

Um Contributo para a Caracterização Mecânica e Análise Sísmica da Construção em Taipa

Ana Teresa Graça¹, Alfredo M. Braga², Fátima Farinha³

¹ Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia, Universidade do Algarve, Campus da Penha 8005-139 Faro Portugal, anagrace3@hotmail.com

² Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia, Universidade do Algarve, Campus da Penha 8005-139 Faro Portugal, abraca@ualg.pt

³ Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia, Universidade do Algarve, Campus da Penha 8005-139 Faro Portugal, mfarinha@ualg.pt

RESUMO

A terra é uma matéria-prima abundante e acessível na natureza, que possibilita uma construção sustentável, em termos ambientais, económicos e sociais. Com um reduzido consumo de energia proporciona um bom conforto, em virtude do seu comportamento térmico e higrométrico. Sendo o sector da construção civil responsável pela deterioração do meio ambiente, torna-se imperioso actuar de forma a não comprometermos o futuro das gerações vindouras.

A terra crua, enquanto material de construção, é utilizada desde há milhares de anos, proporcionando edifícios com impactes incomparavelmente menores do que os resultantes dos sistemas atuais de construção. Existem diversas técnicas construtivas em terra crua, sendo no nosso país, as principais: a taipa: o adobe e o tabique. No Algarve, a taipa é o sistema predominante, constatando-se a existência de inúmeros edifícios, quer em pequenas edificações civis, quer em imponentes fortificações militares.

Neste artigo sintetiza-se a investigação efectuada [4], que compreendeu a pesquisa e identificação de construções em taipa existentes na região algarvia, recolha de amostras “*in situ*”, caracterização laboratorial, e ainda, a análise estrutural expedita de uma construção no programa de elementos finitos de análise linear dinâmica, SAP 2000 [9], analisando a melhoria de desempenho sísmico após a introdução de elementos de reforço.

Palavras-chave: sustentabilidade, taipa, terra crua

INTRODUÇÃO

Embora encarada pela população em geral como um sistema construtivo que integra um material fraco e pobre, a construção em terra tem vindo a merecer cada vez maior interesse por parte da comunidade científica em virtude do seu elevado potencial.

A construção em taipa consiste na edificação de muros praticamente monolíticos construídos em fases, de dimensões médias 150 x 50 x 50 [cm] (comprimento x espessura x altura), onde a terra, de características argilosas, é bem compactada no interior de taipais de madeira amovíveis, dispostos paralelamente (Figura 1). Em alguns casos as juntas são executadas com uma mistura de terra e cal tornando mais facilmente identificável as fases construtivas (Figura 2).



Figura 1: Aspeto de duas paredes de taipa



Figura 2: Paredes de taipa com juntas de terra e cal

A utilização de materiais naturais, como é o caso da terra, minimiza a produção de resíduos, quer durante a fase de produção dos materiais, quer na fase de construção, no que diz respeito aos desperdícios de materiais, uma vez que o material sobran­te é depositado no próprio local sem originar qualquer impacto no ambiente envolvente. Quanto ao comportamento térmico a grande inércia térmica que os edifícios em terra proporcionam permite conservar o calor no interior da habitação durante a estação fria e, sobretudo, retardar o acesso do calor ao interior da habitação durante a estação quente, o que origina a ocorrência de pequenas amplitudes térmicas na habitação. A elevada massa das paredes permite, também, o amortecimento da transmissão das ondas sonoras, assegurando um bom desempenho acústico, essencialmente, a sons aéreos, possuindo ainda a capacidade acrescida de absorção dos sons, evitando a sua reflexão e diminuindo a ocorrência de reverberação. Nos edifícios em terra verifica-se ainda existir um bom controlo do nível de humidade relativa no interior das edificações, através de processos de absorção ou libertação da humidade em função das necessidades interiores. Também ao nível da resistência ao fogo trata-se de um material incombustível.

Em síntese a facilidade de obtenção, a simplicidade construtiva e um bom desempenho, a diversos níveis, são características deste material tão simples e que se encontra presente em alguns dos monumentos mais importantes a nível mundial. A aplicação construtiva da terra crua constitui, inegavelmente, um paradigma de sustentabilidade.

