

ABOBADILHA ALENTEJANA, UMA TÉCNICA DE CONSTRUÇÃO IMEMORIAL



João Rei

TCor Eng Mil
Academia Militar
Lisboa
jcmrei@gmail.com



António Sousa Gago

Professor Auxiliar
ICIST-DECivil-IST
Instituto Superior Técnico
Universidade de Lisboa
antonio.gago@tecnico.ulisboa.pt



Jorge Santos

Alf Al Eng
Academia Militar
Lisboa
Jsanto_gk@hotmail.com

SUMÁRIO

Na presente comunicação faz-se uma retrospectiva sobre uma solução construtiva de pavimentos abobadados, tradicionalmente utilizada nas regiões a Sul de Portugal e habitualmente designada por *abobadilha alentejana*. Apesar de se tratar duma técnica de construção imemorial, o seu interesse não reside apenas numa perspectiva da conservação do património edificado. Na verdade, devido à sua beleza, ao seu desempenho estrutural e às suas características de isolamento térmico e acústico, estas soluções têm vindo a ser utilizadas em algumas intervenções recentes, sobretudo naquelas onde os aspectos da sustentabilidade das construções são prioritários. Na presente comunicação faz-se um enquadramento histórico desta solução construtiva, descrevem-se os seus princípios construtivos, os materiais, as dimensões e geometria e avalia-se o seu desempenho estrutural através de modelos tridimensionais de elementos discretos.

Palavras-chave: abóbada, alvenaria e *abobadilha alentejana*.

1. INTRODUÇÃO

A reabilitação do património construído tem, desde há algum tempo, grande importância no panorama da construção civil em Portugal e na Europa. Nos tempos mais recentes, as preocupações de sustentabilidade ambiental têm ganho relevância e as acções de reabilitação em edifícios tradicionais têm sido desenvolvidas seguindo uma ótica de preservação do património arquitectónico e de manutenção da sustentabilidade ambiental e económica da construção.

As estruturas abobadadas, utilizadas nas construções em alvenaria desde tempos imemoriais, são elementos de grande relevância arquitectónica e essenciais no desempenho estrutural, térmico e acústico de muitas construções tradicionais. No entanto, têm sido relativamente pouco estudadas e pouco se sabe sobre o desempenho e métodos construtivos desses elementos. Em particular, sabe-se pouco no que se refere às abobadas tradicionais das regiões portuguesas do Alentejo e do Algarve, usualmente designadas por *abobadilhas alentejanas*, que se executavam sem recurso a cimbres e que partilham características comuns com construções similares de outros países mediterrânicos, Europeus e do Norte de África, como é o caso das *bóvedas tabicadas* em Espanha, das *voûtes à la Roussillon* em França e das *volte in folio* ou *a la volterrana* em Itália. No entanto esta técnica construtiva foi difundida um pouco por todo o mundo, havendo exemplos da sua aplicação nos Estados Unidos da América, em alguns países da América do Sul, na Ásia, de onde se pensa ser originária, e, mais recentemente, na África Subsariana.

A designação *abobadilha* (em português) ou *bóveda tabicada* (em espanhol) refere-se a abóbadas executadas com elementos cerâmicos colocados ao baixo, isto é, com a sua maior dimensão segundo a superfície da abóbada, em oposição às abóbadas correntes em que os elementos cerâmicos são colocados ao cutelo, isto é, com a sua maior dimensão normal ao desenvolvimento da superfície arqueada.

O presente artigo debruça-se sobre as *abobadilhas alentejanas*, típicas das regiões do Alentejo e Algarve, descrevendo-se a sua geometria, as técnicas construtivas e processos de construção, sem recurso a cimbra, procurando dar um contributo para o conhecimento desta técnica construtiva difundida por muitos países do Mediterrâneo. O comportamento estrutural desta técnica é, também, analisado no presente artigo, recorrendo-se a modelos tridimensionais de elementos discretos para simulação do seu desempenho estrutural.

2. ORIGEM E EVOLUÇÃO DAS ABOBADILHAS

A abóbada terá resultado da generalização do arco, cuja invenção supõe-se ter ocorrido na Mesopotâmia e no Egito há uns 6000 anos [1]. Na Babilónia e no Egito identificaram-se

exemplos de construção de abóbadas de canhão com cerca de 5000 anos, executadas sem cimbres, através da técnica dos leitos inclinados¹ [2].

Não há certeza quanto à origem da técnica de construção de abóbadas sem cimbres do tipo *abobadilha*, mas atendendo às informações recolhidas por Auguste Choisy e Marcel Dieulafoy [3], esse feito poderá ter sido da engenharia Persa Aqueménida (648 a.C.-330 a.C) que tinha amplo conhecimento dos sistemas de construção abobadados.

Quanto à disseminação das abóbadas do tipo *abobadilha*, pelos países do sul da Europa, existem diferentes opiniões. Alguns autores atribuem a sua origem à engenharia romana que a usava como cofragem para a execução de abóbadas de betão [4]. Outros defendem a sua génese na cultura construtiva popular medieval, enquanto um terceiro grupo valoriza a influência islâmica na sua implantação na Europa. Esta última hipótese está de acordo com o facto das mais antigas aplicações desta técnica em território nacional serem, aparentemente, contemporâneas da presença muçulmana na Península Ibérica. No entanto, datar o nascimento das *abobadilhas* não é tarefa fácil em virtude da ausência de documentação escrita sobre esta matéria, especialmente em português, e da escassa informação disponibilizada por provas arqueológicas. De facto, no que diz respeito à Península Ibérica, a primeira referência escrita relativa a edifícios construídos com esta técnica remonta aos séculos XII e XIII, na zona sudeste de Espanha [5].

