

“SISMO-REFORÇO” DE CONSTRUÇÕES DE TERRA CRUA

Maria Idália Gomes* e Jorge de Brito

Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

Rua Conselheiro Emídio Navarro, 1, 1950-062 Lisboa, PORTUGAL

Tel.: +351 218 317 002; Fax: +351 218 317 021; E-mail: idalia.gomes@dec.isel.ipl.pt

Instituto Superior Técnico

Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, PORTUGAL

Tel.: +351 218 418 354; E-mail: jb@civil.ist.utl.pt

Tema 5: Comportamento e Resistência dos Edifícios

Palavras-Chave: Terra crua, Sismo-reforço, Taipa, Adobe

Resumo

As tecnologias tradicionais de construção com terra crua são variadas, com inúmeras adaptações à identidade das culturas e aos lugares de acordo com as diferentes experiências e as formas de pensar da sociedade e da época onde se integram. De entre os vários métodos tradicionais de construção com terra crua, existem dois que se destacam: taipa e adobe. Estas técnicas são utilizadas actualmente com adaptações de novos métodos de processamento e aplicação em obra.

Em Portugal, é imprecisa a origem da utilização da terra crua enquanto material de construção, admitindo-se a existência de construções desse material desde o início do período pré-histórico. As construções em taipa são características da cultura mediterrânea e o reflexo da perspectiva social, económica e cultural de uma época.

Sendo a construção com terra crua uma técnica construtiva simples e de baixo custo, as suas principais vantagens são as excelentes propriedades térmicas e acústicas que oferece. No entanto, estas estruturas são vulneráveis aos fenómenos naturais tais como sismos, inundações e chuvas.

Existe, assim, a necessidade de viabilizar a construção com terra e de realizar mais estudos para que este tipo de construções apresente os níveis de segurança, qualidade e durabilidade actualmente exigidos na construção, nomeadamente a segurança às acções sísmicas. Para isso, há que estudar as várias soluções que devem ser introduzidas numa análise sísmica, para que este tipo de construções possa resistir com segurança a um sismo. Neste artigo, será feito um levantamento de algumas soluções e uma análise da sua eficácia e exequibilidade.

1. Enquadramento

A elaboração deste artigo teve por base um levantamento de algumas técnicas construtivas com terra crua, nas habitações unifamiliares, de forma a estas poderem resistir a um sismo, sem danos graves.

Devido às limitações da terra (fraca resistência mecânica) como material de construção, existe a necessidade de introduzir soluções para minorar os efeitos dos sismos. Surge, assim, a necessidade de aumentar a resistência à acção sísmica, por meio do aumento da ductilidade (1) e de resistência ao corte dos elementos estruturais, permitindo a dissipação de energia e a capacidade de deformação para os níveis de acções estabelecidos regulamentarmente.

A técnica de construir em terra é das mais antigas e mais difundidas em todo o mundo. Estas construções existem há mais de dez mil anos, e desde então foram surgindo novas técnicas construtivas e novos materiais. Contudo, a construção em terra mantém-se até aos dias de hoje por duas grandes razões: utilização de materiais que a geografia local oferece; construção pouco dispendiosa.

Actualmente, as construções em terra subsistem sobretudo em países do Terceiro Mundo. Tal situação prende-se com a escassez de recursos económicos nesses países, o que leva a utilizar matérias-primas de baixo custo.

Presentemente, com todos os problemas energéticos, ambientais, ecológicos e

económicos, está a desenvolver-se um revivalismo da arquitectura em terra um pouco por todos os continentes. Actualmente, cerca de 30% da população mundial vive em construções de terra como, por exemplo: no Peru, 60% das habitações são construídas em adobe ou taipa; na Índia, de acordo com o censo de 1971, 73% de todas as edificações são de terra (2). O uso deste tipo de construções é muito comum em algumas regiões mais propensas aos desastres naturais, particularmente os tremores de terra, como na costa da América Latina, África, Ásia (sobretudo na Índia), Médio Oriente e Sul da Europa (Fig. 1) e (Fig. 2).

