

CASCAS EM ALVENARIA CERÂMICA ARMADA, UMA FORMA PRÉ-FABRICADA DE SE CONSTRUIR

J. T. OLIVEIRA¹, E. BONALDO¹, J. A. O. BARROS², P. B. LOURENÇO²

A cerâmica, como material para construção, tem sido utilizada pela humanidade desde os tempos mais remotos, precedida somente pela pedra e pela madeira. A utilização deste material, tanto no passado quanto no presente, deve-se principalmente às suas propriedades, dentre elas, a excepcional conformação de geometrias, aliada às elevadas resistências mecânicas possíveis de serem atingidas por meio de seu processo de cozedura. As vantagens detectadas no uso deste material permitiram a notável expansão da alvenaria de tijolo cerâmico. Nota-se que a evolução e a diversificação dos modelos de tijolos estão sempre a acompanhar as exigências das edificações e das novas técnicas construtivas. O facto da matéria-prima, utilizada na confecção do tijolo, ser de fácil acesso em qualquer parte do mundo, torna esse elemento ainda mais atractivo para o mercado da construção.

Por outro lado, saber utilizar este material de forma racional, aproveitando ao máximo o seu potencial, é uma “Arte”. Foi dentro deste contexto que o engenheiro Uruguiaio Eladio Dieste (CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES, 1997), a partir dos anos 50, desenvolveu o sistema construtivo de cascas em alvenaria cerâmica armada, ver **Figura 1**. O sistema era constituído por tijolos cerâmicos, juntas de argamassa armada, camada superior de argamassa, e malha de aço, posicionada na região da interface tijolo cerâmico-camada superior de argamassa.



Figura 1 – Modelo de casca construída por Eladio Dieste.

¹ Aluno de doutoramento da Universidade do Minho

² Professor Associado da Universidade do Minho

Dado o seu carácter inovador e invulgar, o sistema de Dieste foi amplamente utilizado no Uruguai e em outros países da América do Sul (DIESTE, 1987, 1997). Dentre os componentes intervenientes deste sistema, o tijolo é sem dúvida, o elemento principal. Sua elevada resistência mecânica, por vezes superior à dos melhores betões; sua leveza em relação ao betão; o seu baixo módulo de elasticidade, quando comparado a um betão de igual resistência, o que permite maiores deformações; sua boa durabilidade; bom isolamento térmico e acústico (devido ao baixo módulo de elasticidade); o facto da sua superfície, em relação ao betão, irradiar mais calor no verão e perder menos calor no Inverno, são razões fundamentais para a escolha deste material. Sem contar com uma razão de ordem económica, importantíssima, que é o facto do preço por metro cúbico do material ser bastante competitivo em relação a outros materiais.

O comportamento estrutural, bem como a beleza estética das obras de Dieste, mostraram a mais valia deste sistema, que foi utilizado em edificações para as mais variadas finalidades, desde centros comerciais, armazéns, moradias, estações de serviços, estações de comboios, igrejas.

A construção de cascas com abóbadas de dupla curvatura é o mais conhecido e mais representativo trabalho de Eladio Dieste, conforme (MORALES, 1991). As cascas confeccionadas chegaram a atingir vãos da ordem de 50 metros ou mais, com espessuras próximas a 12 centímetros (10 cm de altura do tijolo e 2 cm de camada superior, confeccionada com argamassa). Outro marco importante da estrutura singular de Dieste foi as lâminas autoportantes de directriz catenária sem tímpanos, compostas por abóbadas cilíndricas, que na maioria das vezes eram construídas em séries, alternando clave e vale. O formato de directriz catenária, amplamente utilizado por Dieste, produz, na estrutura, esforços de compressão simples, devido ao seu peso próprio. Esta compressão permite que o sistema resista às solicitações, nomeadamente aos esforços de flexão. A descofragem é feita poucas horas após a construção da casca, sendo assim, como a argamassa das juntas ainda encontra-se fresca, permite-se o retoque fácil, de modo a obter um melhor acabamento. Na **Figura 2** encontra-se a foto de uma obra inspirada no trabalho de Dieste.