Desde os tempos da construção de abóbadas de canhão sem cimbres com recurso à técnica dos leitos inclinados até aos nossos dias, assistiu-se a uma evolução notável desta técnica construtiva. As *abobadilhas* foram profusamente utilizadas pelos construtores góticos no preenchimento dos espaços entre nervuras em abóbadas e cúpulas, tirando partido da facilidade de adaptação das *abobadilhas* à geometria da arquitetura gótica [6, 7]. No século XIV generalizou-se o uso das *abobadilhas* na zona do Levante espanhol no preenchimento do espaço entre nervuras de pedra nas abóbadas de cruzaria góticas [6]. A partir da Renascença assistiu-se à vulgarização do uso de abóbadas de tijolo cerâmico por toda a Europa. O tijolo passou a usar-se também em abóbadas mistas de tijolo e blocos de pedra talhada, com o objectivo de aligeirar as zonas de fecho [7, 9]. Outros elementos que caracterizam esta técnica e que resultam da sua evolução ao longo dos séculos é o recurso a muretes no extradorso das *abobadilhas* e o carregamento do seu extradorso que melhoram grandemente o seu desempenho estrutural.

No século XIX a técnica da *abobadilha* foi combinada com a utilização de perfis metálicos na construção, dando origem ao método construtivo de *abobadilhas* entre vigas de ferro, que caracterizou a arquitetura do século XIX e início do século XX [7].

De referir, ainda, a utilização no passado recente de *abobadilhas* por arquitetos famosos como Guastavino, Gaudí e Le Corbusier que acolheram esta técnica com entusiasmo,

¹ A técnica dos leitos inclinados consiste em executar uma abóbada com fiadas autoportantes, estáveis através da sua forma, gerando arcos. O assentamento de cada nova fiada é assegurado pela aderência da argamassa até estar fechada; uma vez completa a fiada, a sua estabilidade decorre da sua forma em arco servindo de base às unidades da fiada seguinte a ser assente sobre ela.

materializando-a de formas inovadoras e adaptando-a a épocas e estilos diferentes, o que por si só atesta a simplicidade e a versatilidade desta técnica [10].

3. A ABOBADILHA ALENTEJANA

3.1 Tipologias

Como referido, nas regiões do Sul de Portugal (Alentejo e Algarve) uma boa parte dos pavimentos e tectos das construções tradicionais foram executados recorrendo à solução de *abobadilha*. Essa solução é conhecida por *abobadilha alentejana*, por ser nessa região onde a solução mais se generalizou. As *abobadilhas* são correntemente encontradas em habitações, conventos, igrejas, com uma notável capacidade de adaptação a diversas plantas [11]. As *abobadilhas* são executadas com elementos cerâmicos de pequena espessura, colocados com a sua maior face virada para o intradorso da abóbada. Esta é a característica construtiva que distingue esta solução da abóbada corrente de elementos cerâmicos, colocados com a sua maior dimensão perpendicularmente à linha geratriz. Nas *abobadilhas alentejanas* os elementos cerâmicos são colocados em uma (*abobadilhas* simples) ou mais camadas sobrepostas (*abobadilhas forradas*), recorrendo a argamassas de presa rápida, tornando possível a sua execução sem cimbres.

As *abobadilhas alentejanas* mais correntes são as “cilíndricas” (também conhecidas por “de berço”, “de tumba” ou “de canudo” - fig. 1), as de “engras” (também conhecidas por “de barrete de clérigo” - fig. 1), as “de percinas” (também conhecidas por “de aresta” - fig. 1), as “de luneta” e as “planas” (também conhecidas por “chatas”) [12].

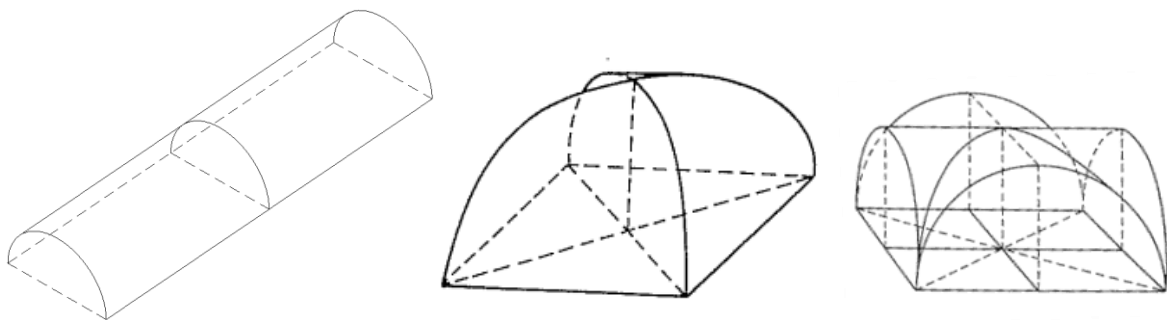


Figura 1. *Abobadilhas* cilíndrica, de engras e de percinas [12].