2. Comportamento sísmico

Os sismos são provocados principalmente pela interacção das placas tectónicas ou por actividade vulcânica. A forma como um sismo influencia a estrutura não só depende da sua magnitude e do tipo de construção, mas também da profundidade e distância do epicentro, do tipo de solo, da geologia e topografia do terreno, e da sua duração, frequência e aceleração.

A construção tradicional com terra tem uma resposta muito deficiente quando sujeita a movimentos sísmicos. A fraca capacidade destas construções a um abalo sísmico deve-se à sua baixa capacidade de resistência à tracção e ao seu comportamento frágil. Assim, quanto maior for a altura da construção e o seu peso, menor é a sua capacidade para resistir a elevados níveis de forças sísmicas, sofrendo danos estruturais severos que podem provocar o seu colapso.

Quanto maior for a ductilidade e a capacidade de deformação sem colapso, menor terá de ser a resistência duma estrutura. Assim, a qualidade de uma construção “Sismo-Resistente” pode ser expressa pela seguinte “fórmula”: Qualidade estrutural = Resistência × Ductilidade, ou seja, quanto menor for a resistência da estrutura, maior terá de ser a sua flexibilidade (3).

As construções históricas em taipa tinham paredes com uma espessura de cerca de 0,60 a 1,00 m de espessura, suficientemente resistentes para não cederem a um sismo, sem necessitarem de um aumento de flexibilidade. Contudo, hoje em dia, não é economicamente viável construir em taipa com paredes tão espessas. As estruturas em adobe, como têm uma espessura de parede inferior, são menos resistentes, necessitando assim, de alguma flexibilidade. As soluções económicas, em taipa ou adobe, passam a ter uma menor rigidez, necessitando de alguma flexibilidade, para que, quando solicitadas por um sismo, possam deformar-se sem colapsar.

As estruturas, quando sujeitas a um sismo, são principalmente afectadas por forças horizontais, sendo normalmente as forças verticais menos relevantes do que as primeiras. Os principais danos provocados pelo sismo devido às forças horizontais são a queda das paredes e, conseqüentemente, a queda da cobertura. Também é comum a abertura de fendas, a desintegração de paredes, a separação das paredes nos cunhais e a separação dos tectos das paredes, sendo que, em muitos casos, este tipo de danos leva ao colapso da estrutura.

Como não se consegue controlar as características do sismo, deve melhorar-se a resistência da construção quando esta está sujeita a forças horizontais. Os métodos construtivos devem evitar a queda das paredes e, conseqüentemente, o colapso da cobertura, conferindo estabilidade à estrutura, aumentando a sua inércia para absorver as cargas horizontais e assim resistir a um sismo sem danos graves.

3. Melhoramento das construções ao comportamento sísmico

Uma percentagem significativa da população continuará a viver em edificações de terra, devido ao seu baixo custo, pelo que este método construtivo continuará a ser utilizado em áreas de elevado risco ao sismo.

Os factores chave para uma melhoria significativa do comportamento ao sismo deste tipo de construções são a composição da terra e a qualidade de construção. A edificação deve ter uma distribuição simétrica e resistente e poderão ser introduzidas novas tecnologias construtivas, incluindo o reforço sísmico.

Composição da terra e qualidade de construção

O factor que tem maior influência na resistência da edificação com terra crua é o desempenho mecânico do solo usado. Esta característica está directamente relacionada com o processo de secagem do material e a sua resistência final. Sendo a argila o componente mais importante do solo, pelas suas propriedades de coesão, é esta que dá resistência depois do material secar, pelo que a composição granulométrica da matéria-prima é fundamental. Por outro lado, essa resistência pode ser aumentada com a inclusão de aditivos (4). Serão estes dois componentes a controlar a microfissuração durante a secagem do material, o que permite melhorar a capacidade resistente das paredes. A qualidade da mão-de-obra utilizada, nomeadamente na compactação da terra e na pormenorização da ligação entre os vários elementos, é também fundamental para se obter uma construção de boa qualidade.

