

EDIFÍCIOS MODULARES PRÉ-FABRICADOS EM BETÃO

NOVAS SOLUÇÕES DE LIGAÇÕES ENTRE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE CONSTRUÇÕES MODULARES

A construção modular pode desempenhar um papel importante na resposta a alguns dos atuais problemas na construção civil, tais como, tornar o custo da construção mais acessível, soluções mais otimizadas e mais eco-eficientes, maior rapidez na construção de abrigos e hospitais de campanha necessários na ocorrência de eventos extremos (catástrofe natural, pandemias ou guerras). A construção de edifícios baseados em módulos (2D ou 3D) produzidos em fábrica implica necessariamente o transporte e montagem desses módulos no local da obra.

Ricardo do Carmo¹, Ricardo Martins, Romain Sousa², André Furtado³, Eduardo Júlio³

¹ CERIS & ISEC – Instituto Politécnico de Coimbra

² Vigobloco SA & RISCO-UA – Universidade de Aveiro

³ CERIS & Instituto Superior Técnico – Universidade de Lisboa

TIPOS DE LIGAÇÕES

Independente do sistema modular e estrutural adotado, as ligações verticais e horizontais entre elementos deverão ser devidamente dimensionadas e pormenorizadas. A conceção das ligações é um dos aspetos mais importantes a ter em consideração na construção modular, uma vez que estas são fundamentais para restringir movimentos entre módulos, garantir a transferência de esforços e proporcionar a estabilidade necessária a toda a estrutura [1]. Cada ligação deve ser dimensionada para garantir a resistência, rigidez e a ductilidade necessárias [2]. Outro aspeto importante são as tolerâncias necessárias à montagem de todo o sistema em obra, uma vez que as ligações deverão permitir acomodar alguns ajustes na acoplagem. Por fim, há que ter também em consideração as exigências funcionais, tais como, acessibilidade, isolamento ao fogo, estanquidade quando necessário, isolamento térmico e acústico.

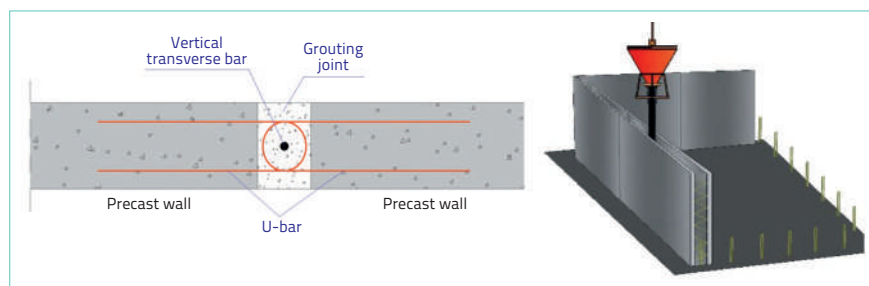
LIGAÇÕES HÚMIDAS

As ligações entre módulos de betão prefabricados podem classificar-se como secas ou húmidas. As ligações húmidas são caracterizadas pela colocação de armaduras e a realização de uma betonagem *in-situ*. Do ponto de vista do comportamento estrutural, as ligações húmidas, quando corretamente dimensionadas, permitem criar um comportamento monolítico, assegurando uma transmissão eficaz de esforços entre os módulos prefabricados e evitando deformações excessivas indesejadas nas condições de serviço [3]. Atendendo ao modo como são projetadas e produzidas, estas ligações têm ainda a vantagem de apresentarem uma boa proteção em caso de incêndio. No entanto, há também algumas desvantagens que não podem ser desprezadas, as ligações húmidas exigem a realização de algumas tarefas no local da obra que podem ser condicionadas pelas condições ambientais, e em caso de necessidade o processo de desconstrução é