Figura 2 – Construção de casca em alvenaria cerâmica armada, inspirada no trabalho de Dieste, na Espanha.

A fim de tornar a construção de cascas em alvenaria cerâmica armada viável, mediante às enormes possibilidades oferecidas pelo mercado, e dado que a competitividade existente no mercado da construção exige um sistema construtivo compatível com o desenvolvimento tecnológico actual, torna-se fundamental recorrer à aplicação de novas tecnologias no processo de fabrico dessas estruturas.

Baseando-se no modelo proposto por Dieste, e com o intuito de desenvolver uma técnica de pré-fabricação aplicada às cascas de alvenaria cerâmica armada, a baixo custo, sem desperdício, simples, com elevada qualidade, segura, esteticamente apelativas, de longa duração e fácil manutenção, iniciou-se um projecto Europeu, financiado parcialmente pela União Europeia (ISO-BRICK), ver (ISO-BRICK, 2003). O projecto contou com a participação de algumas universidades e empresas europeias, dentre elas, a Universidade do Minho e a empresa JMEF (Maceira), para a produção de unidades de alvenaria especiais, aqui em Portugal. O presente trabalho foi realizado na Universidade do Minho, em Guimarães, com o objectivo de desenvolver um processo de pré-fabricação total de cascas em alvenaria cerâmica armada.

Escolheu-se a directriz catenária como geometria da casca, devido ao facto da estrutura, com este formato, resistir melhor aos esforços de flexão. Outro aspecto importante do sistema proposto, é que tanto as juntas como a camada superior da casca foram preenchidas com micro-betão. O modelo proposto (Oliveira *et al.*, 2003) também é constituído de uma malha de aço electrossoldada para reduzir o efeito de retracção da camada de betão, problemas devido à variação de temperatura, e também para funcionar estruturalmente. Os tijolos cerâmicos exibiam dimensões de 215 mm × 100 mm × 65 mm de comprimento, largura e altura, respectivamente, e furos de 25 × 25 mm², ver (Oliveira *et al.*, 2002). Estes tijolos possuem 3 faces rugosas, nas regiões de contacto com o betão, e uma face lisa, que ficará à vista. Por meio de ensaios de compressão, foi verificado que os tijolos são bastantes resistentes à compressão, com valores da ordem de 80MPa na direcção dos furos e 40MPa na direcção perpendicular ao furo, no sentido paralelo a largura do tijolo.

O primeiro desafio do trabalho consistiu em encontrar uma composição adequada para o betão, de forma que este pudesse ser utilizado tanto no preenchimento das juntas armadas, quanto na camada superior de betão. Entretanto, uma vez que a casca apresentava curvatura catenária, ver **Figura 3**, implicava que a consistência do betão não fosse demasiado fluida. Sendo assim, evita-se tanto o deslizamento da amassadura para as partes inferiores da casca, quanto a penetração da pasta por entre as juntas, o que provocaria manchas na face à vista do tijolo. Por outro lado, como nas juntas foram posicionadas varões de aço



Figura 3 – Casca em alvenaria cerâmica armada construída na Universidade do Minho. Aspecto das juntas de betão(a); vista geral(b).

longitudinal, e de 6 mm de diâmetro, à cada duas juntas, na direcção transversal, era necessário que o betão tivesse fluidez e tamanho de agregados adequados para o bom preenchimento destas regiões. Os trabalhos de montagem da casca, antes de sua betonagem, podem ser vistos na **Figura 4**.