A CONSTRUÇÃO EM TERRA NO ALGARVE

Portugal possui um dos patrimónios de construção em terra crua mais ricos de toda a Europa, tendo a existência de um clima favorável bem como a abundância e adequabilidade do material decerto contribuído para essa disseminação. É no sul do

país, e em particular no Algarve [6], que se manifesta a sua maior presença onde é possível identificar construções em taipa quer civis, quer edificações militares, de que são exemplos, as muralhas / castelos de Silves e Paderne (Figura 3), Tavira, Faro, Salir, entre outras.



Figura 3: Castelos de Silves (à esquerda) e Paderne (à direita)

No âmbito desta investigação foram observadas, na região do algarve, dezenas de construções tendo-se selecionado vinte dessas construções para uma análise mais detalhada (Figuras 4 e 5).



Figura 4: Construções tradicionais em taipa, no concelho de Silves



Figura 5: Construções tradicionais em taipa, no concelho de Monchique

Dezassete destas construções localizam-se na zona de barlavento e três no sotavento, distribuídas por oito concelhos: Silves, Monchique, Aljezur, Portimão, Alcoutim, Vila do Bispo, Albufeira e Vila Real de Santo António (Figura 6 e Tabela 1). A selecção foi efectuada em correspondência com a quantidade de edifícios em terra observados em cada um dos concelhos, sendo o concelho de Silves, aquele que conduziu a um maior número de construções, num total de cinco.

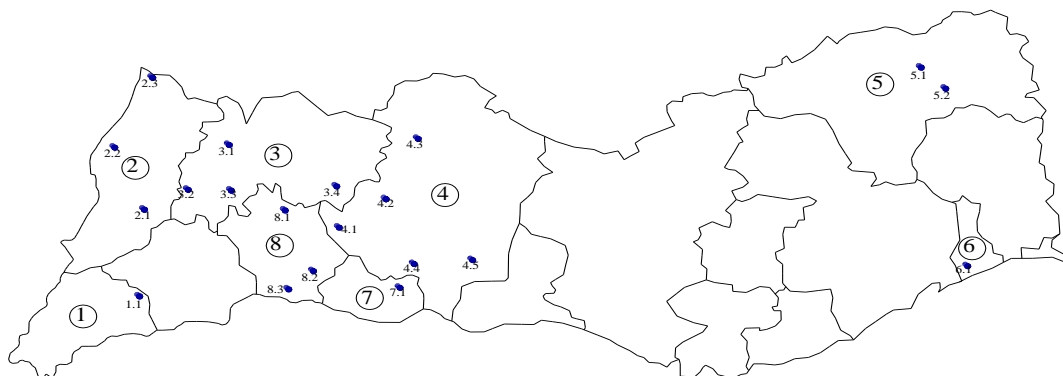


Figura 6: Localização das construções identificadas

Identificação	Concelho
1.1	Vila do Bispo
2.1	Aljezur
2.2	
2.3	
3.1	Monchique
3.2	
3.3	
3.4	
4.1	Silves
4.2	
4.3	
4.4	
4.5	
5.1	Alcoutim
5.2	
6.1	Vila Real de Stº. António
7.1	Lagoa
8.1	Portimão
8.2	
8.3	

Tabela 1: Designação e localização das construções

CARACTERIZAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES

Para as vinte construções foram preenchidas fichas de caracterização preparadas no sentido de sintetizar os principais aspectos construtivos (Figura 7).

