

20_25

A EVOLUÇÃO DA CONSTRUÇÃO: MATERIAIS, TÉCNICAS E EQUIPAMENTOS ABOBADILHA, ABÓBADA DE TIJOLEIRAS AO BAIXO, BÓVEDA TABICADA OU ABÓBADA LUSITANA?

António Sousa Gago, CERIS, Civil Engineering Research and Innovation for Sustainability, IST, DECivil, Universidade de Lisboa, antonio.gago@tecnico.ulisboa.pt

Júlio Palomino Anguí, Diedro Arquitectura, Guadalajara, diedroarquitecturaslp@gmail.com

Manuel Fortea Luna, Universidad de Extremadura, fortea@unex.es

João Rei, CINAMIL, Academia Militar, Portugal, jcmrei@gmail.com

A pressão imobiliária e os investimentos na área do turismo conduziram a uma importante valorização das construções nos centros históricos das áreas urbanas. Nesse processo, o grande público aprendeu a valorizar as características próprias das construções antigas, exigindo a preservação de muitos dos seus aspetos essenciais. Esta nova atitude facilitou e promoveu uma nova abordagem por parte dos técnicos, engenheiros civis e arquitetos, que reaprenderam e potenciaram algumas das antigas técnicas construtivas. Nem todas as técnicas têm tido igual atenção e aquelas que envolvem o desempenho estrutural são, ainda, olhadas com enorme desconfiança. O caso das construções arqueadas em alvenaria, arcos, abóbadas e cúpulas, é um dos mais significativos. É indiscutível a sua resistência e durabilidade, beleza e qualidade habitacional dos espaços que envolvem, e os custos e tempos de execução não são, na prática, muito diferentes daqueles que se conseguem nas construções modernas, desde que executados com equipas experientes.

As abóbadas tradicionais da zona sul da Península Ibérica, construídas com tijolos de pequena espessura, também designadas por tijoleiras, colocados com a sua maior dimensão

segundo a geratriz da curva arqueada, e que se descrevem no presente artigo, são um exemplo de uma técnica construtiva tradicional que foi abandonada, mas que apresenta vantagens face à construção corrente em betão armado. Do ponto de vista construtivo é de realçar o facto de estas abóbadas, designadas popularmente por abobadilhas ou abóbadas finas de tijolo, serem construídas sem cimbra (ou com sistemas muito ligeiros) e de dispensarem tempos de cura ou de presa, o que reduz significativamente os prazos e os custos de execução. São estruturas muito esbeltas, mas de elevado desempenho estrutural e que permitem que se vençam vãos significativos (existem exemplares com 12 metros, sendo 6 metros uma dimensão corrente). Por outro lado, é uma técnica sustentável do ponto de vista ambiental e que confere aos espaços boas condições de habitabilidade e de conforto térmico e acústico.

Em Portugal, são poucos os mestres ainda capazes de reproduzir esta técnica, que caiu praticamente em esquecimento. Em Espanha, embora ainda em pequena quantidade, é de salientar uma maior divulgação e aplicação, sobretudo na região da Extremadura e Valência. A existência de casos de aplicação recente

em Espanha deve-se sobretudo às ações de divulgação e de ensino protagonizadas pelo “Taller de Bóvedas Tabicadas”. Em Portugal teve lugar recentemente, em janeiro de 2018, um “workshop” sobre a construção deste tipo de abóbadas, no qual se ensaiaram diversas tipologias (Figura 1).

O presente artigo pretende dar a conhecer a técnica das abobadilhas, as suas possibilidades e os procedimentos construtivos, com o objetivo de contribuir para a sua divulgação e inovação no seio da construção civil em Portugal e na península Ibérica.

