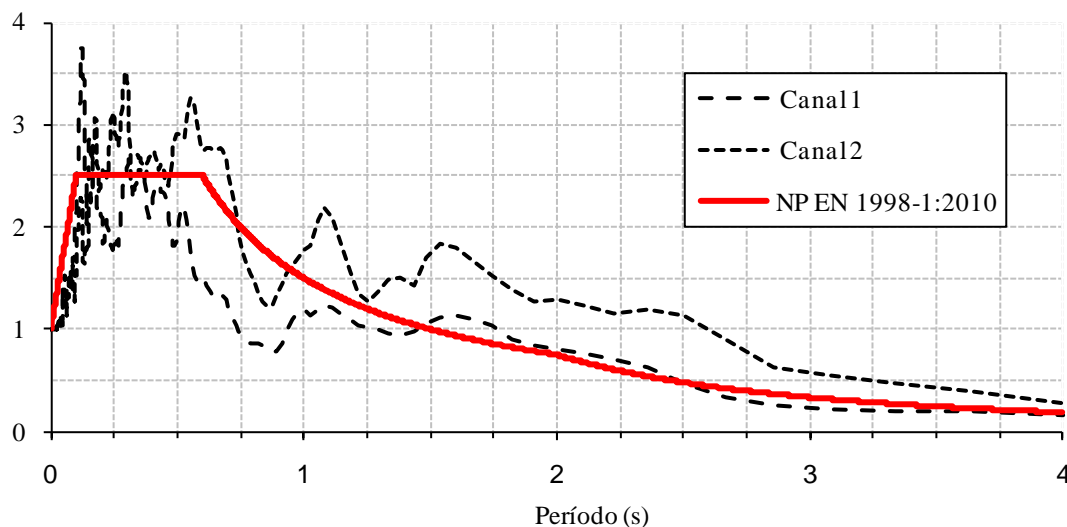


Figura 6: Comparação dos espectros de resposta normalizados obtidos em Zihuatanejo, México, após o sismo de Michoacán ocorrido em 1985/09/19, e a NP EN 1998-1:2010.

4.1. Análise de uma moradia rural construída em taipa

Para a análise do comportamento sísmico das moradias construídas em taipa, foi seleccionada uma construção que fosse representativa da tipologia construtiva existente no Algarve.

A moradia apresenta uma planta rectangular com 11,8×8,9 m, com paredes de 50 cm de espessura. As paredes exteriores apresentam 2,25 m de altura enquanto a parede interior tem 3,25 m de altura, e servem de suporte ao telhado com duas águas revestidas com telha de canudo assente sobre uma estrutura de madeira.

A estrutura, com paredes resistentes em taipa, foi sujeita às duas componentes do sismo de Michoacán, tal como foi acima referido, e cujos espectros de resposta estão apresentados na figura 6. A escolha dos canais dos registos a considerar em cada direcção foi efectuada de modo a serem obtidos os resultados mais gravosos para a construção.

Foi adoptado um modelo tridimensional da estrutura, com as paredes de taipa divididas em quatro elementos sólidos na dimensão da espessura, tendo sido incluídos os vãos que realmente existem na construção, como pode ser observado na Figura 7. O número total de elementos finitos sólidos considerados ultrapassou os 15000.

Baseado em ensaios realizados, foi considerado um peso específico de 20 kN/m³. A massa da estrutura foi distribuída pelos elementos, tendo sido considerada uma massa concentrada linear no topo das paredes, correspondente à massa do telhado.

O módulo de elasticidade adoptado foi de 264 MPa, em consonância com os resultados do ensaio de compressão realizado com o murete de taipa.

Da análise modal realizada, é possível constatar que os modos de vibração mais importantes correspondem aos primeiros nove, sendo, essencialmente, modos de vibração locais de cada uma das paredes que constituem a moradia. As configurações dos primeiros cinco modos de vibração estão apresentadas na Figura 7, e correspondem aos seguintes períodos: $T_1 = 0,37$, $T_2 = 0,22$, $T_3 = 0,19$, $T_4 = 0,18$ e $T_5 = 0,15$ segundos.

Nas análises sísmicas realizadas foi adoptado um coeficiente de comportamento unitário.