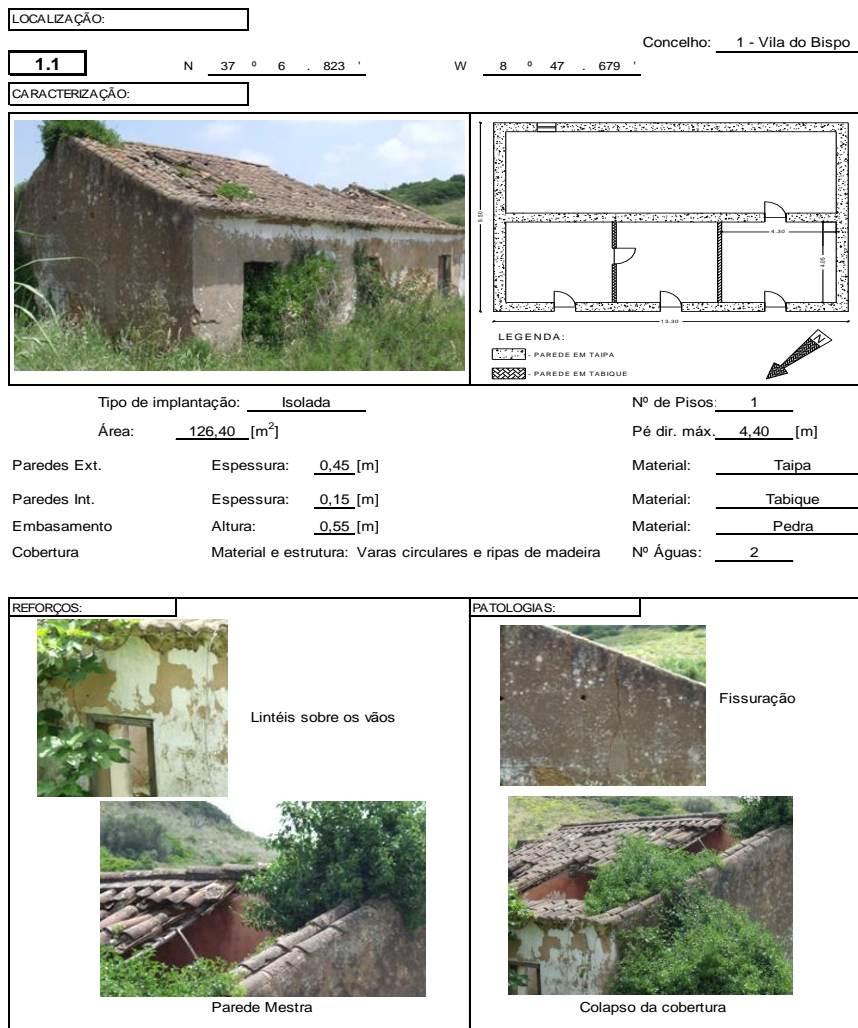


Figura 7: Ficha de caracterização da construção 1.1

Da análise efectuada conclui-se que se trata de edifícios de planta regular e com uma área média entre 100 e 150 m², de um único piso térreo, cujas fachadas se encontram, maioritariamente, orientadas a Sul. Destaca-se ainda, o reduzido número de aberturas para o exterior, quer portas, quer janelas e um número limitado de compartimentos. As paredes exteriores, exclusivamente executadas em taipa, apresentam uma espessura média de 50 cm, enquanto as paredes interiores, são maioritariamente em adobe com uma espessura média de 18 cm. No caso de existência de parede-mestra, esta apresenta-se em taipa e com uma espessura idêntica à das paredes exteriores. As coberturas são na sua maioria de duas águas, revestidas a telha tradicional de canudo apoiada numa estrutura constituída por varas de madeira de secção circular. Identificam-se diversos sistemas de reforço, para melhorar o comportamento mecânico, na maioria das vezes, colocados em data posterior à da construção para reparar e evitar o agravamento de anomalias construtivas entretanto ocorridas. Entre os sistemas de reforço, assinala-se a existência de elementos metálicos, cintas embebidas nas paredes e colocadas junto ao topo, envolvendo perimetralmente toda a construção e tirantes devidamente ancorados nas paredes e fazendo a ligação entre paredes exteriores paralelas. Observou-se ainda, a existência de contrafortes (elementos de forma triangular dispostos perpendicularmente às paredes) e poiais (utilizados como bancos), construídos em pedra e dispostos, predominantemente, na fachada principal. Na sua quase totalidade as vergas dos vãos são providas de lintéis em madeira de apreciável dimensão.