ORIGENS E TIPOLOGIAS DA ABOBADILHA

As abobadilhas são abóbadas construídas com tijolos planos, ou tijoleiras, colocados na sua menor dimensão e unidas pelas suas faces, formando várias camadas. A abobadilha é normalmente construída sem recurso a cofragem, utilizando-se um ligante de secagem rápida, tradicionalmente o gesso, ou, mais recentemente, argamassas de cimento rápido. A curvatura destas abóbadas é cuidadosamente definida na fase de execução, de forma a permitir a sua construção sem utilização de



> 1



> 2

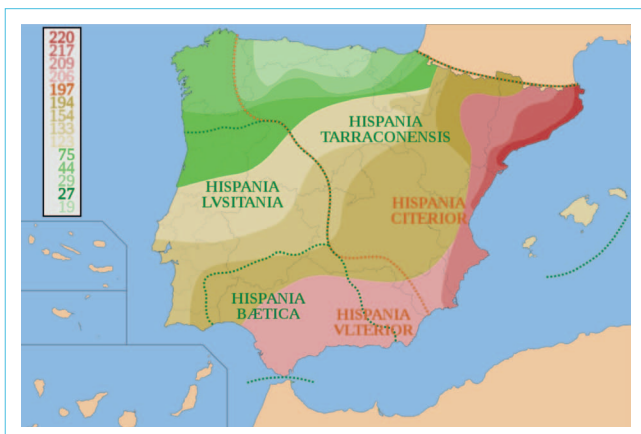
estruturas de suporte intermédias (Figura 2). Este tipo de construção abobadada nasceu na região de Al-Andalus (território Ibérico de influência muçulmana), mais especificamente em Almeria, por volta do século XI, onde as técnicas de construção de Bizâncio se juntaram com a abundância de excelentes pedreiras de gesso. A técnica espalhou-se por toda a região de Al-Andalus e, por extensão, para toda a Península Ibérica. Na Extremadura espanhola e no Alentejo português, desenvolveu-se um tipo de abobadilha singular, que em Espanha é chamada de bóveda extremeña e em Portugal de abobadilha alentejana. A disseminação territorial desta técnica coincide com a antiga

província romana Hispania Lusitana, cuja capital era Emerita Augusta, hoje Mérida, em Espanha (Figura 3), pelo que os autores sugerem que se adote para este tipo de abóbadas a designação de abobadilha Lusitana.

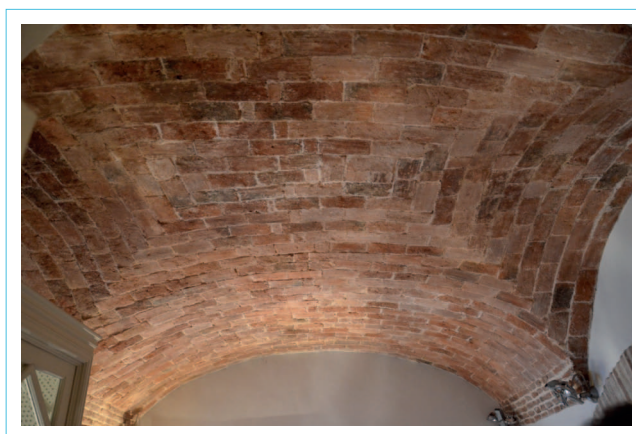
Tendo em conta a sua forma, as abobadilhas podem dividir-se em vários grupos. A variante de aresta, também designada por extremeñas, ou lusitaneas, de acordo com a designação proposta (Figura 4), que se estende pela região da Extremadura Espanhola e pela região fronteiriça portuguesa do Baixo Alentejo, onde é popularmente designada por abobadilha alentejana. Estas abobadilhas são executadas com tijolos furados ou maciços, de pequena

espessura, geralmente numa única camada formando dois arcos elípticos (na verdade, dois toróides) que se cruzam no centro, formando, assim, arestas a partir cantos.