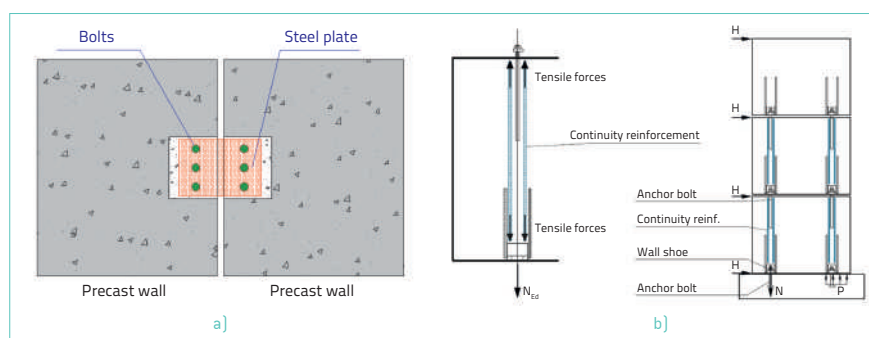
trabalhoso e semelhante à construção produzida *in situ*. Na Figura 1 apresentam-se alguns tipos de ligações húmidas. A ancoragem e pormenorização das armaduras foi objeto de análise nos estudos mais recentes [4-6].

LIGAÇÕES SECAS

As ligações secas utilizam normalmente elementos metálicos, aparafusados ou soldados, para estabelecer a ligação entre os módulos prefabricados. Este tipo de ligações, comparativamente às ligações húmidas, cria uma descontinuidade no sistema estrutural, pois a transmissão de esforços está concentrada apenas em regiões restritas. Geralmente, as ligações secas são utilizadas em construções localizadas em regiões de sismicidade baixa ou moderada. Quando a perigosidade sísmica é mais elevada, as ligações húmidas são usualmente selecionadas [8]. Os requisitos mencionados anteriormente também se aplicam



1>



2>

a este tipo de ligações, ou seja, é necessário assegurar resistência, rigidez e ductilidade simultaneamente com as tolerâncias dimensionais para a montagem no local da obra. Os benefícios das ligações secas são:

- i) execução mais fácil e rápida;
- ii) não é necessária a betonagem em obra e, portanto, é necessário menos mão-de-obra;
- iii) permitem a desmontagem, útil para edifícios

com uso temporário; e

- iv) benefícios no fim de vida da construção, maior facilidade na desconstrução e aproveitamento de materiais para reutilização e reciclagem [7].

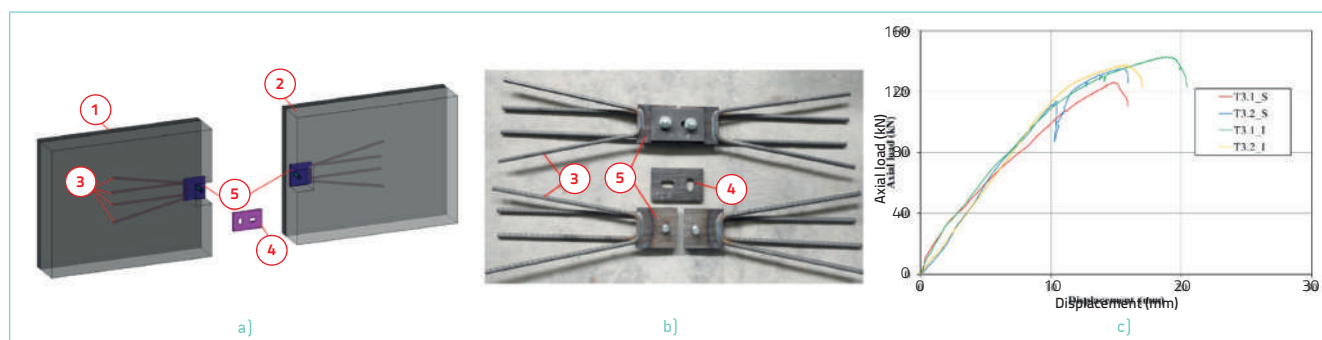
Na Figura 2 apresentam-se alguns exemplos de ligações secas desenvolvidas nos últimos anos [3,9]

LIGAÇÕES VERTICAIS E HORIZONTAIS ENTRE ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Atualmente o interesse pela construção modular tem aumentado e isso implicou um incentivo acrescido ao desenvolvimento de novas ligações secas, uma vez que esta abordagem tem vantagens do ponto de vista económico e ambiental. A título de exemplo, na Figura 3a e 3b apresenta-se uma das ligações que está atualmente a ser estudada em laboratório e que foi concebida essencialmente para unir lateralmente paredes pré-fabricadas [10]. A relação entre a força de tração aplicada e o deslocamento está apresentada na Figura 3c. Para a ligação vertical entre as paredes está também a ser estudada numericamente e experimentalmente uma solução inovadora que procura minimizar a quantidade de aço necessária na ligação seca, tirando o máximo de benefício das propriedades mecânicas do betão. A extremidade do varão de ligação não está junto ao limite da parede, mas sim a uma certa distância. A posição deste ponto, assim como a pormenorização das armaduras estão a ser analisadas em detalhe.