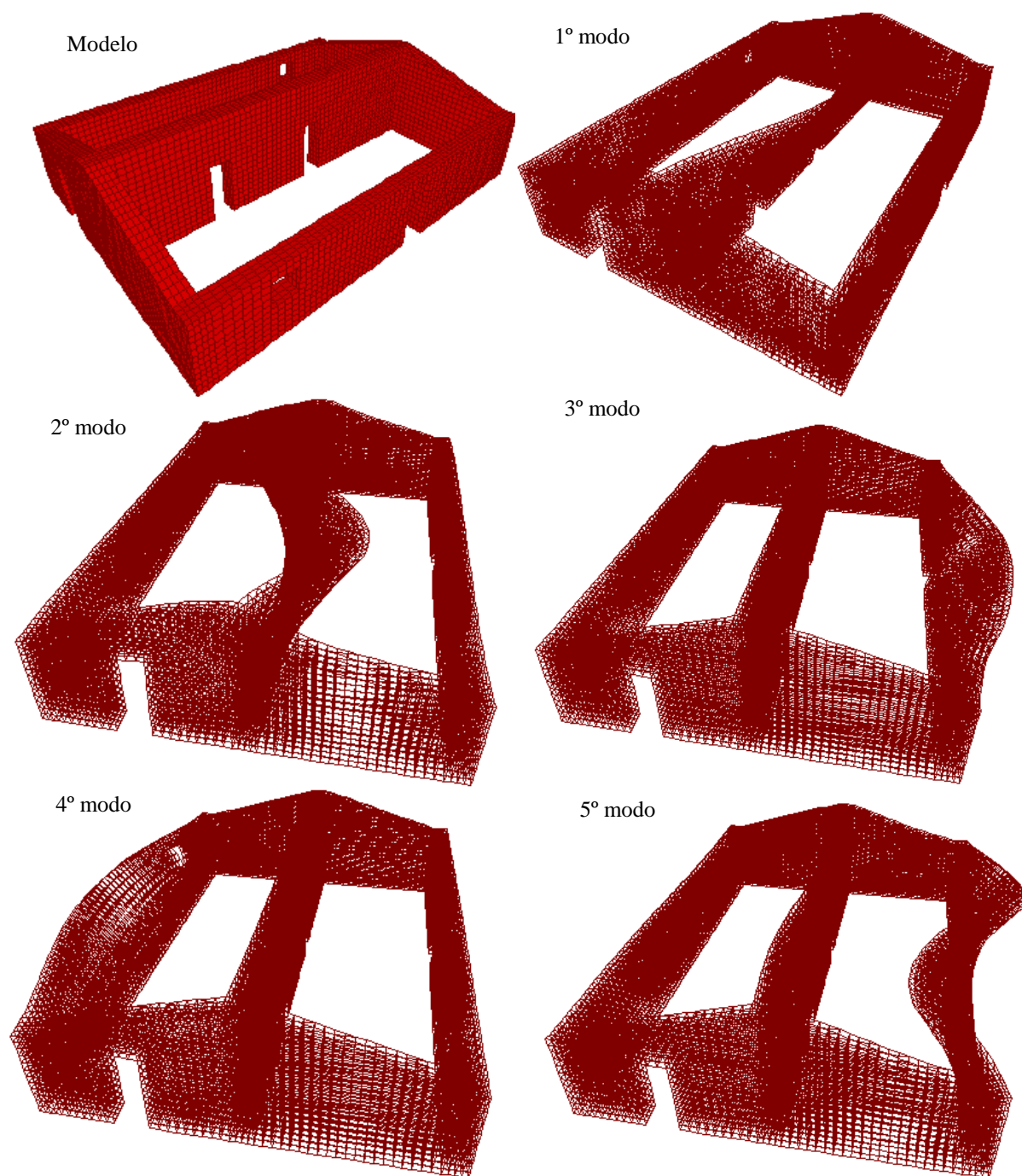


Figura 7: Modelo adoptado na análise sísmica de uma moradia de taipa e os respectivos resultados da análise modal (configurações dos primeiros cinco modos de vibração).

Com base nos resultados da análise sísmica modal por espectros de resposta realizada, foi obtida uma estimativa do nível de aceleração de pico a que a estrutura teria que ser sujeita para se iniciar a fissuração das paredes, o que corresponde a um nível de tensão de tracção instalada superior à resistência do material. Considerando a resistência à tracção de 0.17 MPa obtida dos ensaios, foi possível obter uma estimativa de 0.7 m/s^2 como o valor mínimo necessário para se iniciar a fissuração das paredes de taipa neste tipo de tipologia construtiva.