3.2 Considerações Geométricas

As geratrizes das *abobadilhas* têm, em geral, uma das seguintes geometrias [12]: curva circular, curva contínua ou curva elíptica. No caso das *abobadilhas* com geratriz circular, a dimensão da flecha (altura livre a meio vão) é, em muitos casos, inferior a metade do vão. Essas *abobadilhas* são denominadas “de volta abatida” ou de “geração”. Por vezes, as *abobadilhas* eram traçadas a partir da concordância de uma sucessão de arcos de circunferência, em número variável, e nesses casos recebiam a designação de *abobadilhas* “de cesto”. O traçado elíptico é também uma geometria comum, coincidindo o eixo maior

com o vão e o menor com a flecha. No quadro 1 apresentam-se os valores usuais das flechas das *abobadilhas* em função do vão.

Quadro 1. Flecha das *abobadilhas alentejanas* [11].

Dimensão do vão [m]	Flecha [% do vão]
até 4,0	15 a 20
de 4,0 a 6,0	25 a 30
de 6,0 a 10,0	35

Quando o comprimento das *abobadilhas* era superior a 2 m, era usual dotar as respectivas geratrizes de uma flecha extra na zona dos rins, na direção do raio, melhorando assim a sua estabilidade, apesar de resultar em maior complexidade construtiva [11]. No quadro 2 apresentam-se os valores correntes das flechas das geratrizes na região dos rins. A utilização destas não era, no entanto, considerada por todos os mestres pedreiros. Há autores que referem a sua aplicação em todas as *abobadilhas* com simples e dupla curvatura, mas Paz Branco [13], refere-a apenas no caso de *abobadilhas* cilíndricas. Por outro lado João Maria D’Aguiar [14] refere a existência desta flecha adicional ou sobre-elevação, não na região dos rins, mas na zona de fecho das *abobadilhas* de dupla curvatura, designando este procedimento por “voamento”, o que na nomenclatura espanhola se designa por “retumbo”.

Quadro 2. Flechas das geratrizes na região dos rins [11].

Dimensão do vão [m]	Comprimento (m)	Flecha [mm]
3,5	3,5	15
5,0	5,0	30 a 40
5,0	10,0	40 a 50
8,0	8,0	50 a 55
8,0	10,0	50 a 55

3.3 Materiais

3.3.1 Tijolos ou Tijoleiras

Na execução das *abobadilhas* era usualmente utilizado um elemento cerâmico maciço de barro vermelho – conhecido por “tijolo burro” ou “tijoleira” – com dimensões próximas de 300x150 mm² e espessuras de 35 ou 70 mm, consoante se destinem à execução da *abobadilha* propriamente dita (35 mm) ou ao carregamento da mesma (70 mm), caso em que se designam por “tijolo lambaz” [11].

3.3.2 Argamassa

De modo a permitir a sua execução sem cimbre, a argamassa de assentamento das *abobadilhas alentejanas* tem de ganhar presa quase instantaneamente. O desempenho da argamassa deverá ser tal que em menos de 20 segundo de exposição ao ar, se obtém a resistência necessária para suportar o tijolo argamassado em duas das suas arestas, independentemente da sua posição, mesmo que seja próxima da horizontal. Este resultado é obtido com uma mistura de cal e gesso, sem areia, misturando, em volume, três partes de ligante para duas partes de gesso [11, 12]. Tradicionalmente 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 [13], com uma composição 3:1 (três de gesso para um de areia, em volume).

3.4 Execução

3.4.1 Paredes de Apoio

As paredes de apoio das *abobadilhas* devem ter resistência suficiente para suportar as cargas transmitidas pela *abobadilha* e, em particular, a sua componente horizontal, usualmente designada por “empuxe”. As paredes devem, portanto, ter espessura adequada, o que era garantido respeitando a seguinte regra prática: o peso por metro linear do troço de parede acima das nascenças, incluindo o peso da *abobadilha* e do enchimento até aos rins, deveria ser três vezes o peso da parte da *abobadilha* situada acima dos rins [12]. No quadro 3 apresentam-se as espessuras das paredes de alvenaria de tijolo maciço, tipicamente utilizadas e que, segundo alguns manuais [11], eram suficientes para suportar o empuxe das *abobadilhas*. Contudo, estas espessuras eram por vezes reduzidas, recorrendo à introdução de outros elementos construtivos (usualmente tirantes) para absorção do referido “empuxe”.

Quadro 3. Espessura das paredes de alvenaria de tijolo maciço para apoio de *abobadilhas* [11].

Dimensão do vão [m]	Espessura [cm]
até 3,0	30
de 3,0 a 4,5	45
de 4,5 a 6,0	60

O apoio da *abobadilha* era realizado através da abertura de roços nas paredes de modo a garantir uma adequada ligação entre estes elementos. Dependendo do tipo de *abobadilha*, assim se teriam roços curvilíneos e rectos ou apenas curvilíneos. Caso se tratasse duma *abobadilha* de curvatura simples, os roços teriam o perfil de volta inteira, ou um perfil abatido, e abriam-se imediatamente acima do traço marcado nas paredes de topo, onde se faria a

entrega da *abobadilha* e perfil horizontal nas paredes perpendiculares à altura das nascenças.

3.4.2 Sequência de Execução

O primeiro passo da execução era, naturalmente o seu traçado nas paredes envolventes. Após o traçado, 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 e o assentamento do tijolo, era efectuado de forma que as juntas se fossem desencontrando (como em qualquer construção em alvenaria), quebrando-se o tijolo quando era preciso para o conseguir. Se o tijolo apresentava irregularidades nas juntas, o pedreiro desbastava-o com o martelo, para melhor se fazer a ligação entre esse tijolo e os já assentes [14]. Normalmente, as *abobadilhas* eram executadas da extremidade para o centro, de forma uniforme (fig. 2), mas quando a superfície a cobrir não era quadrada, depois de assente a primeira fiada, continuava-se a execução da *abobadilha* somente nos topos do rectângulo, até que a superfície a cobrir ficasse reduzida a um quadrado, depois do que continuava o assentamento por fiadas completas [14].