Utilizou-se uma cofragem de madeira, com geometria catenária, de 4 m de comprimento, 1 m de altura e 1 m de largura. Foi utilizado, também, um molde flexível de borracha, desenvolvido na Universidade do Minho, pelo Departamento de Polímeros, especialmente para o



Figura 4 – Posicionamento dos tijolos cerâmicos no molde(a); Vista dos tijolos posicionados(b); Posicionamento das armaduras nas juntas e do molde da casca(c).

projecto. Este molde de borracha foi colocado sobre a cofragem de madeira, que confere à casca, o formato de directriz catenária. O molde de borracha possuía rigidez adequada para o encaixe dos tijolos, de forma a permitir seu ajuste, uma vez que as dimensões dos tijolos variavam um pouco de tijolo para tijolo. Dessa forma, um dos objectivos principais do molde de borracha era permitir, com alguma tolerância, o encaixe dos blocos, sem que houvesse a necessidade de rectificá-los. A base do molde de borracha foi realizada de forma a acomodar os tijolos e evitar o deslizamento de pasta do betão para a face lisa, à vista, dos tijolos. A **Figura 5** mostra os detalhes do molde de borracha e o teste realizado para observação do acabamento das juntas.

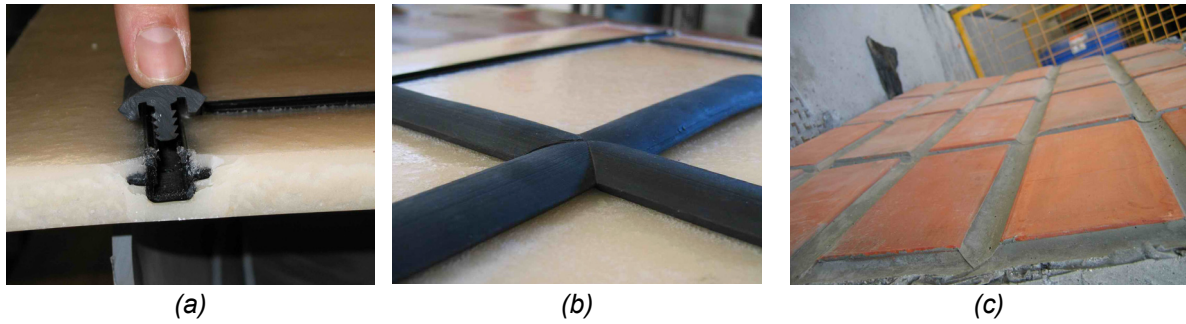


Figura 5 – Modelo de molde de borracha desenvolvido pelo Departamento de Polímeros, na UMINHO. Detalhe da base do molde e da fixação das tiras que conferem o formato às juntas (a); Detalhe da conexão das tiras (b); Aspecto final das juntas após descofragem da casca (c).

Ao final dos estudos, conseguiu-se um betão apropriado para os trabalhos de betonagem, tanto para as juntas como para a camada superior. À medida que as juntas foram sendo preenchidas, dava-se início à execução da camada de betão. Neste caso, foi utilizado um vibrador de agulha, acoplado a uma chapa, de forma a distribuir a vibração por uma área maior, ver **Figura 6**.



Figura 6 – Betonagem da casca, após o posicionamento da malha electrossoldada(a); Utilização do vibrador(b).

Após o trabalho de betonagem, foi feita a regularização da superfície da casca, conforme **Figura 7 (a)**. Para se evitar o efeito de retracção, a casca foi coberta por pano húmido durante o período de 24 horas.

Após este intervalo, foi feita a descofragem da casca, com o auxílio de uma grua, ver **Figura 7 (b)**. A desmoldagem rápida foi possível, devido à geometria catenária da casca, que a faz resistir esforços de flexão, uma vez que está submetida a esforços de compressão gerados pelo peso próprio. O aspecto final das juntas de argamassa, após a retirada das tiras do molde de borracha, pode ser visto na **Figura 7 (c)**. Verificou-se que a forma curva das tiras de borracha, que garantiam a espessura das juntas e a não penetração de betão pela parte inferior dos tijolos, forneceu à junta o aspecto curvo. Observa-se, portanto, que o formato destas tiras de borrachas pode ser variado, tornando-se uma ferramenta arquitectónica à escolha dos projectistas.

O resultado final da casca foi extremamente positivo, uma vez que os tijolos à vista não ficaram manchados de betão, a camada superior ficou bastante regular, as juntas apresentaram dimensões uniformes e excelente preenchimento.

