

ESTUDO NUMÉRICO DA INFLUÊNCIA DO REFORÇO DE LIGAÇÕES NO COMPORTAMENTO DE UM PÓRTICO

Tatiana de Cássia Coutinho Silva da Fonseca¹ & João Bento de Hanai²

Resumo

Apresenta-se neste trabalho o estudo do efeito do reforço de ligações no comportamento de um modelo de pórtico. Para a simulação numérica, utilizou-se o programa DIANA. Os resultados obtidos com modelo numérico foram comparados com os resultados do ensaio experimental em um pórtico com dimensões reduzidas. O pórtico foi constituído por dois pilares e uma viga. Estes elementos foram solidarizados por duas ligações do tipo dente Gerber-consolo que tem comportamento próximo a articulações. O pórtico foi submetido a carregamento em ciclos até apresentar fissuração expressiva. O carregamento foi retirado, as ligações foram reforçadas e submeteu-se o pórtico a carregamento novamente. No estudo numérico, se buscou simular o carregamento cíclico e a modificação da estrutura por meio do reforço. Realizou-se a análise em duas fases: a primeira com as ligações articuladas e a segunda com as ligações reforçadas. Os resultados numéricos se aproximaram dos numéricos e permitiram uma melhor compreensão em relação à distribuição de tensões na estrutura.

Palavras-chave: FRP. DIANA. Ligações viga pilar.

NUMERICAL STUDY OF A FRAME WITH STRENGTHENED BEAM-TO-COLUMN CONNECTIONS

Abstract

In this paper is presented a numerical study of the strengthening of beam-to-column connections in a frame. The software DIANA was used for the numerical simulation. The results of experimental tests were used to verify the accuracy of the numerical model. The experimental tests were performed in a small scale frame composed of precast columns and one beam. Initially there were pinned connections between the beam and columns. A cyclical loading was applied to the frame until the beam cracking was observed. The connections were strengthened and the frame was loaded again until failure. The numeric study aimed to simulate the cyclical loading and the structural changes by strengthening. The numerical results approached of the experimental ones and allowed a better understanding in relation to the stress distribution in the structure.

Keywords: FRP. DIANA. Beam-to-column connection.

Linha de Pesquisa: Estruturas de Concreto e de Alvenaria.

1 INTRODUÇÃO

Os polímeros reforçados com fibras têm seu emprego crescente no reforço de estruturas de concreto. Neste trabalho apresenta-se uma etapa da investigação de uma proposta inovadora para o emprego deste material no reforço de estruturas de concreto pré-moldado, especificamente em ligações viga-pilar. Com um ensaio piloto, avaliou-se experimentalmente a influência do reforço

¹ Doutoranda em Engenharia de Estruturas - EESC-USP, tfonseca@sc.usp.br

² Professor do Departamento de Engenharia de Estruturas da EESC-USP, jghanai@sc.usp.br



dessas ligações no comportamento de um pórtico. Na Figura 1, apresentam-se as características do modelo experimental e o esquema de ensaio.

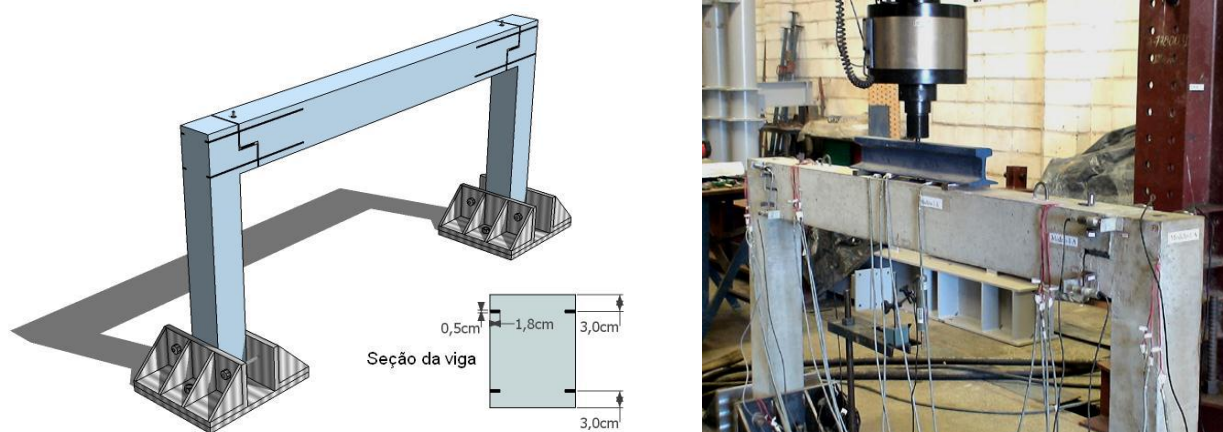


Figura 1 – Características geométricas do modelo experimental e esquema de ensaio.