Cada fiada formava uma superfície arqueada autoportante, cuja compressão resultava da aplicação do último elemento, em cunha (fig. 3b), que promovia a estabilidade da fiada. As *abobadilhas* apresentam, portanto, múltiplas curvaturas resultado deste processo construtivo.

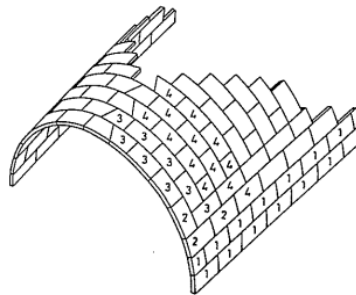


Figura 2. Exemplo de sequência de execução [12].

Do lado do intradorso da *abobadilha*, os tijolos deviam ficar bem ajustados e praticamente em contacto, isto é, com uma junta de espessura desprezável, o que obrigaria a argamassa a refluir para o lado do extradorso, ficando a preencher o espaço em forma de cunha, existente entre os dois tijolos (fig. 3a). No caso particular do fecho da *abobadilha*, o ajuste dos tijolos era feito de um e do outro lado da linha de fecho, por juntas fazendo um ângulo de 30° com a linha, desencontradas, e com orientações contrárias (fig. 3b).

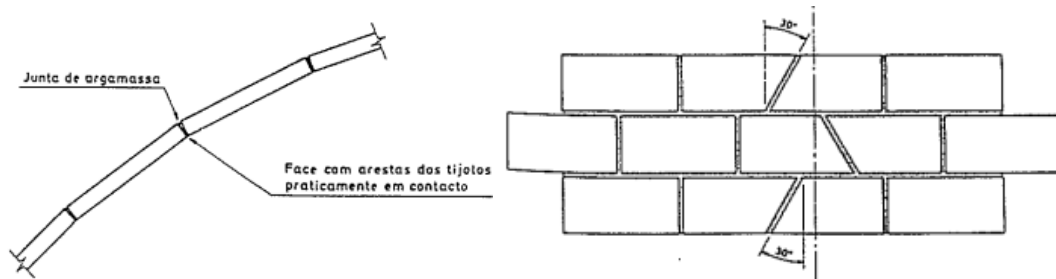


Figura 3. Juntas entre tijolos a) corte transversal (esq.); b) planta (dta.) [12].

3.4.3 Casos especiais

Quando se pretendia executar várias *abobadilhas* iguais e de formas simples, abóbadas cilíndricas, por exemplo, era vantajoso o recurso a cimbres [11]. Estes, sendo fáceis de realizar e tendo várias aplicações, proporcionavam um custo por aplicação diminuto. Quando eram utilizados cimbres na execução de *abobadilhas* a questão da velocidade de presa não era tão relevante e era frequente a argamassa de assentamento ser de cal ou cimento e areia. O descimbramento realizava-se cerca de 24 horas depois de concluído o troço.

No caso em que na área a cobrir pela *abobadilha* predominava significativamente uma das dimensões, começava-se por dividi-la por meio de arcos de tijolo, construídos sobre cimbres. Entre as testas de cada dois arcos contíguos executava-se a *abobadilha*. Nesta altura, ter-se-ia já levantado as paredes e preparado os encontros para assentar a *abobadilha*.

4. MODELAÇÃO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL

Em virtude das características não lineares das estruturas de alvenaria decorrentes da sua muito fraca resistência à tração, da sua limitada resistência ao corte e da existência de descontinuidade entre elementos, a modelação do comportamento mecânico de estruturas de alvenaria é uma tarefa complexa. Existem algumas estratégias possíveis para a modelação desse comportamento não linear, sendo de destacar os modelos de elementos finitos de comportamento não linear e os modelos de elementos discretos. O método de elementos discretos apresenta como vantagens, face ao método de elementos finitos, a possibilidade de ocorrência de grandes deslocamentos e rotações entre os vários corpos (inclusive a sua separação) e o reconhecimento e atualização de novos contactos, com consequente eliminação de contactos obsoletos. Este método torna-se, assim, especialmente indicado para o estudo das estruturas de alvenaria nas quais uma parcela significativa da deformação ocorre pelo movimento relativo entre os blocos. Do ponto de vista de eficiência numérica, o método dos elementos discretos, tratando-se dum método com solução explícita para a integração da equação de movimento dos graus de liberdade do modelo [17, 18], apresenta algumas vantagens relativamente ao método dos elementos finitos [18, 19], sendo essa a razão principal da sua utilização no âmbito deste trabalho.

Neste trabalho utilizou-se o programa de cálculo *3DEC*, que se baseia numa das variantes deste método designada por Método dos Elementos Distintos [20].

