

Ligações Viga-Viga de Concreto Preformado sob Torção

Mikhail Luczynski¹; Dênio Ramam Carvalho de Oliveira²; Alcebiades Negrão Macêdo³

RESUMO

São apresentadas análises do comportamento experimental de oito conjuntos de vigas de concreto armado simulando a ligação viga-viga, submetida a esforços de torção, flexão e cisalhamento, sendo quatro conjuntos maciços e quatro preformados. A principal variável de estudo foi a taxa geométrica de armadura de pele no combate ao esforço de torção e à ruptura da ligação. As vigas apresentaram seções transversais de 150 mm x 400 mm e comprimentos de 1.800 mm e 600 mm para os trechos bi-engastados e em balanço, respectivamente. Os resultados experimentais mostraram que o comportamento dos outros conjuntos em relação aos de referência foram satisfatórios, viabilizando a utilização da armadura de pele como armadura adicional para reforço da ligação utilizando o sistema preformado.

Palavras-chave: Concreto Armado, Viga, Torção, Ligação, Sistema Preformado.

¹ Mestre em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará. Email: mikha_civil@yahoo.com.br.

² Professor Doutor, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará. Email: denio@ufpa.br. Rua Augusto Corrêa, Número 01. Guamá-Belém-Pará. 66075-970.

³ Professor Doutor, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará. Email: anmacedo@ufpa.br. Rua Augusto Corrêa, Número 01. Guamá-Belém-Pará. 66075-970.

1 Introdução

A industrialização dos processos construtivos no Brasil é além de uma necessidade, uma tendência progressiva. Como ocorreu na América do Norte e Europa, a necessidade de um planejamento mais previsível, com menor grau de variabilidade, estimulou a industrialização do processo de execução de estruturas de concreto. A execução de estruturas de concreto premoldado está inserida no conjunto dos processos construtivos industrializados. Os elementos premoldados surgiram já há algum tempo, como alternativa para obtenção de obras mais enxutas, caracterizando-se pelo uso racional dos materiais. Além disto, o fato de não haver necessidade do uso de fôrmas e escoras de madeira torna este sistema ecologicamente correto, contribuindo para a redução da extração de madeiras, além de estimular as empresas do ramo a beneficiar este material, agregando maior valor para sua utilização em fins mais nobres (Melo, 2006).

Os elementos preformados são elementos estruturais confeccionados em placas delgadas de concreto premoldado que incorporam parte ou totalidade das armaduras longitudinais e transversais. Nesse sistema, estas placas possuem uma dupla função, pois servem como molde ao mesmo tempo em que são partes integrantes e resistentes do elemento estrutural, diferente do sistema convencional maciço onde as fôrmas são utilizadas meramente para dar forma ao elemento. Quando o elemento é solicitado, as placas também contribuem em sua capacidade resistente. Devido a esta característica e à descontinuidade das placas na região superior das vigas, optou-se por submetê-las a ensaios de torção, pois nesta condição apenas uma camada periférica participa do seu mecanismo resistente, sendo o núcleo pouco solicitado. Esse raciocínio governa os métodos de dimensionamentos de vigas de concreto armado, recomendados pelas principais normas nacionais e internacionais, levando à consideração de que a espessura das placas tenha influência potencializada no combate às tensões tangenciais atuantes.

Este trabalho tem como objetivo analisar a contribuição de diferentes configurações de armadura de pele e uma única configuração de armadura adicional de ancoragem verificando o comportamento de vigas preformadas ao esforço de torção oferecido pelas armaduras de pele e na ancoragem da ligação viga-viga.