As principais patologias identificadas são: a fissuração, revelando o deficiente comportamento mecânico; a erosão ao nível das paredes em consequência da água da chuva, principalmente, quando associada ao vento e o ataque de insectos em paramentos não revestidos. Ao nível dos elementos de madeira, quer utilizados como reforço sobre os vãos na forma de lintéis, quer utilizados como elementos de cerramento de vãos, apresentam-se, no geral, bastante degradados pelo apodrecimento do próprio material em resultado do estado de abandono em que se encontram (Figura 8).



Figura 8: Erosão em parede de fachada (à esquerda) infestação por insetos (à direita)

Procedeu-se à extração, “*in situ*”, de material em catorze edificações, designadamente, nas que se encontravam desabitadas e abandonadas e quando não resultava consequências para o respetivo estado de conservação. Para as amostras recolhidas foram efectuadas análises granulométricas no sentido da caracterização física das amostras e ensaios de avaliação do comportamento mecânico do material. As análises granulométricas foram feitas de acordo com a Especificação 239 – 1970 [3], relativa à análise granulométrica por peneiração húmida, tendo sido efectuada a comparação com as indicações do grupo de investigação francês, CRATerre (Centre de Recherche et d’Application - Terre) [2]. Na Figura 9 apresentam-se os resultados obtidos bem como os fusos limite propostos por CRATerre constatando-se que 85% das amostras estudadas se situam dentro daqueles limites

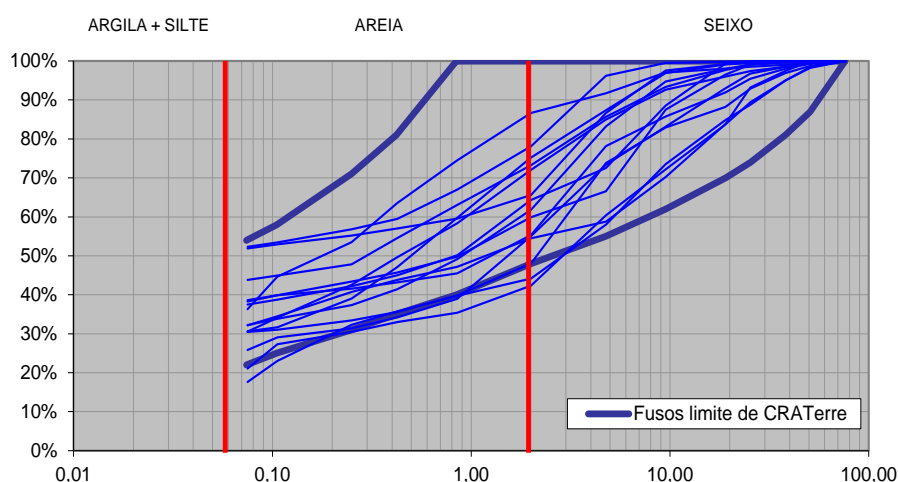


Figura 9: Análise comparativa das curvas granulométricas, com os fusos limite de CRATerre

Para a avaliação do comportamento mecânico do material executaram-se cerca de cem provetes com terra recolhida de oito das catorze construções atrás referidas. Os provetes, com dimensões de 16 x 4 x 4 [cm], após secagem, foram submetidos a

ensaios para inferir a respetiva resistência mecânica - inicialmente ensaios de flexão para determinação da tensão máxima de tração e posteriormente, com as metades resultantes, ensaios de compressão (Figura 10). A tensão de rotura foi determinada adaptando o procedimento expresso na norma NP EN 196 -1 (2006) [7], relativa à determinação das resistências mecânicas dos cimentos, dada a inexistência de procedimentos normalizados para a terra.



Figura 10: Ensaio de tracção por flexão (à esquerda) e ensaio de compressão (à direita)

A tensão de tracção apresentou um mínimo de 0,295 N/mm², obtido para a edificação 5.1, localizada no concelho de Alcoutim e um valor máximo de 0,857 N/mm², obtido para a construção 3.1, localizada em Silves, com um valor médio de 0,489 N/mm².