CONCLUSÕES

O papel das ligações reveste-se de especial importância na análise da robustez e comportamento sísmico de construções modulares.



3>

> Figura 1: Exemplos de ligações húmidas [7].

> Figura 2: Exemplos de ligações secas: a) ligação horizontal entre paredes, e b) Ligação vertical entre paredes e com a fundação [7].

> Figura 3: Ligação seca em estudo [10]: a) esquema da ligação; b) pormenor da ligação metálica c) relação força de tração-deslocamento. Legenda: 1) betão de elevada durabilidade; 2) betão leve eco-eficiente; 3) amarração da ligação; 4) chapa furada; 5) chapa metálica com parafuso

As ligações secas atualmente em estudo no projeto R2UTechnologies permitirão contribuir para construções mais seguras, fáceis de montar e com possibilidade de desmontagem e/ou reparação.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) através do financiamento à unidade de investigação CERIS com a referência UIDB/04625/2020. Este artigo foi desenvolvido no âmbito do Pacto de Inovação “R2UTechnologies ffl Modular systems” (C644876810-00000019), pelo consórcio “R2UTechnologies”, cofinanciado pelo NextGenerationEU, através do investimento “Agendas para a Inovação Empresarial” do Plano de Recuperação e Resiliência (PRR).

REFERÊNCIAS

- [1] Singhal S, Chourasia A, Chellappa S, Parashar J (2019). Precast reinforced concrete shear walls: State of the art review. *Structural Concrete* 20(3):886–898. doi: 10.1002/suco.201800129.
- [2] Fib (Fédération internationale du béton) (2008). Bulletin 43 - Structural connections for precast concrete buildings. Guide to good practice, task group 6.2.
- [3] Cai G, Xiong F, Xu Y, Larbi A S, Lu Y, Yoshizawa M (2019). A Demountable connection for low-rise precast concrete structures with DfD for construction sustainability-A preliminary test under cyclic loads. *Sustainability* 11(13). doi: 10.3390/su11133696.
- [4] Biswal A, Prasad A M, Sengupta A K (2019). Study of shear behavior of grouted vertical joints between precast concrete wall panels under direct shear loading. *Structural Concrete* 20(2):564–582. doi: 10.1002/suco.201800064.
- [5] Xu G, Wang Z, Wu B, Bursi O S, Tan X, Yang Q, Wen L (2017) Seismic performance of precast shear wall with sleeves connection based on experimental and numerical studies. *Engineering Structures* 150:346–358. doi: 10.1016/j.engstruct.2017.06.026
- [6] Martins R, Carmo R, Costa H, Júlio E (2021). Load bearing capacity of connections between innovative pre-walls designed to have high durability and eco-efficiency. *Journal of Building Engineering* 44. doi: 10.1016/j.job.2021.103356.
- [7] Martins R, Carmo R, Costa H, Júlio E (2023). A review on precast structural concrete walls and connections. *Advances in Structural Engineering* 26(14):2600–2620, 2023. doi: 10.1177/13694332231191073.
- [8] Sanghvi H R, Dhankot M A (2015). Analysis of precast shear wall connection - State of the art review. *International Journal of Research in Engineering and Technology* 4(2):767–770.
- [9] Psycharis I N, Kalyviotis I M, Mouzakis H P (2018). Experimental investigation of the response of precast concrete cladding panels with integrated connections under monotonic and cyclic loading. *Engineering Structures* 159:75–88. doi: 10.1016/j.engstruct.2017.12.036.
- [10] Martins R, Carmo R, Costa H, Júlio E, Furtado A, Romain S (2024). Innovative precast UHDC-LCLWAC composite walls – Development of dry-connections. 15th fib International PhD Symposium in Civil Engineering. Budapeste, Hungria.



Assine a Construção Magazine

Escolha o melhor plano para si ou para a sua empresa



em **papel** e/ou em **digital**

Ganhe acesso exclusivo à revista técnica de referência de engenharia civil, com artigos especializados e as últimas novidades tecnológicas e legais

A partir de 19€ por ano

www.construcaomagazine.pt/assinatura

6 números por ano + e-newsletters quinzenais