O comportamento estrutural da casca foi avaliado a partir de ensaio com carga em face, aplicada a um quarto do vão da estrutura. Os resultados verificados, até agora, mostram que a casca se comporta de forma bastante dúctil e resiste a cargas elevadas. No trabalho de Failla (FAILLA *et al*, 2004) está apresentado um estudo experimental a respeito de uma casca de alvenaria tradicional, construída com blocos, com as dimensões e condições de carregamento, similares ao da casca de alvenaria cerâmica armada apresentada neste trabalho. Sendo assim, uma comparação entre o comportamento estrutural da casca em alvenaria tradicional e da casca de alvenaria cerâmica armada (do presente estudo) foi realizada, conforme pode ser visto na **Figura 8**. Observa-se que a casca realizada com o modelo em estudo apresenta melhor desempenho que o modelo tradicional, quer em termos de rigidez, quer em termos de resistência e ductilidade.

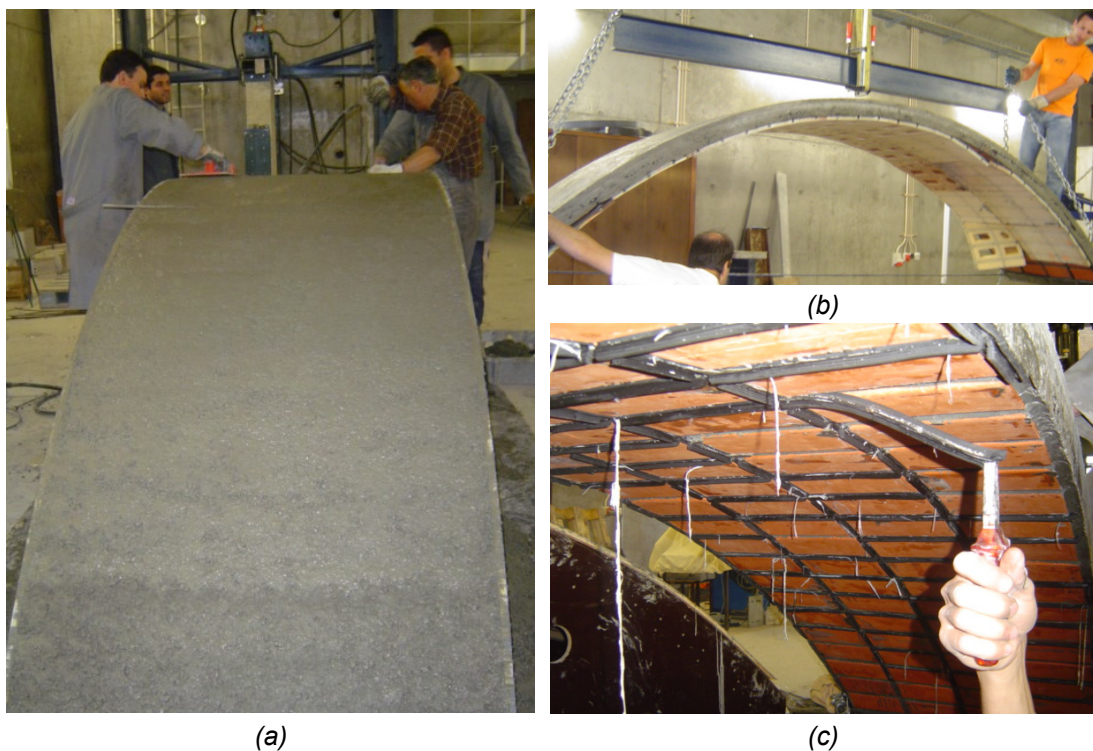


Figura 7 – Trabalho de regularização da superfície(a), Descobragem da casca com utilização de grua(b); Retirada das tiras das juntas(c).