A tensão de compressão varia entre um mínimo de 1,628 N/mm², obtido para a construção 4.1 localizada no concelho de Silves e um máximo de 2,826 N/mm², obtido para a edificação 3.1 localizada em Monchique, com um valor médio de 2,200 N/mm². Com as tensões médias de tracção e compressão obtidas para cada construção foi executado o gráfico representado na Figura 11, que, em abcissa, identifica as construções e em ordenada, os valores da tensão média.

Os melhores valores de resistência à tracção e compressão foram obtidos para a construção 3.1, localizada, tal como já foi referido, em Monchique, enquanto os piores valores correspondem às construções 5.2 (tracção) e 4.1 (compressão) respectivamente.

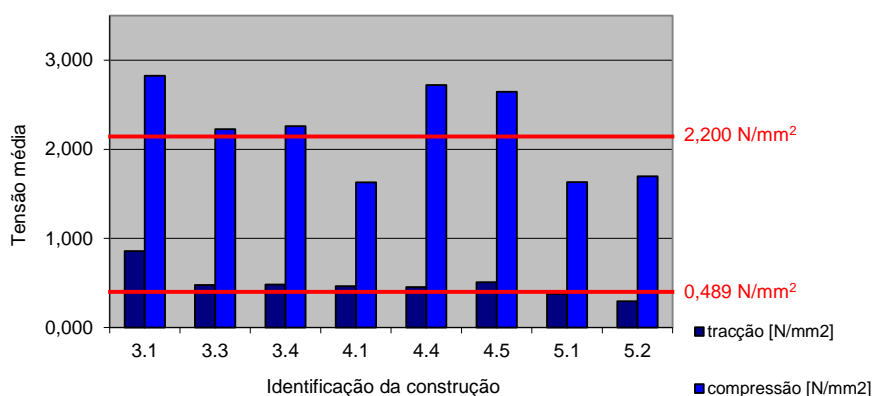


Figura 11: Tensões médias de flexão e compressão para as várias construções

O valor médio obtido para a tensão de flexão corresponde a 22% do valor médio obtido para a tensão de compressão.

ANÁLISE ESTRUTURAL DE UM CASO DE ESTUDO

Com base nos valores obtidos relativos à caracterização mecânica do material foi realizada uma análise dinâmica linear do comportamento estrutural no programa de cálculo de elementos finitos SAP 2000 [9], da construção 4.2 localizada no concelho de Silves, a que corresponde a zona de maior risco sísmico, segundo o Anexo Nacional ao Eurocódigo 8, zona 1.2 para ação sísmica do tipo 1 (sismo afastado) e zona 2.3 para a ação sísmica do tipo 2 (sismo próximo). Trata-se de uma construção de planta rectangular com dimensões de 13,0 m (direcção x) e 9,0 m (direcção y), com paredes exteriores e interiores executadas em taipa, com uma espessura de 50 cm, com uma cobertura inclinada de duas águas, constituída por uma estrutura de barrotes e ripas de madeira revestida a telhas de canudo. Na figura 12 apresenta-se a planta e o respectivo modelo de cálculo.