O objectivo do estudo estrutural que se apresenta nos parágrafos seguintes é a avaliação e comparação do comportamento estrutural e respectiva eficácia de duas soluções de *abobadilha alentejana*: *abobadilha* cilíndrica e *abobadilha de engras*. Estes estudos numéricos serão posteriormente confirmados através da comparação dos seus resultados com os resultados de ensaios experimentais em modelos que estão a ser construídos no Laboratório LERM do Instituto Superior Técnico. As dimensões e geometria dos modelos computacionais são iguais às dos respectivos modelos experimentais e foram definidas tendo em conta as regras geométricas usadas para o pré-dimensionamento das *abobadilhas alentejanas* presentes no Quadro 2

4.1 Descrição dos modelos

Desenvolveram-se dois modelos computacionais de elementos discretos, correspondentes a uma *abobadilha cilíndrica* e a uma *abobadilha de engras*, com dimensões em planta de $3,00 \times 2,00 \text{ m}^2$ e flecha de $0,40 \text{ m}$ (Figura 4). As estruturas foram modeladas utilizando o software de cálculo *3DEC* [20] e considerando blocos rígidos ligados por contactos deformáveis. Esta opção justifica-se pelo facto do comportamento das abobadilhas ser, em condições normais, condicionado pelo comportamento (resistência e deformabilidade) das juntas. A deformabilidade dos blocos (tijoleiras) é, em geral, menor que a deformabilidade das juntas e o colapso destas estruturas está, normalmente, associado à rotura das juntas entre blocos. As dimensões dos blocos nos modelos tridimensionais de elementos discretos correspondem às dimensões reais das tijoleiras, isto é, $300 \times 150 \times 35 \text{ mm}^3$, tendo-se considerado para a sua massa específica o valor de 1680 kg/m^3 . Para as juntas entre blocos assumiu-se o modelo de comportamento ao corte de Mohr-Coulomb. Na direcção normal aos contactos admitiu-se um comportamento elástico linear com uma resistência ilimitada à compressão e uma resistência à tração de $0,20 \text{ MPa}$. No modelo de corte considerou-se uma coesão de $0,20 \text{ MPa}$ e um ângulo de atrito de 35° .

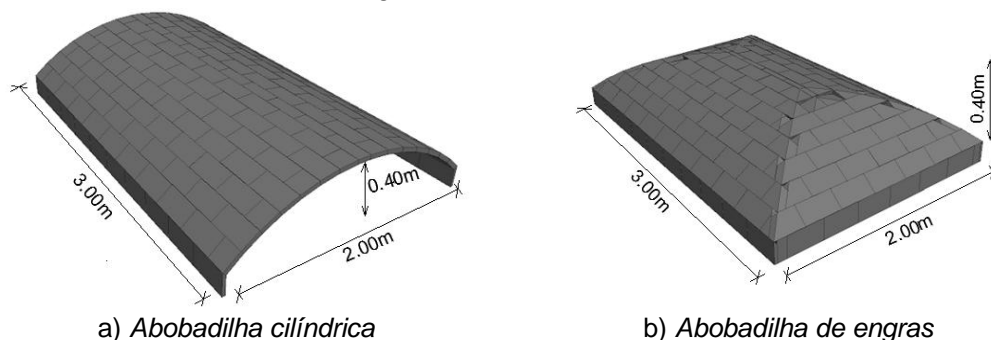


Figura 4. Modelos 3DEC de *abobadilha alentejanas*.

4.2 Resultados

O objectivo da análise computacional era, em primeiro lugar, obter uma estimativa da resistência destes dois tipos de *abobadilhas*, comparando os valores das cargas de colapso para as três situações de carga distintas, a 1/2 vão, a 1/3 do vão e junto do apoio (Figura 5).

Pretendia-se, também, estudar a distribuição dos impulsos ao longo dos bordos 1 e 3 da *abobadilha* de engradas (Figura 5) para as mesmas situações de carga, de modo a identificar as zonas de concentração de tensões.

Importa referir que nestes modelos não se teve em conta os efeitos de um eventual enchimento do extradorso que aumenta, significativamente, a capacidade resistente das *abobadilhas*. De facto, a existência desse enchimento do extradorso resulta numa maior compressão das aduelas (e, conseqüentemente, numa maior resistência ao corte), numa linha de pressões mais estável e restringe o deslocamento horizontal da *abobadilha*, tudo isto, factores que aumentam significativamente a estabilidade das *abobadilhas* [21]. Para além desses factores, refira-se que a existência do enchimento e a propagação das cargas através dele resultará em distribuições de ações mais uniformes, o que é favorável para o desempenho estrutural da *abobadilha* [21]. No entanto, a consideração de todos esses efeitos no modelo de elementos discretos é complexa. Por outro lado, não há uma configuração típica desse enchimento, havendo, inclusive, situações (como nas esteiras) em que as *abobadilhas* não apresentam enchimento (Figura 6). Assim, optou-se por estudar as *abobadilhas* na ausência do referido enchimento no extradorso, isolando-se, assim, o comportamento estrutural da *abobadilha* propriamente dita.