4.2. Análise de uma parte da muralha do Castelo de Paderne

Foi realizada a análise sísmica de um troço de 15 m da muralha do Castelo de Paderne (Figura 8), com a mesma metodologia descrita anteriormente para a moradia estudada, mas considerando os valores do módulo de elasticidade, e das tensões, majorados por um factor igual a 3.7, por corresponder à relação média obtida entre os ensaios realizados com amostras obtidas *in situ* no Castelo de Paderne e na casa de Odelouca.

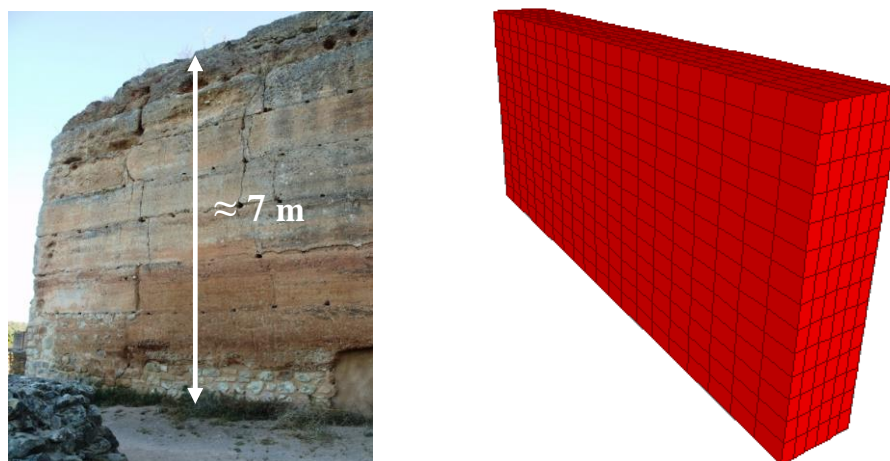


Figura 8: Troço da parede da muralha do Castelo de Paderne analisada, com o respectivo modelo adoptado.

Os resultados obtidos permitem estimar que o nível de aceleração de pico a que a estrutura foi sujeita para se iniciar a fissuração das paredes correspondeu a um valor superior a 1.5 m/s^2 ($T_1 = 0.25$, $T_2 = 0.18$ e $T_3 = 0.10$ s).

5. CONCLUSÕES

Constata-se uma significativa variabilidade dos resultados obtidos dos ensaios, quer ao nível dos procedimentos adoptados, quer do executante, existindo a própria heterogeneidade inevitável do material. A necessidade de regulamentação específica, torna-se primordial, sem a qual se torna muito contingente proceder a qualquer análise comparativa de resultados.

Os resultados alcançados nos ensaios revelam uma apreciável coerência entre si, estando enquadrados dentro dos limites que foram obtidos nos diversos ensaios realizados.

Como seria previsível, os provetes tanto quanto possível inalterados retirados de construções já existentes há muitos anos, quer no caso da moradia rural de Odelouca, quer da muralha do Castelo de Paderne, apresentam valores de resistência média superiores às dos provetes executados por nós, e que foram ensaiados ao fim de 28 dias. A idade constituirá um importante factor de “endurecimento” do material. Também foi evidente a diferença de resultados da taipa militar, com que foi executado o Castelo de Paderne, e a taipa mais vulgar com que eram construídas as moradias rurais, tendo sido quantificado um factor de 3.7 entre elas. Este facto ilustra a importância da utilização de cal na taipa, e o seu efeito ao longo do tempo.

Os resultados das análises sísmicas realizadas apontam para que não seja viável a construção em taipa, dado que não são garantidos os níveis de segurança preconizados na NP EN 1998-1:2010 para o nível de perigosidade sísmica do Algarve. As estimativas obtidas para o início da fissuração das muralhas do Castelo de Paderne ($>1.5 \text{ m/s}^2$) e da moradia em taipa ($>0.7 \text{ m/s}^2$), parecem estar em consonância com os efeitos dos sismos ocorridos em 1755 e em 1969, respectivamente.

Atendendo às características de sustentabilidade da construção em taipa, é importante a procura de novas soluções construtivas, que induzam o aumento da ductilidade e da resistência deste tipo de construção.