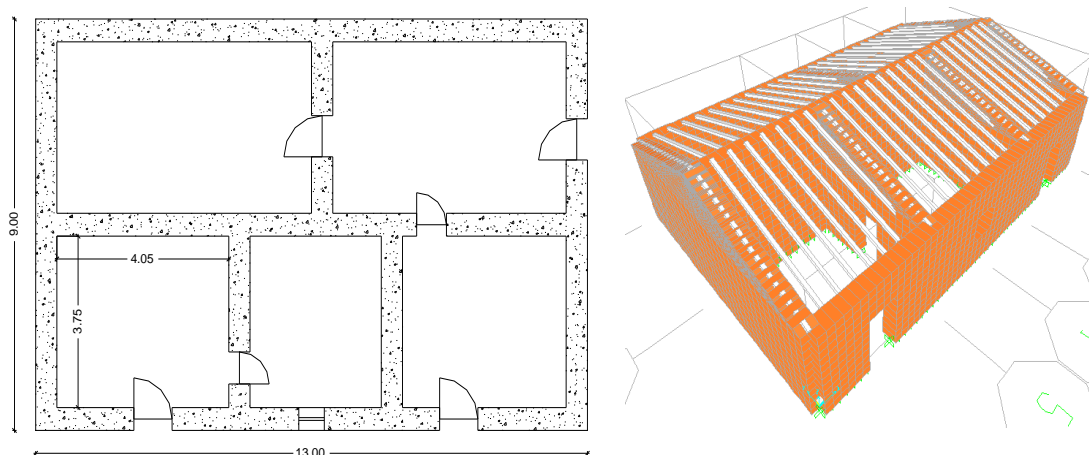


Figura 12: Planta e modelo de cálculo da construção

A análise estrutural foi realizada considerando a acção sísmica através da introdução de espectros de resposta definidos no Eurocódigo 8, NP EN 1998-1 (2010) [8]. A verificação de segurança foi efectuada para os estados limite últimos, considerando as combinações de acções preconizadas na referida regulamentação, ao nível dos pontos críticos da estrutura, identificados através da análise das tensões máximas obtidas. Os valores limite considerados para a resistência à tracção e à compressão foram de $0,326 \text{ N/mm}^2$ e $1,467 \text{ N/mm}^2$, respectivamente, correspondentes a dois terços dos valores médios obtidos nos ensaios laboratoriais, de forma a dilatar a margem de segurança no cálculo, relativamente às características do material utilizado.

O valor para a resistência ao corte decorre de trabalhos anteriores desenvolvidos no laboratório de Estruturas e Construção da UAIG [1], de acordo com a norma NP EN 1052-3 (2005) para a determinação da resistência inicial ao corte de alvenarias.

Considerou-se uma resistência inicial de $0,110 \text{ N/mm}^2$ e um ângulo de atrito interno de 34° , cuja tangente é de 0,675.

Nas figuras 13 e 14 indicam-se os nós analisados na fachada principal, bem como os nós onde se verificou a existência de situações de rotura por tracção e corte do material, destacados nas figuras.