Distribuição simétrica e resistente

Um dos princípios essenciais da construção “Sismo-Resistente” em terra é a distribuição dos elementos estruturais, de forma homogénea em planta e ligados por estrutura horizontal. O uso de uma geometria adequada tem uma grande importância na estabilidade da construção - quanto mais compacta a estrutura, mais estabilidade terá. Segundo alguns autores, uma geometria em planta quadrada é melhor do que uma rectangular e uma geometria circular é melhor que uma quadrada (Fig. 3). No caso de se optar por uma geometria irregular, por exemplo em forma de U, a solução é menos estável do que a utilização de 3 elementos rectangulares separados (Fig. 4).

Os vãos entre paredes devem ser pequenos e bem distribuídos, com intervalos regulares em ambas as direcções. Devem evitar-se coberturas pesadas e compactas. Segundo alguns autores, como as paredes são os principais elementos de suporte destas construções, é recomendável que tenham as seguintes características:

- a altura da parede não deverá exceder oito vezes a espessura da mesma na sua base e nunca deve ser superior a 3,0 m;
- o comprimento entre paredes transversais não deverá exceder dez vezes a espessura da parede, com um máximo de 7,0 m;
- os vãos não deverão exceder um terço do comprimento total da parede, com um máximo de 1,20 m;
- o comprimento mínimo de parede entre os vãos deverá ser de 0,90 m.

Tecnologias construtivas melhoradas, incluindo o reforço sísmico

As construções com terra devem ser adequadamente reforçadas para resistirem às solicitações sísmicas. O reforço das paredes pode ser horizontal e vertical, podendo utilizar-se qualquer material dúctil incluindo: cana, bambu, junco, madeira ou mesmo rede de galinheiro.

O reforço vertical ajuda a manter a integridade da parede, fixando-se à viga de bordadura, restringindo a flexão perpendicular ao plano da parede e aos esforços de corte.

O reforço horizontal ajuda a transmitir a flexão e as forças de inércia das paredes transversais para as paredes que resistem ao corte, estando estas no mesmo plano da solicitação. Este reforço também restringe os esforços de corte entre as paredes adjacentes e minimiza a propagação das fissuras verticais.

Os reforços (vertical e horizontal) devem estar unidos entre si e com os restantes elementos estruturais: viga de ensoleiramento, viga de bordadura e cobertura. Esta união faz com que a estrutura fique confinada, criando um diafragma entre as fundações e as paredes exteriores, e entre estas e a cobertura.

Como reforço vertical, pode-se utilizar canas de bambu, as quais se inserem dentro de alvéolos (Fig. 6), entre os tijolos de adobe, ancoradas à viga de ensoleiramento e fixas à viga de bordadura, enchendo posteriormente os alvéolos com uma mistura de terra. Estes devem ter um diâmetro mínimo de 0,05 m. Como reforço horizontal, utilizam-se

tiras de canas de bambu colocadas horizontalmente em cada quatro fiadas de tijolo de adobe (no máximo). Estas tiras deverão ser amarradas nos seus encontros, de forma a não se deslocarem (Fig. 7). Deve reforçar-se a junta que coincide com a parte inferior e superior de todos os vãos, incluindo os vãos das portas e janelas. As canas a utilizar devem estar maduras, secas e limpas.

A estrutura deve ter um funcionamento rígido, impedindo a fissuração das paredes. A técnica de reforço das paredes consiste em embutir e pregar uma malha electrossoldada (Fig. 8), à parede com arames, horizontal e/ou verticalmente nas faces exteriores e interiores destas, nos cunhais (Fig. 9) e nos encontros com outras paredes. Isto porque estas zonas são bastante vulneráveis quando sujeitas a acções sísmicas. Após a construção da cobertura, a parede deve ser rebocada com uma mistura de areia e cimento, na zona reforçada (Fig. 10).