O ensaio foi realizado em duas etapas denominadas de Etapa 1 e Etapa 2. A Etapa 1 compreendeu: realização de ensaio dinâmico no modelo íntegro; ciclo de aplicação de força com pico de 35 kN; realização de ensaio dinâmico; ciclo de aplicação de força com pico de 55 kN; realização de ensaio dinâmico no modelo fissurado. A Etapa 2 (ligações reforçadas) compreendeu: realização de ensaio dinâmico no modelo com ligações reforçadas; ciclo de aplicação de força com pico de 41 kN; realização de ensaio dinâmico; ciclo de aplicação de força com pico de 94 kN correspondente a ruptura de uma das ligações; realização de ensaio dinâmico no modelo após ruptura.

2 DESENVOLVIMENTO

Para a simulação numérica, utilizou-se o pacote computacional DIANA que permite a consideração de fenômenos complexos que interferem na resposta de estruturas de concreto como: fissuração, plasticidade, confinamento, fluência, cura, histórico de carregamento. Muitos trabalhos foram realizados com o DIANA anteriormente com bons resultados como Oliveira (2008).

Optou-se pela utilização de um modelo sólido tridimensional. Empregou-se apenas a simetria em relação ao plano ortogonal, ou seja, a análise foi realizada em meio modelo. Na base do pilar, foram impedidos os deslocamentos em x, y e z para simular o engaste e no plano de simetria restringiram-se os deslocamentos em x. Não foi necessário restringir as rotações, pois o elemento finito utilizado não apresenta esse grau de liberdade.

Para a discretização do concreto, foi utilizado o elemento finito isoparamétrico sólido CHX60. Para as juntas entre a viga e o pilar, utilizou-se o elemento finito CQ48I. Trata-se de um elemento de interface estrutural que descreve o comportamento da interface em função das relações entre força e deslocamentos normal e tangencial. Para a representação das armaduras e laminados, utilizou-se o elemento denominado Embedded Reinforcement. Por padrão, esse elemento não possui graus de liberdade próprios e sua deformação é computada a partir do campo de deslocamento do elemento no qual está inserido. Isso implica aderência perfeita entre a armadura e o material adjacente (DIANA 2005).

Optou-se pela utilização do modelo constitutivo para o concreto *Modified Maekawa*, ou Modelo Maekawa Modificado que combina um modelo plástico multi-axial de dano para representar o efeito de ruptura do concreto sob compressão e um modelo de fissuração baseado nos modelos *Total Strain* para representar o concreto sob tração. Para a simulação em questão, esse modelo é particularmente interessante por sua capacidade de simular o efeito de histerese em ciclos de carregamento e

descarregamento. Considerou-se para a fissuração o modelo de fissuras fixas, como especificado no Quadro 1 que sintetiza os principais parâmetros utilizados na simulação.

Quadro 1 – Resumo dos parâmetros utilizados na simulação numérica

Parte estrutural	Material	Propriedade	Descrição
Viga e pilar	Concreto	Modelo constitutivo	Maekawa fixed
		Módulo de elasticidade	30 GPa
		Coefficiente de Poisson	0,2
		Fator de correção da plastificação (bfac)	1
		Resistencia à compressão	54 MPa
		Resistência à tração	3,2 MPa
		Curva na tração	Exponencial
		Energia de fratura (GF1)	0,09800
Armadura	Aço	Fator de retenção ao cisalhamento	0,99999
		Módulo de elasticidade	200 GPa
		Coefficiente de Poisson	0,3
		Critério de resistência	Von Mises
Interface vertical superior	-	Fy	500 MPa
		Rigidez normal	1.10^{-11} N/mm ³
Interface vertical inferior (fase2)	-	Rigidez tangencial	1.10^{-11} N/mm ³
		Rigidez normal	$2,3.10^3$ N/mm ³
Interface horizontal	-	Rigidez tangencial	1 N/mm ³
		Rigidez normal	0,7 N/mm ³
Armadura (fase2)	Laminado	Rigidez tangencial	0,09 N/mm ³
		Módulo de elasticidade	131 GPa
		Coefficiente de Poisson	0,3
		Critério de resistência	Von Mises
		Fy	2000 MPa

3 RESULTADOS OBTIDOS

Na Figura 2, apresentam-se as curvas força x deslocamento vertical a meio vão da viga, numérica e experimental. Observa-se, como em outras pesquisas, que o modelo numérico é menos deformável. A diferença entre os deslocamentos numéricos e experimentais para a mesma força é de cerca de 40% no final do ultimo ciclo, entretanto considera-se que as curvas são extremamente semelhantes em forma. Poder-se-ia ter buscado um melhor ajuste com a alteração dos dados de entrada da análise, contudo uma correspondência perfeita entre os resultados não era necessária já que não se pretendia fazer análises paramétricas com base neste modelo e sim compreender melhor o comportamento da estrutura reforçada para elaborar uma nova proposta de modelo experimental. Neste caso, a diferença é considerada aceitável.

