

# CONSTRUÇÃO DE UMA FERRAMENTA NUMÉRICA PARA ANÁLISE DE RADIERS ESTAQUEADOS

Edilene Muniz de Oliveira, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal Goiás, [edilenemuniz@pop.com.br](mailto:edilenemuniz@pop.com.br)

Daniel de Lima ARAÚJO, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal Goiás, [araujodl@terra.com.br](mailto:araujodl@terra.com.br)

Helen Oliveira TENÓRIO, [helentenory@yahoo.com](mailto:helentenory@yahoo.com)

Palavras-chave: Consolo. Junta de cisalhamento. Concreto pré-moldado.

## 1 INTRODUÇÃO

A industrialização da construção, cada vez mais, torna-se necessária para o crescimento do país. Do ponto de vista das estruturas das edificações, a sua industrialização pode ser alcançada com o emprego de elementos pré-fabricados de concreto. Isto, devido à capacidade da pré-fabricação em atender, em tempo hábil e com alto padrão de qualidade, às necessidades do mercado, o qual se tem apresentado exigente não só em relação a prazos e custos, mas também ao desempenho e durabilidade. Devido ao maior controle de qualidade utilizado na confecção das peças de concreto em fábricas quando comparadas às estruturas moldadas no local, as primeiras, notadamente, apresentam maior durabilidade.

No entanto, a produção de estruturas pré-moldadas apresenta alguns entraves, como é o caso da presença de consolos de concreto em peças como pilares, vigas e paredes.

Os consolos exercem papel relevante nas estruturas pré-moldadas e sua execução tende a tornar a confecção das peças (vigas, pilares ou paredes) que o possuem intrincada. Isto ocorre devido tanto às altas taxas de armadura normalmente existentes quanto à problemática da moldagem conjunta da viga, pilar ou parede com o consolo. Quando a posição dos consolos, na peça, coincide com as laterais da fôrma, elas podem ser recortadas para o encaixe da fôrma do consolo, contudo essas alterações na fôrma danificam-na. Então, além do prejuízo à fôrma, a etapa

de modificação da mesma pode retardar o processo de produção. Quando, porém, essa posição coincide com o leito da fôrma, a mudança torna-se inviável.

O recurso utilizado pelas empresas de estruturas pré-moldadas a fim de contornar essas dificuldades na confecção de consolos de concreto é a moldagem em duas etapas, onde é feita, primeiramente, a confecção da peça suporte (viga, pilar ou parede) e, posteriormente, a moldagem do consolo sobre o concreto já endurecido, surgindo, então, uma junta. Essa concepção é carente de fundamento teórico. Os métodos de cálculo disponíveis na NBR 9062 (ABNT, 2006) são oferecidos de acordo com a geometria do consolo, não sendo especificado nenhum modelo para consolos de concreto moldados em duas etapas. Os modelos de cálculo para consolos normalmente são definidos de acordo com a relação  $a/d$  (sendo que  $a$  é a distância entre o ponto de aplicação da força e a face do pilar e  $d$  é a altura útil do consolo), conforme apresentado a seguir (NBR 9062, 2006):

- Para os consolos com relação  $1,0 < a/d \leq 2,0$ , o dimensionamento deve ser feito como viga em balanço como disposto na NBR 6118:2003;
- Para os consolos com relação  $0,5 < a/d \leq 1,0$  (consolos curtos), o dimensionamento deve ser feito conforme o modelo matemático de uma treliça de duas barras, uma tracionada (tirante) e outra comprimida (biela);
- Para os consolos com relação  $a/d \leq 0,5$  (consolos muito curtos), o dimensionamento deve ser feito supondo a ruptura ao longo do plano de ligação do consolo com seu suporte, podendo-se considerar o efeito favorável do engrenamento dos agregados desde que a interface seja atravessada por barras de aço perpendiculares à mesma.

Neste trabalho será avaliada a influência da adição de fibras de aço ao concreto, inclusive na junta entre o consolo e o pilar, diferentes tratamentos da interface e diferentes formas de ligação da armadura do tirante do consolo ao pilar no modo de ruptura e na resistência dos consolos. Serão analisados os procedimentos de cálculo de consolos de concreto disponíveis e apontados os mais apropriados para os consolos estudados nesta pesquisa. Esse trabalho surge, então, com uma análise experimental e analítica para estudar o comportamento de consolos de concreto executados em duas etapas, de modo a validar a aplicação dos

procedimentos de cálculo de consolos monolíticos a esse tipo de consolo e contribuir com o meio científico, impulsionando futuras pesquisas nessa linha.

A pesquisa encontra-se na fase do programa experimental, todavia ainda não foram obtidos resultados. Sendo assim, este resumo apresenta a metodologia a ser realizada e os resultados esperados.

## **2 METODOLOGIA**

A metodologia proposta para essa pesquisa consiste em revisão bibliográfica, estudos experimentais e estudos analíticos.

Como revisão bibliográfica do presente trabalho, serão feitos estudos relativos a mecanismos de transferência de esforços de cisalhamento em juntas de concreto, bem como, serão levantados os principais trabalhos relativos ao estudo de consolos monolíticos, com e sem fibras. Conjuntamente, será realizado um levantamento junto a fabricantes de estruturas pré-moldadas de concreto para identificar os procedimentos mais comuns na confecção de consolos moldados em duas etapas.