A colocação da viga de bordadura é um dos factores essenciais para a resistência deste tipo de construção. Esta viga é um elemento de união na zona superior das paredes, ligando estas de forma consistente segundo uma estrutura reticulada horizontal. Deve ser suficientemente forte e contínua, devendo estar bem amarrada às paredes. Para tal, pode colocar-se nas esquinas das paredes e nos encontros com outras paredes, um dente em betão armado (Fig. 11). Este, em conjunto com a viga de bordadura, não só confere à estrutura estabilidade, impedindo os deslocamentos laterais, como evita as fissuras verticais na zona superior das paredes e a perda de união entre as esquinas. A viga de bordadura tem também como função receber as cargas impostas pela cobertura e suportar as mesmas, podendo ser construída em betão armado (Fig. 12) ou em madeira.

Outra técnica utilizada é a construção de gigantes e contrafortes com o intuito de conferir estabilidade à construção e permitir um aumento da inércia de forma a absorver as cargas horizontais originadas por um sismo (Fig. 13). Devem ser colocados nos pontos críticos suportando a parede e evitar o desmoronamento da mesma, melhorando o seu comportamento.

4. Conclusão

Pelo facto de a construção em terra ser uma solução sustentável e pouco dispendiosa em termos energéticos, é nos países menos desenvolvidos e, em geral, com grande risco sísmico, que são mais utilizadas.

Apesar de este tipo de construção integrar algumas soluções empíricas, resistentes às acções sísmicas, estas ainda não são suficientes para tornar este método construtivo viável, respeitando sobretudo o objectivo de proteger a vida humana em situações de catástrofe.

Actualmente, é possível reforçar este tipo de estruturas, através de diferentes metodologias, como as aqui descritas (Fig. 14). Um sismo, mesmo de fraca intensidade, pode provocar grandes danos estruturais numa construção pouco cuidada. Verifica-se desta maneira a necessidade de introduzir soluções para atenuar as limitações da terra. Surge, assim, a necessidade de realizar mais estudos, criar metodologias e normas para que se possa viver neste tipo de construção com mais qualidade, durabilidade e criar-se uma construção sustentável com segurança.

Bibliografia

- Associação dos Arquitectos Portugueses: Arquitectura Popular em Portugal. Lisboa, 3ª edição, 1988.
- BLONDET, Marcial; GARCIA, Gladys Villa; BRZEV, Svetlana: Contruccion de Adobe Resistentes a los Terramotos: Tutor, 2003 Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, California 94612 - 1934, Editora Marjorie Greene, EERI. Versão Scott Hagie, John Martin and Associates. Abril 2003.
- BLONDET, Marcial; Garcia, Gladys Villa; LOAIZA, César: Viviendas Sismorresistentes de Tierra?: Una Visión a Futuro. XIV Congreso Nacional de Ingeniería Civil - Iquitos 2003. Capitulo de Ingeniería Civil del Consejo Departamental de Loreto del Colegio de Ingenieros del Perú.
- CIQUERO, Luís Zegarra; WONG, Daniel Quiun; SAN BARTOLOMÉ, Ángel - Técnicas para el Reforzamiento Sísmico de Viviendas de Adobe.
- OLIVEIRA, Ernesto de; VEIGA, Fernando Galhano; PEREIRA, Benjamim: Construções Primitivas em Portugal. Publicações Dom Quixote.
- DETHIER, Jean: Architectures de Terre - Ou l'avenir d'une tradition millénaire. Éditions du Centre Pompidou, Paris.
- Elementos Técnicos y estrategia institucional para la disminución del riesgo y de la dimensión de futuros desastres - Proyecto de reconstrucción con inclusión de la gestión de riesgo. Perú. Eschborn, 2003.
- MINKE, Grenot: Construction Manual for Earthquake - Resistant Houses Built of earth, Dezembro 2001.
- MORALES, Roberto Morales; CABREIJOS, Rafael Torres; RENGIFO, Luís A.; CANDIOTTI, Carlos Irala: Manual para la Construcción de Viviendas de Adobe. Perú.
- SAN BARTOLOMÉ, Angel; PEHOVAZ, Richard: Comportamiento a Carga Lateral Cíclica de Muros de Adobe Confinados. Pontificia Universidad Católica do Perú.
- TEIXEIRA, Gabriela de Barbosa; BELÉM, Margarida da Cunha: Diálogos de Edificação - Técnicas Tradicionais de Construção. CRAT.
- ZEGARRA, Luís; WONG, Daniel Quiun; SAN BARTOLOMÉ, Ángel: Comportamiento ante el terremoto del 23-06-2001 de las viviendas de adobe reforzadas en Moquegua, Tacna y Arica. Proyecto GTZ-CERESIS-PUCP, Etapa 3.