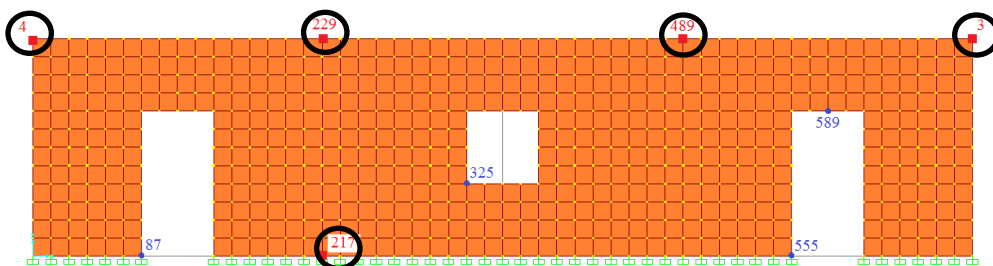


Figura 13: Rotura por tracção

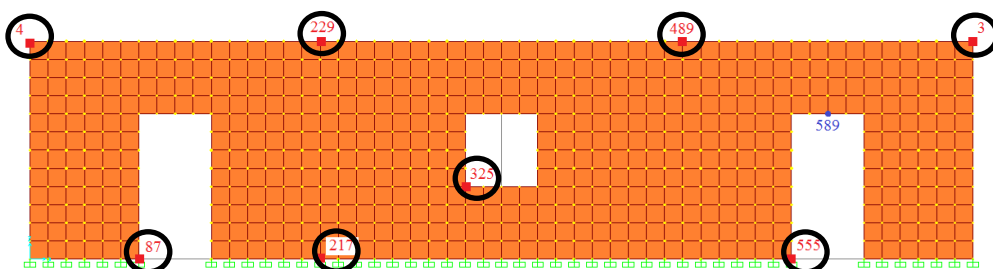


Figura 14: Rotura por corte

Analisada a estrutura inicial e tendo em conta a existência de situações de rotura, sobretudo para a combinação mais condicionante, o que ocorria com a acção sísmica do tipo 1, procedeu-se ao reforço da estrutura. Tomaram-se em consideração os sistemas de reforço utilizados ao longo dos anos, introduzidos na maioria das vezes, não na fase inicial da construção, mas posteriormente, aquando da ocorrência de movimentos na estrutura. Primeiramente foram introduzidos lintéis nas vergas dos diversos vãos e uma viga de bordadura sobre as paredes, em betão armado com secção rectangular o que, embora tivesse possibilitado uma melhoria significativa do comportamento da construção perante as acções atuantes, não se revelou suficiente, dada a permanência de situações de rotura. Foram então introduzidos pilares de betão armado de secção quadrada, colocados no cruzamento entre todos os alinhamentos e vigas de secção rectangular estabelecendo a ligação entre os topos de todos os pilares. Só assim tendo sido possível eliminar as situações de rotura anteriormente identificadas.

Constatou-se assim o comportamento frágil e a falta de ductilidade da estrutura, mas também a efectiva possibilidade de garantir a segurança estrutural perante as condicionantes acções sísmicas, através da introdução de elementos de reforço exequíveis.

CONCLUSÕES

A utilização da terra crua como material de construção apresenta inúmeras vantagens salientando-se, o reduzido custo, o baixo consumo energético, a fácil re-integração na natureza e o bom desempenho termo-higrométrico. Trata-se de um material que quando disponível no local da obra, permite uma poupança directa de custo associado ao transporte de material, bem como um perfeito enquadramento na paisagem, garantido pela compatibilidade de texturas e cores. Outro aspeto relevante diz respeito à possibilidade de reciclagem do material após o fim de vida da construção, uma vez que em caso de demolição, esta não dá origem à produção de resíduos.

Procedeu-se à identificação e caracterização de inúmeras construções em taipa existentes no Algarve, à recolha de amostras e ensaios destas em laboratório.

Com base nos valores obtidos relativos à caracterização mecânica do material foi analisada uma construção no programa SAP 2000 [9]. Esta análise permitiu identificar,

as zonas mais susceptíveis à rotura principalmente por esforços de tracção e corte do material.

Posteriormente foram testadas soluções de reforço estrutural que permitiram atestar uma efetiva melhoria do comportamento sísmico. Contudo, a análise efetuada constitui uma abordagem preliminar, por se tratar de uma análise dinâmica linear, reconhecendo-se que o comportamento frágil das estruturas de terra exige uma análise não linear que possa, mais adequadamente, simular o desempenho estrutural. Num país como Portugal, que apresenta condições bastante favoráveis para a utilização da terra como material de construção, importa assegurar que o trabalho de investigação nesta área tenha continuidade e impulse esta técnica construtiva, quer para edificações ainda existentes e que se torna urgente preservar e reabilitar, quer para construção nova.

Bibliografia

1. Braga, A.; Estevão, J., *Os Sismos e a Construção em Taipa no Algarve*, Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica – Sísmica 2010, Aveiro (2010).
2. CRATerre: Doat, P. et al., *Construire en terre*. École d'Architecture de Grenoble, Paris, France: Editions Parenthèses (1979).
3. E 239-1970 – *Solos, Análise granulométrica por peneiração húmida*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa (1970).
4. Graça, A., *Um contributo para a caracterização mecânica e análise sísmica da construção em taipa*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade de Évora/Universidade do Algarve (2012).
5. Jalali, S., Torgal, F., *Considerações sobre a sustentabilidade da Construção em terra*, 1º Forum Internacional de Tecnologia da Construção, TECCON 2009: Tecnologias associadas ao Processo do Empreendimento de Construção, GEQUALTEC, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (2009).
6. Magalhães, N., *Algarve – Castelos, Cercas e Fortalezas*. Letras várias, Faro (2008).
7. NP EN 196-1, *Métodos de ensaio de cimentos. Parte 1: Determinação das resistências mecânicas*. Instituto Português da Qualidade, Caparica (2006).
8. 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 (2010).
9. *SAP 2000, Computers & Structures, I*. Integrated Software for Structural Analysis & Design, Analysis Reference Manual. Report Version 10.0.1, Berkeley (2005).