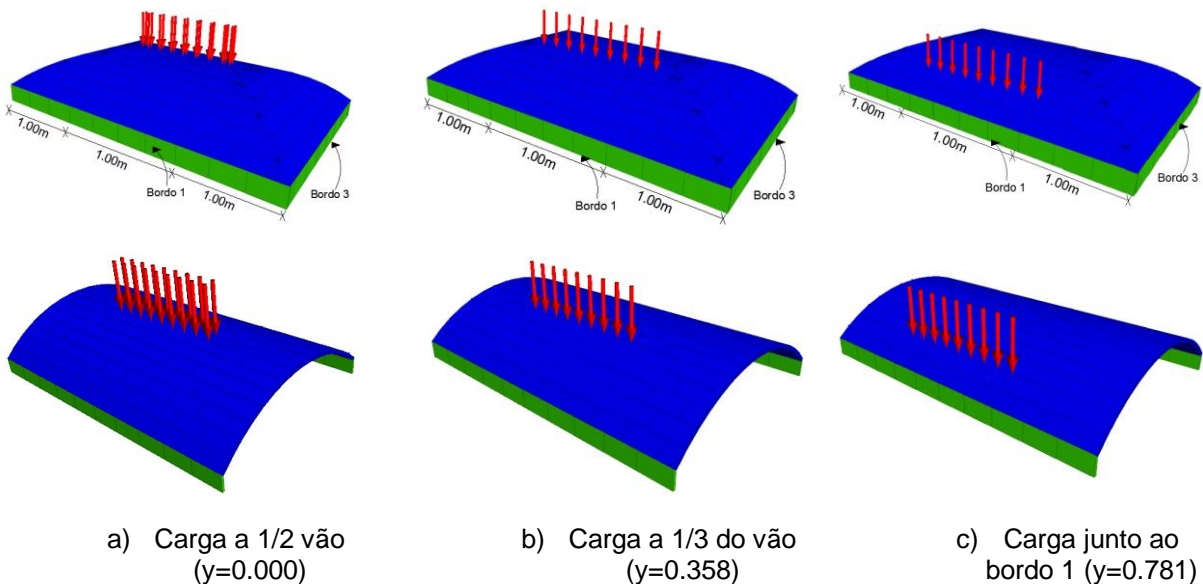


Figura 5. Posições e configurações das cargas.



Figura 6. Exemplo de *abobadilha cilíndrica* executada sem o enchimento no extradorso.

Refira-se, por fim, que as cargas aplicadas aos modelos foram distribuídas apenas no centro, num metro de comprimento, como representado na Figura 5. Esta disposição de carga é aquela que é diretamente comparável nos vários casos de carga.

Os resultados dos modelos de elementos discretos estão sintetizados nos gráficos das figuras seguintes. Na Figura 7 representa-se um gráfico onde se identificam os valores da carga de colapso em função da sua localização. Nesse gráfico, constata-se que independentemente da localização, a carga de colapso correspondente à *abobadilha de engras* é significativamente superior à carga de colapso correspondente à *abobadilha cilíndrica*. Por outro lado, em ambos os casos, verifica-se que a situação de carga mais gravosa corresponde a um carregamento próximo de 1/3 do vão ($y = 0.358$).

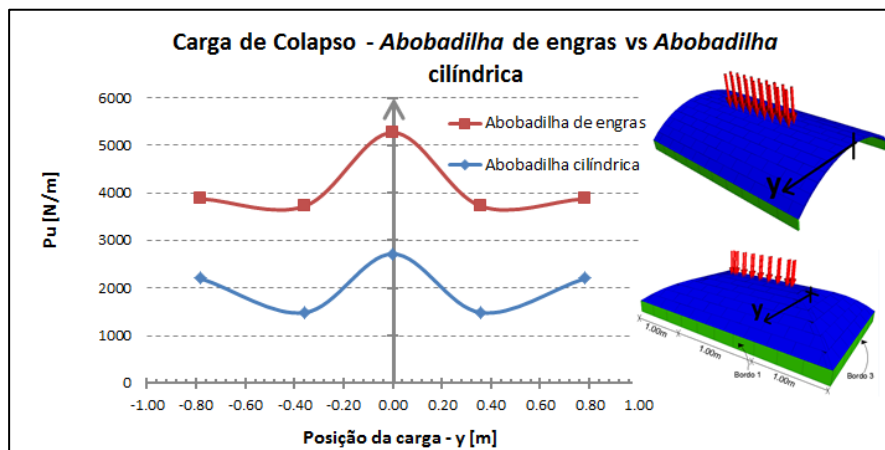


Figura 7. Carga de colapso dos vários modelos.

Relativamente à distribuição de impulsos sobre os apoios da *abobadilha de engras* (Figuras 8 e 9), assiste-se a uma diminuição junto das extremidades, evidente em todos os casos de carga, até para o peso próprio. Esses resultados levam a concluir que não haverá concentração de impulsos nas extremidades das abobadilhas, isto é, junto das linhas de intersecção das superfícies curvas.

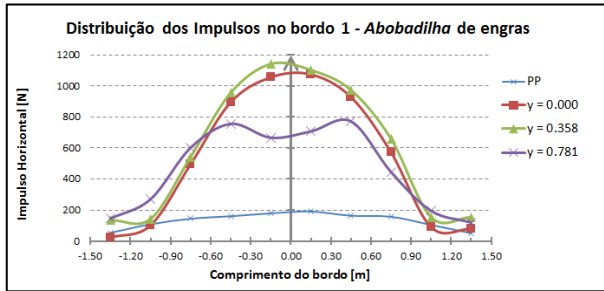


Figura 8. Distribuição dos impulsos no bordo paralelo à aplicação da carga.

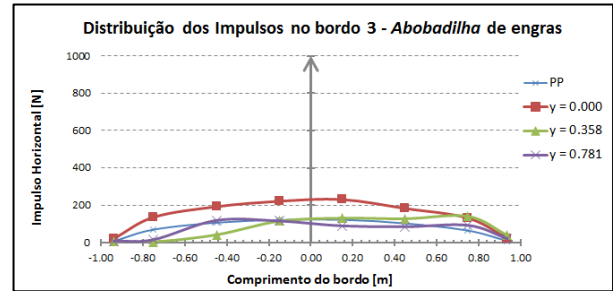


Figura 9. Distribuição dos impulsos no bordo perpendicular à aplicação da carga.