A variante designada por abobadilha de vela (Figura 5), também designada por abóbada catalã, ou valenciana por alguns autores, executa-se por intermédio de várias camadas de tijolos finos de muito pouco peso. A primeira camada é assente com gesso e as outras (o chamado dobrado) são assentes sobre essa, com recurso a argamassas correntes (de cal e areia, argamassas bastardas ou mesmo com cimento). Em geral, a orientação dos tijolos ou tijoleiras nas diversas camadas é



> 3



> 4

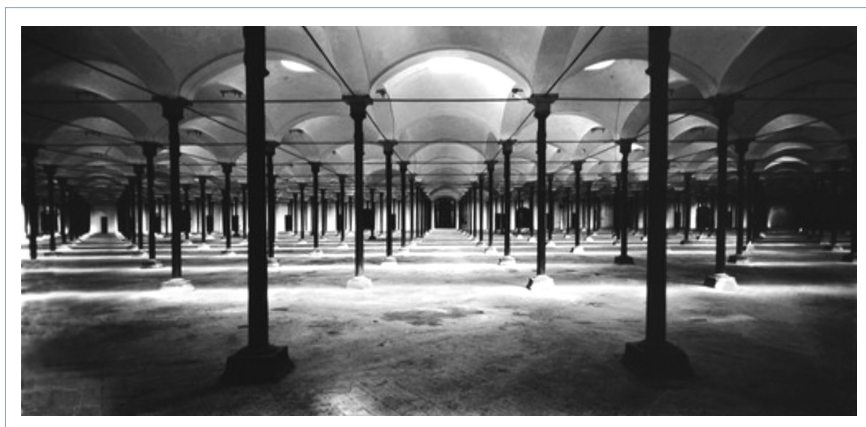
> Figura 1: 1.º Workshop Português sobre Abobadilhadas, janeiro de 2018 [créditos António Sousa Gago].

> Figura 2: Execução de abobadilha sem recurso a cimbre (Nota: a estrutura presente na imagem é uma estrutura utilizada, fundamentalmente, para manter constante a geometria da abóbada ao longo do processo construtivo) [créditos Júlio Palomino Angui].

> Figura 3: Localização da província romana Hispania Lusitania [créditos wikipédia].

> Figura 4: Abóbada extremeña, de aresta ou Lusitanea [créditos António Sousa Gago].

PROCEDIMENTOS CONSTRUTIVOS



> 5

Na execução das abobadilhas era, usualmente, utilizado um tijolo cerâmico maciço de barro vermelho, conhecido por “tijolo burro” ou “tijoleira”. Esses elementos apresentavam dimensões próximas de 300x150 mm² e espessuras de 35 ou 70 mm, consoante se destinassem à execução da abobadilha propriamente dita (35 mm) ou ao carregamento da mesma (70 mm), caso em que se designam por “tijolo lambaz”. De modo a permitir a execução da abóbada sem cimbra, a argamassa de assentamento deve ganhar presa quase instantaneamente, permitindo a colagem provisória dos elementos, antes de se fechar, em compressão, os alinhamentos dos elementos. Em geral, a argamassa deverá ter um desempenho tal que endureça em menos de 20 segundos de exposição ao ar, permitindo suportar o elemento argamassado em duas das suas arestas, independentemente da sua posição, mesmo que próxima da horizontal. Este resultado era obtido com uma mistura de cal e gesso, sem areia, misturando, em volume, três partes de ligante para duas partes de gesso. O ligante utilizado era a cal gorda, a qual veio a ser substituída pela cal hidráulica e, mais recentemente, pelo cimento Portland. Em certas situações usava-se, também, areia, com uma composição 3:1 (três de gesso para um de areia, em volume).