Notas

- (1) Aptidão da estrutura se deformar antes da rotura, devido à capacidade de a mesma absorver energia (de um sismo ou outra acção cíclica)
- (2) *In* Construcciones de Adobe Resistentes a los Terremotos
- (3) Grohmann 1998
- (4) Palha é um exemplo de aditivos, para melhorar a capacidade de resistência à tracção

Curriculum dos Autores:

M^a Idália Gomes

Assistente no Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Mestranda em Construção no Instituto Superior Técnico.

Jorge de Brito

Eng. Civil, Mestre em Eng.^a de Estruturas e Doutorado em Eng.^a Civil, sempre pelo IST, onde é Professor Associado e exerce a sua actividade de docência e investigação, nomeadamente na área da construção em terra, onde tem diversos trabalhos publicados e orienta vários projectos de investigação.

“SISMO-REFORÇO” DE CONSTRUÇÕES DE TERRA CRUA

Maria Idália Gomes* e Jorge de Brito

Figuras

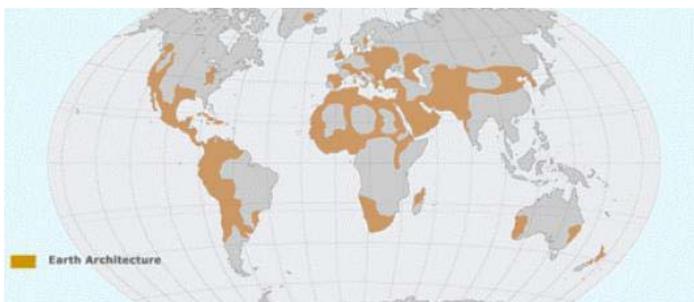


Fig. 1 - Distribuição mundial de arquitectura em terra. *In Construcciones de Adobe Resistentes a los Terremotos*



Fig. 2 - Distribuição das zonas com actividade sísmica com intensidades altas e moderadas. *In Construcciones de Adobe Resistentes a los Terremotos*