A distribuição dos impulsos na *abobadilha cilíndrica*, é, naturalmente, mais homogénea do que no caso anterior, embora exista um ligeiro aumento no centro do bordo, devido à distribuição da carga aplicada (Figura 10).

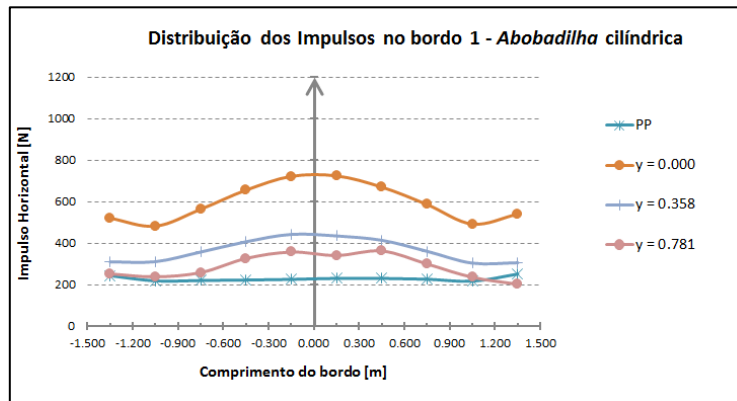


Figura 10. Distribuição dos impulsos na *abobadilha cilíndrica*.

No que diz respeito aos mecanismos de colapso, verifica-se, como esperado, que a *abobadilha cilíndrica* apresenta um comportamento semelhante ao de um arco, sendo o respectivo mecanismo associado à formação de charneiras de rotação (rótulas). No caso de cargas simétricas a formação das rótulas ocorre simetricamente, nas secções das nascenças, dos rins e o fecho (Figura 11), ao passo que quando a carga é aplicada de forma não simétrica, o mecanismo de colapso envolve a formação de quatro rótulas com localizações não simétricas (Figura 12).

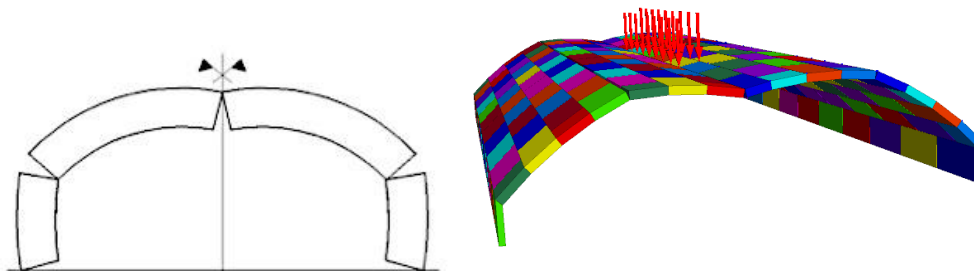


Figura 11. Carregamento simétrico (5 rótulas).

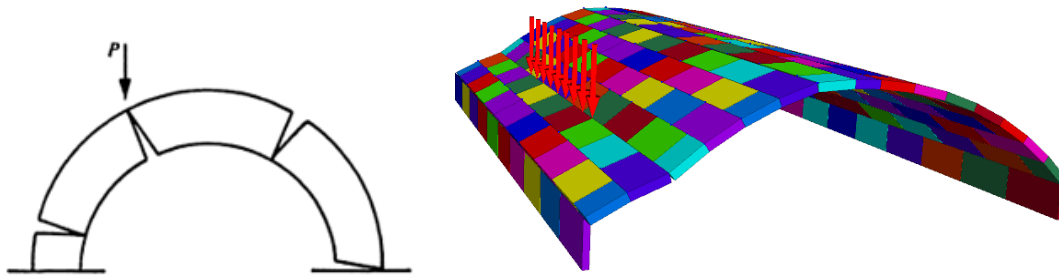


Figura 12. Carregamento antisimétrico (4 rótulas).

No caso da *abobadilha de engras*, o mecanismo de colapso apresenta um carácter mais local que, apenas numa fase posterior, resultará no colapso total. Na Figura 13 apresenta-se o mecanismo de colapso para cada uma das situações de carga analisadas, onde o aspecto local do mecanismo de colapso é evidente. Além desse aspecto, denota-se outra particularidade (assinalada com o círculo preto na imagem mais à direita) que consiste na abertura da aresta do lado oposto do carregamento. Esta ocorrência será, supõe-se, restringida com a existência do enchimento do extradorso.



Figura 13. Mecanismo de colapso da *abobadilha de engras*.

5. CONCLUSÕES

A técnica de construção das *abobadilhas alentejanas* é o resultado de um lento, mas persistente processo de evolução e constitui um património precioso que nos foi legado pelos nossos antepassados. Assim, é obrigação das actuais gerações preservá-lo e evitar a perda deste conhecimento.

Esta técnica utiliza na sua execução materiais tradicionais, como o tijolo e a argamassa à base de gesso, cal e, mais recentemente, cimento Portland. A forma como se procede ao levantamento destas *abobadilhas* baseia-se numa sequência de trabalhos que não requer técnicas nem equipamentos muito elaborados, mas apenas mão-de-obra com alguma especialização.

Trata-se de uma técnica de construção leve, de elevada durabilidade e muito versátil, capaz de se adaptar aos mais variados tipos de plantas e a diferentes situações de carregamento. Além disso, sendo estruturalmente eficiente, elegantemente simples e ambientalmente

sustentável, agrega ainda um conjunto de valências funcionais muito apreciadas por contribuir para o bem-estar dos ocupantes, como é o caso do bom desempenho térmico e acústico.