O programa experimental consistirá na realização de ensaios de dezoito consolos curtos, sendo 9 modelos diferentes. Como referência, terão 3 modelos de consolos monolíticos: um com concreto sem fibras e armadura convencional; um com concreto com fibras e armadura convencional; e um com concreto com fibras sem armadura de costura. Os modelos moldados em duas etapas terão como variáveis o tratamento da junta entre o consolo e o pilar (com chaves de cisalhamento e junta seca, com chaves de cisalhamento e epóxi, com superfície rugosa e com fibras metálicas atravessando a interface consolo-pilar), a presença ou não da armadura de costura, a adição de fibras ao concreto e a ligação da armadura do tirante do consolo ao pilar (por meio de luva e rosca e contínua – dobrada na moldagem do pilar e desdobrada após a desforma).

Todos os modelos terão o pilar com seção transversal de 30 cm x 30 cm e altura de 100 cm e os consolos com largura de 20 cm, altura de 40 cm e comprimento de 30 cm. Os modelos sem fibras, com seus respectivos corpos de prova para caracterização do concreto endurecido, serão fornecidos por uma empresa de pré-moldados da região, interessada nessa pesquisa, sendo, em seguida,

encaminhados para ensaio pela própria empresa. O fornecimento inclui o material (concreto, aço e fôrmas), a mão de obra e o transporte dos modelos e dos corpos de prova ao local de ensaio. Já os modelos com fibras serão moldados nas dependências da empresa Furnas Centrais Elétricas S.A., com sede na cidade de Aparecida de Goiânia, GO, onde serão, também, realizados os ensaios.

O concreto utilizado será de densidade normal com resistência média à compressão de 35 MPa. As fibras a serem utilizadas têm 60 mm de comprimento, 0,75 mm de diâmetro e resistência nominal de 1100 MPa.

Para a realização do ensaio, o modelo será posicionado na laje de reação e a força aplicada por meio de um atuador hidráulico fixado a um pórtico metálico devidamente ancorado na laje de reação. O ensaio será realizado com controle de força.

Nos ensaios serão medidas as deformações na armadura do consolo (tirante e armadura de costura), o deslocamento vertical do modelo, a abertura de fissuras na junta entre o consolo e o pilar e a força resistida pelo modelo. As instrumentações dos modelos serão feitas por extensômetros elétricos fixados nos tirantes e nas duas armaduras de costura consecutivas ao tirante, e por transdutores de deslocamento fixados, externamente.

Serão realizados, ainda, no laboratório de Furnas Centrais Elétricas S.A., os seguintes ensaios de caracterização do concreto no estado endurecido: resistência à compressão segundo a norma NBR 5739 (ABNT, 2007), módulo de elasticidade segundo a norma NBR 8522 (ABNT, 2008), resistência à tração por compressão diametral segundo a norma NBR 7222 (ABNT, 1994), flexão sob três pontos de carga com entalhe no meio do vão para determinação da energia no modo I de fratura, segundo a recomendação do RILEM 50-FMC (1985), e flexão sob quatro pontos de carga para a determinação da tenacidade nos concretos com fibras.

Após a realização dos ensaios será feito um estudo analítico a fim de comparar os resultados da capacidade resistente obtida nos ensaios com os valores oriundos dos procedimentos de cálculo de consolos. Até então, os métodos de cálculo que serão utilizados para comparação dos resultados obtidos são da NBR 9062 (ABNT, 2006), do PCI (PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE, 2004), do EUROCODE 2 (CEN, 2004), do Campione, La Mendola e Papia (2005), do

Campione, La Mendola e Mangiavillano (2007) e do Campione (2009). Serão ainda comparados, os resultados obtidos por Costa (2009).

### 3 RESULTADOS ESPERADOS

É esperado que, com os tratamentos propostos na interface, os modelos não monolíticos apresentem comportamento à ruptura e capacidade de carga semelhante aos monolíticos. E que, ainda, as fibras metálicas possam ser utilizadas em substituição à armadura de costura, o que facilitaria significativamente a execução.

### 4 REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9062: Projeto e execução de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2006, 41 p.

\_\_\_\_\_, NBR 5739 – Concreto – Ensaio de Compressão de Corpos de prova cilíndricos – Método de Ensaio, Rio de Janeiro, 2007, 9 p.

\_\_\_\_\_, NBR 8522 – Concreto – Determinação dos Módulos Elásticos de Elasticidade e Deformação e da Curva tensão versus deformação, Rio de Janeiro, 2008, 16 p.

\_\_\_\_\_, NBR 7222 – Argamassa e Concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos, Rio de Janeiro, 1994, 3 p.

CAMPIONE, G. Flexural response of FRC corbels. Itália, v. 31, p. 204-210, 2009.

CAMPIONE, G., LA MENDOLA, L., MANGIAVILLANO, M. L. Steel fiber-reinforced concrete corbels: Experimental behavior and shear strength prediction. **ACI Structural Journal**. v. 104, nº 5, p. 570-579, 2007.

CAMPIONE, G., LA MENDOLA, L., PAPIA, M. Flexural behavior of concrete corbels containing steel fibers or wrapped with FRP sheets. **Materials and Structures**. Itália, v. 38, p. 617-625, 2005.

COSTA, J. B. A. **Estudo experimental de consolos de concreto com fibras moldados em etapas distintas dos pilares**. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE – PCI. PCI Design Handbook. 6th Edition, 736 p., 2004.

RILEM DRAFT RECOMMENDATION, TC 50-FMC Committee Fracture Mechanics of Concrete, Determination of the fracture energy of mortar and concrete by means of three-point bend tests on notched beams, *Matériaux et Constructions*, v. 18, n. 106, 1985, p. 285-290.