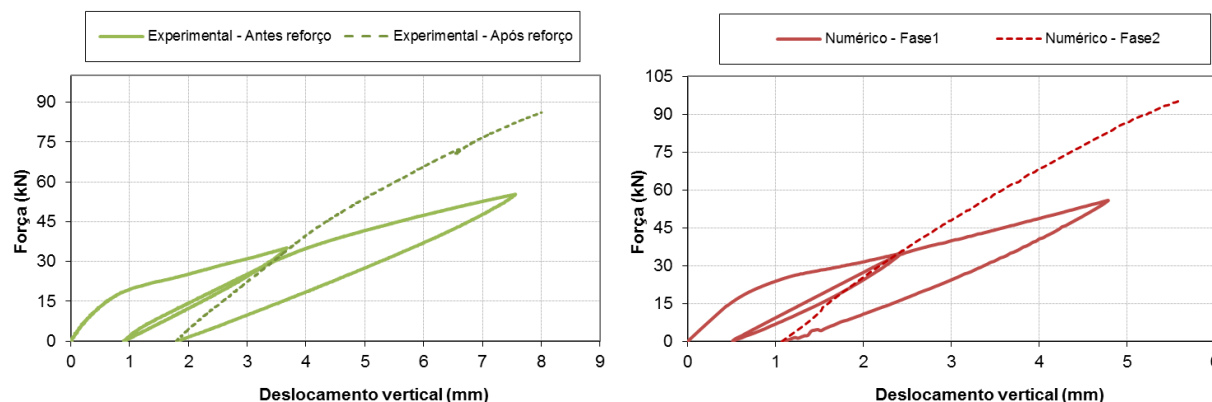


Figura 2 – Curvas força x deslocamento experimental e teórica.

Nota-se a eficiência do modelo constitutivo adotado (Maekawa) na representação do comportamento da estrutura submetida a carregamento cíclico. A queda da rigidez no segundo ciclo de carregamento é de cerca de 45%. No ensaio experimental essa queda é de 56%. O efeito do reforço das ligações também é evidente no aumento de inclinação na segunda fase da análise que foi de aproximadamente 27%. Experimentalmente se verificou um aumento de 48%.

Na Figura 3 estão representadas as tensões principais máximas no modelo antes do reforço (esquerda) e depois do reforço (direita). Na primeira fase da análise, as tensões de compressão se dirigem da linha de aplicação da força ao consolo. A maior concentração da compressão ocorre no ponto de aplicação da força. Na segunda fase, observa-se a mudança no caminhar das forças em função do reforço. Nota-se que surge uma concentração de esforços na linha do laminado tracionado e na região inferior do consolo, coerente com a ativação destes dois elementos nesta fase.

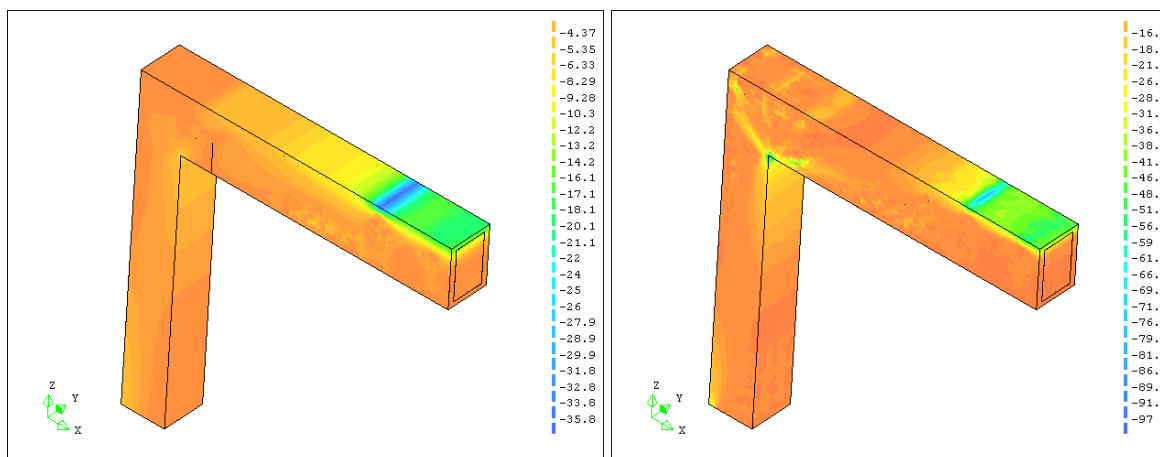


Figura 3 – Distribuição das tensões máximas antes e depois do reforço das ligações.

4 CONCLUSÕES PARCIAIS

Na comparação dos resultados numéricos e experimentais percebe-se que o modelo numérico é menos deformável ainda assim é capaz de fornecer informações importantes em relação ao comportamento do modelo físico tanto antes quanto após o reforço. Foi possível visualizar claramente a modificação da distribuição das tensões promovida pelo reforço o que contribui para definição dos critérios a serem adotados no dimensionamento do mesmo.

5 REFERÊNCIAS

DIANA. **Finite Element Analysis: Users Manual release 9** – Element Library. Delft, Netherlands: TNO DIANA, 2005.

OLIVEIRA, W.L.A. (2008). **Análise teórico-experimental de pilares mistos preenchidos de seção circular**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.