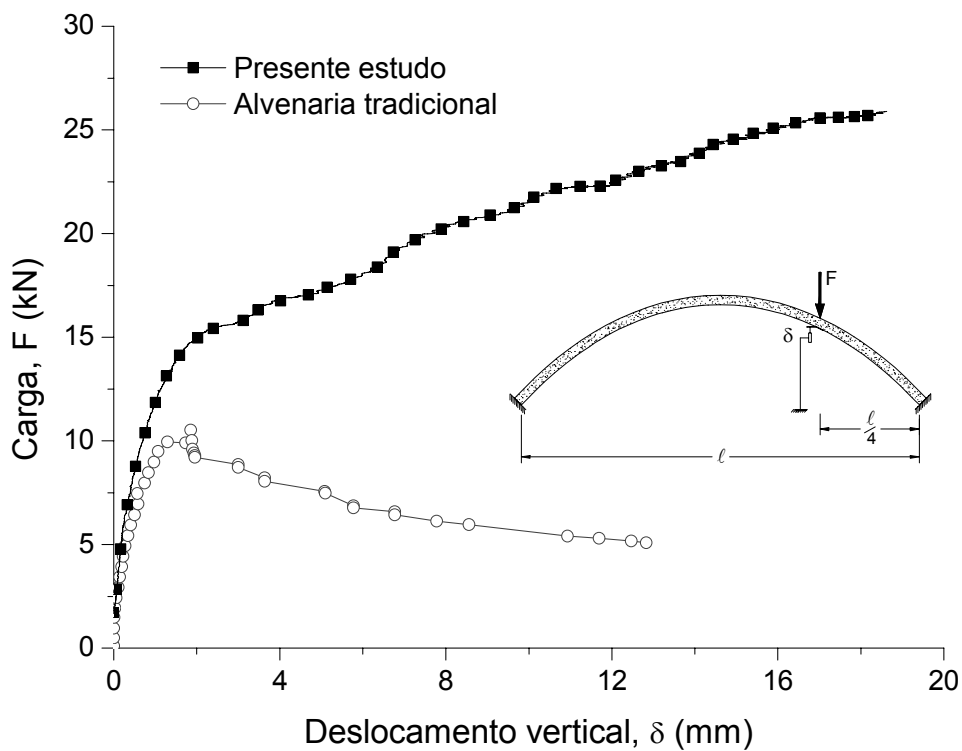


Figura 8 – Comparação entre o desempenho de uma casca de alvenaria tradicional e a casca de alvenaria cerâmica armada apresentada neste estudo.

Na **Figura 9** estão ilustradas algumas das estruturas que têm sido construídas, a partir do projecto ISO-BRICK, no qual o trabalho realizado na Universidade do Minho está inserido.



Figura 9 – Casca, recentemente construída em Itália, aplicando-se a metodologia desenvolvida no projecto ISO-BRICK, no qual este trabalho está incluído.

Referências Bibliográficas

CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES (1997). *Eladio Dieste 1943-1996*. Sevilla, Montevideo, Dirección General de Arquitectura Y Vivienda: Junta de Andalucía. 306p

DIESTE, E. (1987). La cerámica armada: Iglesia de Atlántida. *La estructura cerámica*, Bogotá, p. 131-137.

DIESTE, E. (1997). Construire in laterizio. *Bimestral magazine*. n.52-53, p.156-179. Anno 9.

FAILLA *et al* (2004). Numerical modeling of masonry structures reinforced by FRP plate/sheets. In: STRUCTURAL CONSTRUCTIONS POSSIBILITIES OF NUMERICAL AND EXPERIMENTAL TECHNIQUES. Padova, Italy, p. 857-866.

ISO-BRICK (2003). Industrialised solutions for construction of reinforced bricks masonry shell roofs. In: CRAFT RESEARCH PROJECT: CONTRACT G5ST-CT-2001, 2003, Barcelona.1 CD-ROM.

MORALES, C. (1991). Profile: Eladio Dieste. *MIMAR 41: Architecture in Development*, London, n.41.

OLIVEIRA *et al.*(2003) – “Contribution for a full prefabrication approach of masonry shells”, *Report nº 03-DEC/E-05*, Universidade do Minho, Portugal. p. 17.

OLIVEIRA *et al.*(2002) – “Shear testing of stacked bonded masonry”, *Report nº 02-DEC/E-10*, Universidade do Minho, Portugal. p. 33.