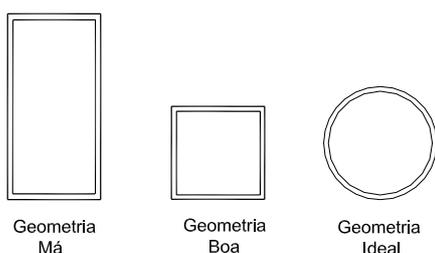


Fig. 3 - Geometria da edificação no plano

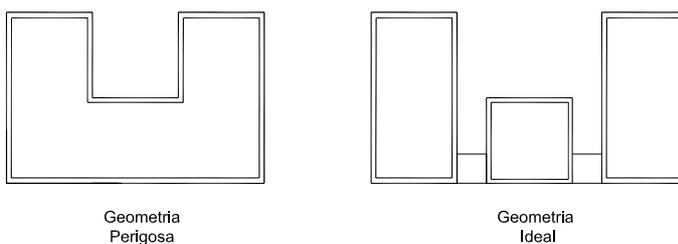


Fig. 4 - Solução para uma geometria no plano de uma edificação em U

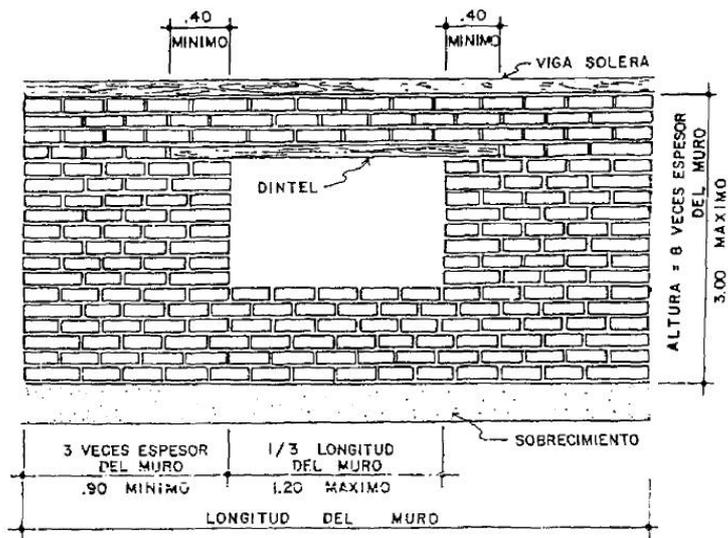


Fig. 5 - Recomendações para a construção de muros em adobe. *In Manual para la Construcción de Viviendas de Adobe*



Fig. 6 - Colocação do reforço vertical com canas de bambu, e reforço horizontal com rede de galinheiro, El Salvador. *In Construcciones de Adobe Resistentes a los Terremotos*



Fig. 7 - Colocação do reforço vertical e horizontal na edificação com canas de bambu, Peru. *In Construcciones de Adobe Resistentes a los Terremotos*



Fig. 8 - Colocação da malha electrossoldada na parte exterior da edificação. *In Elementos Técnicos y estrategia institucional para la disminución del riesgo y de la dimensión de futuros desastres - Proyecto de reconstrucción con inclusión de la gestión de riesgo. Perú*



Fig. 9 - Colocação de malhas electrossoldadas em tiras verticais nas esquinas e tiras horizontais na zona superior da parede. *In Técnicas para el Reforzamiento Sísmico de Viviendas de Adobe*



Fig. 10 - Colocação de uma camada de argamassa de cimento e areia, na zona reforçada com malha electrossoldada. *In Técnicas para el Reforzamiento Sísmico de Viviendas de Adobe*



Fig. 11 - Malha electrossoldada cravada numa parede de adobe, onde já existe o espaçamento para colocar o dente que irá ficar ligado à viga de bordadura. *In Técnicas para el Reforzamiento Sísmico de Viviendas de Adobe*



Fig. 12 - Construção de uma viga de bordadura em betão armado, em El Salvador. *In Construcciones de Adobe Resistentes a los Terremotos*



Fig. 13 - Utilização de contrafortes numa habitação na Atalaia

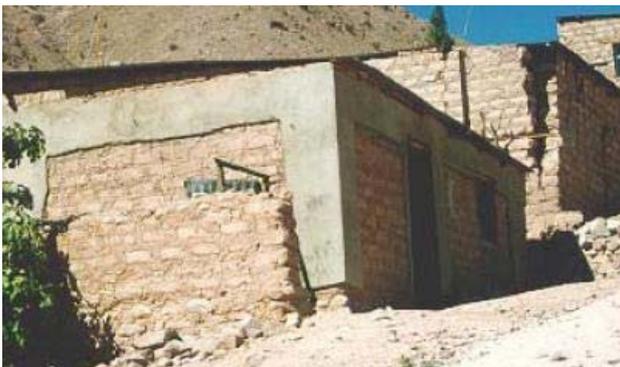


Fig. 14 - Habitação com reforço de malha electrossoldada sem danos (primeiro plano). Atrás encontra-se uma casa sem reforço, estando severamente afectada depois do sismo de Arequipa, Peru em 2001. *In Comportamiento ante el terremoto del 23-06-2001 de las viviendas de adobe reforzadas en Moquegua, Tacna y Arica*