Em relação ao património construído, e face às estimativas obtidas para a aceleração de pico a partir da qual poderá ocorrer o colapso das construções, será importante desenvolver e implementar medidas que diminuam a vulnerabilidade destas construções, sem que se proceda a uma descaracterização do património existente.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos alunos Ana Graça e Diogo Gomes, bem como ao Senhor Paulo Jacinto, o auxílio prestado na elaboração dos provetes de taipa, assim como na realização dos ensaios laboratoriais.

7. REFERÊNCIAS

- [1] Rodrigues, P. F. (2005) Construções em terra crua. Tecnologias, potencialidades e patologias., *Revista MUSA (Museu de Arqueologia e Etnografia do Distrito de Setúbal)* **2**.
- [2] Torgal, F. P.; Eires, R. M. G. and Jalali, S. (2009) *Construção em Terra*. Universidade do Minho, Guimarães.
- [3] Figueiredo, A.; Varum, H.; Costa, A. and Santos, M. (2010) Reforço de Paredes de Adobe: Caracterização Experimental de uma Solução de Reforço Sísmico. In: Proceedings of the Terra em Seminário – 6º Seminário de Arquitectura de Terra em Portugal.
- [4] Delgado, M. C. J. and Guerrero, I. C. (2006) Earth building in Spain. *Construction and Building Materials* **20** (9), 679–690.
- [5] Coutinho, V. (2001) *Dinâmica defensiva da costa do Algarve - Do período islâmico ao século XVIII*. Instituto de Cultura Ibero-Atlântica, 168 p.
- [6] Magalhães, N. (2008) *Algarve - Castelos, Cercas e fortalezas*. Letras Várias, Edições e Arte, Faro, 299 p.
- [7] IPQ (2010) *NP EN 1998-1. Eurocódigo 8: Projecto de estruturas para resistência aos sismos. Parte 1: Regras gerais, acções sísmicas e regras para edifícios*. Instituto Português da Qualidade, Caparica, Portugal, 230 p.
- [8] IPQ (2006) *NP EN 196-1. Métodos de ensaio de cimentos. Parte 1: Determinação das resistências mecânicas*. Instituto Português da Qualidade, Caparica, Portugal, 17 p.
- [9] IPQ (2003) *NP EN 12390-6. Ensaio do betão endurecido. Parte 6: Resistência à tracção por compressão de provetes*. Instituto Português da Qualidade, Caparica, Portugal.
- [10] IPQ (2002) *NP EN 1052-1. Método de ensaio para alvenaria. Parte 1: Determinação da resistência à compressão*. Instituto Português da Qualidade, Caparica, Portugal, 17 p.
- [11] IPQ (2002) *NP EN 1052-2. Método de ensaio para alvenaria. Parte 2: Determinação da resistência à flexão*. Instituto Português da Qualidade, Caparica, Portugal, 14 p.
- [12] Hall, M. and Djerbib, Y. (2004) Rammed earth sample production: context, recommendations and consistency. *Construction and Building Materials* **18** (4), 281–286.
- [13] Delgado, M. C. J. and Guerrero, I. C. (2007) The selection of soils for unstabilised earth building: A normative review. *Construction and Building Materials* **21** (2), 237–251.
- [14] Bui, Q.-B. and Morel, J.-C. (2009) Assessing the anisotropy of rammed earth. *Construction and Building Materials* **23** (9), 3005–3011.
- [15] Rodríguez, J. G. (1932) *Catálogo sísmico de la zona comprendida entre los meridianos 5º E. y 20º W. de GW. y los paralelos 45º y 25º N. Tomo I*. I.G.C.E., Madrid 807 p.
- [16] Costa, M. and Fonseca, J. (2007) Sismicidade histórica em Portugal no período medieval. In: Proceedings of the 7º Encontro Nacional sobre Sismologia e Engenharia Sísmica. Porto, Livro de actas, p. 383, CD104, 14 pág. .
- [17] Costa, A.; Andrade, C.; Seabra, C.; Matias, L.; Baptista, M. A. and Nunes, S. (2005) *1755 – Terramoto no Algarve*. Centro de Ciência Viva, Faro, 237 p.
- [18] Minke, G. (2001) *Construction manual for earthquake-resistant houses built of earth*. GATE - BASIN at Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, Eschborn, Germany, 51 p.
- [19] Computers & Structures, I. (2005) *SAP 2000 Advanced – Integrated Software for Structural Analysis & Design, Analysis Reference Manual*. Report Version 10.0.1, Berkeley.