Quando comparada com a construção convencional, em betão armado, este sistema oferece poupanças a vários níveis, resultantes do facto de necessitar de menos material por m², ser executado com o mínimo apoio, poupando tempo, dinheiro e recursos em cimbres e produzindo, ao mesmo tempo, menos resíduos.

Dado o seu interesse e utilização recentes, pode até dizer-se que esta técnica construtiva pode coexistir com as técnicas de vanguarda da actual sociedade, resultando num produto com elevados desempenhos económico, funcional e energético e que, dadas as suas características, é possível substituir as lajes convencionais por outras baseadas em abóbadas.

Do ponto de vista de desempenho estrutural, constatou-se, através de modelos computacionais de elementos discretos, a sua eficiência. Tal como acontece nos arcos, verificou-se que estas estruturas apresentam uma capacidade resistente muito significativa quando sujeitas a cargas simétricas e de carácter uniforme, mas menores capacidades resistentes quando sujeitas a cargas assimétricas. A existência de enchimento no extradorso das *abobadilhas*, tal como acontece em arcos e outras estruturas arqueadas, é um efeito favorável que não foi considerado neste trabalho.

Esse aspecto, bem como a calibração dos resultados através de comparação dos resultados numéricos com os de trabalhos experimentais são áreas em desenvolvimento e que permitirão num futuro breve a um melhor conhecimento do desempenho estrutural destas estruturas.

REFERÊNCIAS

- [1] Huerta, S. – “Arcos, Bóvedas y Cúpulas. Geometria y Equilibrio en el Cálculo Tradicional de Estructuras de Fábrica”, Instituto Juan de Herrera, 2004
- [2] Luna, M.; Bernal V. – “Prologo em Bóvedas de Ladrillo. Proceso Constructivo y Análisis Estructural de Bóvedas de Arista”, Editorial de los Oficios S.L., 2001, Prólogo por S. Huerta.
- [3] Girón J. – “Persia, Dieulafoy y Choisy: el debate sobre la influencia persa en la arquitectura occidental”, Colloque Centenaire Auguste Choisy: 1841-1909, L’Architecture et l’Art de Bâtir, 2009
- [4] Choisy, A. – “El Arte de Construir en Roma”, Ed. por S. Huerta, F. Sierra, Instituto Juan de Herrera, 1999
- [5] Luna, M. – “Origen de la Bóveda Tabicada”, Centro de Oficios de Zafra, 2008

- [6] Martínez, E. – “La bóveda tabicada en los tratados españoles de los siglos XVI al XIX”, Séptimo Congreso Nacional de História de la Construcción, Ed. por S. Huerta, I. Crespo, S. Garcia, M. Tain, Instituto Juan Herrera, 2011
- [7] Mateus, J. – “Técnicas Tradicionais de Construção de Alvenarias”, Livros Horizonte, 2002
- [8] Espie, F. – “Manière de Rendre Toutes Sortes d’Edifices Incombustibles ou Traité de la Construction des Voûtes Faites des Briques et du Plâtre dites Voûtes Plates, et d’un Toit de Brique Sans Charpente Apellé Comble Briqueté”, 1754
- [9] Nonell, J. – “La construcción de bóvedas góticas catalanas”, Boletín Académico, Escola Técnica Superior de Arquitectura da Coruña, 1989
- [10] Catalán, A. – “Hacia una historia de las bóvedas tabicadas”, Construyendo Bóvedas Tabicadas, Ed. por A. Zaragoza, R. Soler, R. Marín, 2011
- [11] Rodrigues, M. – “Nota sobre estruturas de abobadilha de tijolo”, Relatório de Tirocínio, LNEC, 1954
- [12] Fidalgo, C. – “As abobadilhas alentejanas”, 2º ENCORE, LNEC, 1994
- [13] Branco, J. – “Manual do Pedreiro”, LNEC, 1981
- [14] d’Aguiar, J. – “Abobadilhas de tijolo no Alentejo”, Revista de Engenharia Militar, 1899
- [15] Ramage, M.; Ochsendorf, J; Rich, P. – “Sustainable shells: New African vaults built with soil-cement tiles”, International Association for Shell and Spacial Structures (IASS) Symposium, Evolution and Trends in Design, Analysis and Construction o Shell and Spacial Structures, Ed. A. Domingo, C. Lazaro, 2009
- [16] Calcedo, J.; 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
- [17] Cundall, P. A.; Hart, R. D. – “Numerical modelling of discontinua”, Engineering Computations, Vol. 9, 1992
- [18] Bretas, E.; Lemos, J. V.; Lourenço, P. B. – “Um modelo de elementos discretos para a análise de barragens gravidade em alvenaria”, Revista Engenharia Civil da Universidade do Minho 2012
- [19] Gago, A. S. – “ Análise Estrutural de Arcos, Abóbadas e Cúpulas. Contributo para o Estudo do Património Construído”, Tese de Doutoramento, IST, Universidade de Lisboa, 2004
- [20] Itasca – “ 3DEC 4.1 - User’s guide”, Minneapolis, Minnesota, 2007

- [21] Gago, A. S.; Alfaite, J.; Lamas, A. – “The Effect of the Infill in Arched Structures: Analytical and Numerical Modelling”, Engineering Structures, Volume 33, Issue 5, May 2011