> 6

A construção deste tipo de abóbadas inicia-se nas paredes de apoio (ou pés-direitos), as quais desempenham um papel fundamental na estabilidade da construção. Como acontece em todos os elementos arqueados, as paredes devem ter resistência suficiente para suportar as cargas transmitidas pela abobadilha, em particular a sua componente horizontal, usualmente designada por “empuxe”. Assim, as paredes devem ter uma espessura adequada para que se mobilize o peso próprio estabilizante necessário. Tradicionalmente, para garantir essa mobilização, considerava-se a seguinte regra prática: o peso por metro linear do troço de parede acima das nascenças, incluindo o

cruzada, de modo a aumentar a resistência final da construção. A sua inclinação é, em geral, menos acentuada que a das abóbadas de aresta, arrancando de paredes ou arcos, com pouca inclinação e formando uma curva suave para o centro. Assim, não se formam arestas e estas abóbadas assemelham-se a um lenço suspenso pelos seus cantos (pañuelo em espanhol - daí a denominação espanhola de abóbada de pañuelo).

As abóbadas da escada (Figura 6) servem, como o nome indica, para formar a pendente das escadas e constroem-se como as anteriores, embora quase sempre com várias camadas, assemelhando-se às abóbadas de vela. Este modo construtivo foi muito usado em quase toda a Espanha, e, mesmo hoje, apresenta vantagens económicas em relação a outras soluções porque se executa sem cimbra.

> Figura 5: Abóbada de vela - Fábrica de Can Batlló em Barcelona, projeto de Rafael Guastavino [créditos <https://mtvo-bcn.blogspot.pt/2011/12/can-batllol1849-1889-la-ciudad.html>].
 > Figura 6: Abóbada de escada [créditos Júlio Palomino Angui].

peso da abobadilha e do enchimento até aos rins, devia ser três vezes o peso da parte da abobadilha situada acima dos rins. No entanto, hoje em dia, com os conhecimentos de mecânica estrutural atuais é possível fazer análises mais rigorosas, em função da dimensão do vão das abóbadas e da sua flecha. O apoio da abobadilha nas paredes laterais era realizado através da abertura de roços nas paredes, de modo a garantir uma adequada ligação. Assim, o primeiro passo da execução duma abobadilha era o seu traçado nas paredes envolventes. Após o traçado da abobadilha nas paredes envolventes, fixavam-se cordéis nos pontos correspondentes às juntas, de modo a definir os extremos de cada uma das fiadas durante o seu assentamento. As fiadas eram, então, assentes de forma que as juntas dos tijolos se fossem desencontrando, quebrando-se o tijolo quando necessário para o efeito. Normalmente, as abobadilhas eram executadas das extremidades para o centro, de forma uniforme e contínua. Do lado do intradorso da abobadilha, os tijolos devem ficar bem ajustados e praticamente em contacto, isto é, com uma junta de espessura desprezável, o que obriga a argamassa a refluir para o lado do extradorso. A geometria das superfícies e os procedimentos construtivos eram sempre executados de forma a que os elementos formassem alinhamentos de arcos, todos em compressão, o que permitia garantir a estabilidade da abóbada durante o processo construtivo (sem cimbre) e na fase final. Estes procedimentos são aqueles que ainda se utilizam, com sucesso, nos dias de hoje, se bem que a tijoleira cerâmica artesanal possa ser substituída por tijolos cerâmicos industriais de menor custo, menor peso e melhor isolamento térmico. Na Figura 7 apresentam-se imagens de diversas fases do procedimento construtivo.

WORKSHOPS

O grupo “Taller de Bóvedas” foi formado em 2012 por um grupo de profissionais (Manuel Fortea, Julio Jesús Palomino e René Machado)



> 7

e tem-se mantido ligado ao grupo de pesquisa do MUPAAC Master of Architecture of Alcalá, dirigido por M^a Rosa Cervera. Desde então, o grupo envolveu-se em trabalhos de divulgação e recuperação da técnica construtiva das abobadilhas, realizando cursos, conferências e workshops, sem descurar a sua aplicação na prática profissional. A parte mais importante deste trabalho tem sido a organização de workshops teóricos e práticos, designados por “tallers” onde as várias facetas do projeto, construção, reparação e análise do comportamento estrutural são postas em prática (Figura 8).

Acredita-se que a recuperação da técnica construtiva das abobadilhas só é possível se se conseguir ganhar a confiança dos atores da construção e dos seus utilizadores. Por essa razão, nos cursos organizados procurou-se uma ampla variedade de alunos, desde

engenheiros civis, arquitetos, estudantes, pedreiros, restauradores ou historiadores, que enriqueceram com as suas visões particulares o desenvolvimento dos workshops.

O grupo “Taller de Bóvedas” organizou desde 2013, seis workshops sobre abobadilhas, cinco em Espanha e, em janeiro de 2018, o primeiro em Lisboa. Os primeiros workshops foram realizados com modelos simples, em que os fundamentos da técnica foram explicados. Em 2015, estudaram-se as técnicas de reparação das estruturas existentes e a capacidade de carga após essa intervenção. Em 2016, experimentaram-se estruturas assimétricas e grandes vãos, onde se construiu (e ensaiou) um modelo de 12 metros de vão (Figura 9). Em 2017, o tema do workshop foi ampliado para incluir fenómenos associados à construção de estruturas de alvenaria em ambientes vulneráveis, nomeadamente

> Figura 7: Fases do processo construtivo duma abobadilha (créditos António Sousa Gago).



> 8



> 9



> 10

o efeito da ação dos sismos. Em 2018, o grupo ampliou sua área de influência e associou-se ao Instituto Superior Técnico, da Universidade de Lisboa, o que permitirá realizar ensaios nos modelos de forma mais rigorosa e, assim, extrair dados para o projeto, construção ou reparação das estruturas em abobadilha.

O desafio destes workshops é reunir cada vez mais profissionais, de diferentes campos, empresas de construção, pedreiros, fornecedores de materiais, arquitetos e engenheiros civis, e motivar a recuperação das abobadilhas degradadas e fomentar a sua utilização nas novas construções (Figura 10).

POSSIBILIDADES DA TÉCNICA

Embora esta técnica tenha, de forma geral, vindo a perder protagonismo nos países do Sul da Europa, assiste-se recentemente à sua aplicação em projetos-piloto em África (e.g. África do Sul e Etiópia) e na Índia, onde não existiam indícios da sua utilização. Sendo estruturalmente eficientes, elegantemente simples e ambientalmente sustentáveis, as abobadilhas têm vantagens para a construção em áreas em desenvolvimento, mas não só. Quando comparadas com a construção convencional, este sistema oferece poupanças de material, redução de resíduos e emprego

local com aplicabilidade em projetos futuros. Por estas razões, a tecnologia das abobadilhas está a ser recuperada na Península Ibérica, em particular em Espanha, no âmbito das obras de reabilitação e reconstrução, mas também em algumas construções novas.

As potencialidades da solução têm, também, sido utilizadas em novas construções e com novas geometrias. Existem algumas equipas de investigação que trabalham com abobadilhas, nomeadamente, a Fundação Norman Foster, os grupos do Politécnico de Zurique (Block Research Group – Institute of Technology in Architecture, ETH Zürich), da Universidade de Cambridge (The Martin Centre for Architectural

> Figura 8: Workshops teóricos e práticos (créditos Júlio Palomino Anguí).

> Figura 9: Exemplar de 12 metros de vão, executado no workshop de 2016 (créditos Júlio Palomino Anguí).

> Figura 10: Exemplo de utilização dum abobadilha numa construção nova (créditos Manuel Fortea Luna).

and Urban Studies, University of Cambridge) e do Massachusetts Institute of Technology (MIT) e outros. Quase todos estes grupos trabalham em projetos paramétricos, com programas computacionais avançados para geração de geometrias complexas (Figura 11). Em Espanha, existem vários grupos de investigação em torno dos núcleos de Valência, Barcelona, Madrid e Alcalá e Extremadura e em Portugal, o Instituto Superior Técnico tem desenvolvido investigação nesta área, no âmbito da atividade do seu centro de investigação CERIS - Civil Engineering Research and Innovation for Sustainability.

CONCLUSÕES

Sendo a técnica construtiva das abobadilhas uma técnica tradicional, é evidente a necessidade da sua reutilização no âmbito da reabilitação do património construído. No entanto, outras hipóteses para a sua utilização se levantam, dadas as potencialidades da técnica e as novas preocupações e exigências do público.

Para situações correntes, as abobadilhas correspondem a níveis de segurança estrutural adequados às exigências atuais e podem resultar em poupanças, em virtude de maiores velocidades de execução e do consumo de materiais de baixo custo. Não obstante, envolvem, em geral, mão-de-obra com alguma especialização, o que pode (ou não) acarretar mais custos de mão-de-obra. Em todo o caso, a técnica requer um número de operários reduzido e apenas uma especialidade, o pedreiro. Por outro lado, tratando-se de uma técnica de construção muito versátil, capaz de se adaptar aos mais variados tipos de plantas e a diferentes situações de carregamento, leve e de elevada durabilidade, poderá ser utilizada no contexto de novas construções com geometrias e formas arrojadadas. ■

CONCLUSÕES

- [1] Rodrigues, M., "Nota sobre estruturas de abobadilha de tijolo", Relatório de Tirocinio, LNEC, 1954.
- [2] Fidalgo, C., "As abobadilhas alentejanas", Atas do 2º ENCORE, LNEC, Portugal, 1994.
- [3] d'Aguiar, J., "Abobadilhas de tijolo no Alentejo", Revista de Engenharia Militar, 1899.

- [4] Ramage M., Ochsendorf J. and Rich P., "Sustainable Shells: New African vaults built with soil-cement tiles", Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium, Valencia, Spain, 2009.
- [5] Block P., DeJong M., Lara D. and Ochsendorf J., "Tile vaulted systems for low-cost construction in Africa", ATDF Journal, 2010, 7 (1/2).
- [6] Calcedo, J.; Fortea Luna, M.; Rodriguez, A., "Análisis comparativo en base a la sostenibilidad ambiental entre bóvedas de albañilería y estructuras de hormigón", Revista de Ingeniería de Construcción, Vol. 27, Nº 1, 2012.
- [7] Fortea Luna, M.; Bernal V., "Bóvedas de Ladrillo. Proceso Constructivo y Análisis Estructural de Bóvedas de Arista", Editorial de los Oficios S.L., 2001.
- [8] Fortea Luna, M.; Bernal V., "The timbrel vault (Extremaduran vault)", Proceedings of the First International Congress in Construction History, Madrid, Spain, 2003
- [9] Rei J.C.M., Gago A.M.C.S. e Santos J.M.M., "Abobadilha alentejana, uma técnica de construção imemorial", Atas das 5as Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas, Lisboa, Portugal, 2014.
- [10] Rei J., Gago A., "Timbrel vault, a traditional constructive technique", Proceedings of the 3rd International Conference on Protection of Historical Constructions PROHITEC 17, Lisbon, Portugal, 2017.
- [11] Fortea Luna M., "Origen de la bóveda tabicada", Centro de Oficios de Zafra, Zafra, España, 2008.
- [12] Palomino J., Fortea Luna, M., "Taller de bóveda tabicada", Chiloeches, Guadalajara, España, 2014.
- [13] <https://mtvo-bcn.blogspot.pt/2011/12/can-batlo1849-1889-la-ciudad.html>.



> 11

NOTA

Uma versão mais detalhada deste artigo pode ser consultada no site da Construção Magazine.

> Figura 11: Protótipo do conceito de aeroporto de drones apresentado na Bienal de Veneza de 2016 pela Fundação Norman Foster (créditos Nigel Young e The Norman Foster Foundation).