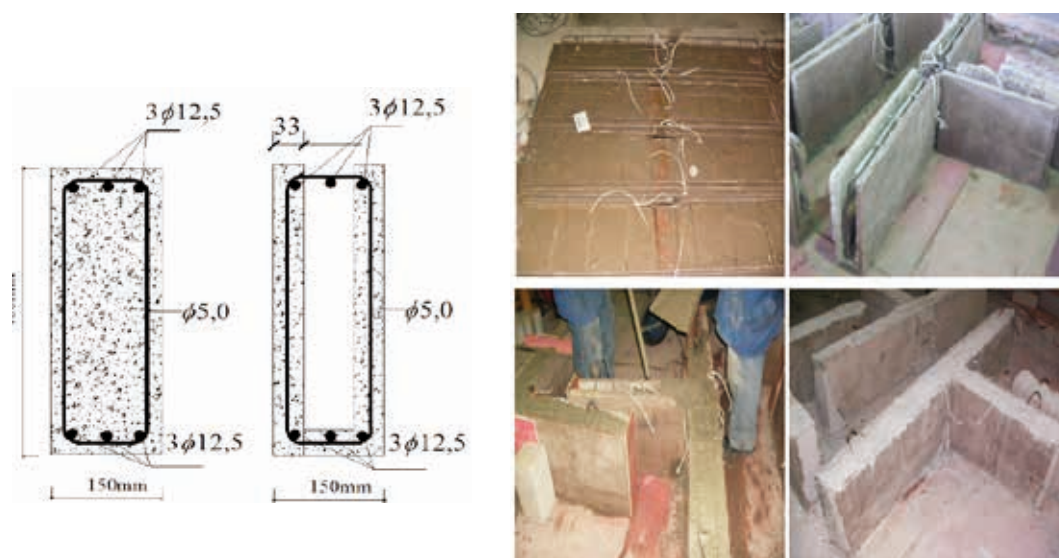
2 Fabricação dos Conjuntos Analisados

Os moldes de madeira dos conjuntos maciços foram confeccionados de maneira convencional utilizando compensado resinado com espessura de 10 mm e sarrafos de madeira para o travamento dos mesmos, visando impedir que o molde abrisse durante a etapa de concretagem. Os moldes dos painéis premoldados foram confeccionados sobre piso plano, também com compensado resinado e com sarrafos para obtenção de retilidade e rigor nas dimensões das placas premoldadas. Na confecção das vigas preformadas a granulometria do seixo é importante para a confecção das preformas das vigas, pois facilita a imersão da armadura e também melhora a trabalhabilidade

do concreto, facilitando a fixação do cobrimento nominal das armaduras.

Para todos os conjuntos utilizou-se o mesmo traço de 1: 1,55: 2,33 e fator água-cimento de 0,45, com abatimento de 100 ± 20 mm, sendo que foi substituído 15% de cimento em peso por Metacaulim HP adquirido junto à empresa Metacaulim do Brasil, com a finalidade de aumentar a resistência mecânica do concreto. A concretagem das vigas prefabricadas foi realizada em etapas. Para as preformas o concreto foi dosado no laboratório de Engenharia Civil da UFPA, devido ao pequeno volume a ser utilizado, bem inferior ao das vigas maciças e dos núcleos das prefabricadas. Como os conjuntos prefabricados foram confeccionados em pelo menos quatro etapas, as plataformas de moldagem foram reutilizadas durante as concretagens, otimizando a madeira. Ressalta-se que esta madeira pode ser facilmente eliminada do processo de fabricação com a utilização de chapas metálicas ou plásticas. A figura 1 mostra a seqüência de produção artesanal dos conjuntos prefabricados.

Figura 1: Sistema de produção dos conjuntos prefabricados



3 Programa Experimental

Foram analisados oito conjuntos de vigas de concreto armado, compostos por duas vigas sendo uma bi-engastada (VA) e outra em balanço (VB) simulando a ligação viga-viga, com dimensões de 150 mm x 400 mm para a seção transversal e comprimento de 1.800 mm e 600 mm para as vigas bi-engastada e em balanço, respectivamente. Quatro conjuntos foram maciços, para referência, e quatro foram prefabricados. A principal variável considerada foi a armadura adicional longitudinal no combate ao esforço torçor,

constituída por armaduras de pele de diâmetro de 5,0 mm. Aplicou-se um carregamento na direção vertical com o sentido de baixo para cima na viga em balanço, através de uma rótula metálica, a fim de promover um momento torçor na viga bi-engastada. A tabela 1 apresenta as principais características das vigas e a figura 2 mostra o sistema de ensaio utilizado para os conjuntos analisados.

Tabela 1: Características das vigas.

Vigas	Armadura Longitudinal	Armadura de pele (bi-engastada)	Armadura adicional de ancoragem	$A_{sl,min}$ (mm ²)
VMREF	2 X 3 ϕ 12,5	-	-	50
VMAP1		-	1 ϕ 5,0	
VMAP2		2 ϕ 5,0	-	
VMAP3		4 ϕ 5,0	-	
VPFREF		-	-	
VPFAP1		-	1 ϕ 5,0	
VPFAP2		2 ϕ 5,0	-	
VPFAP3		4 ϕ 5,0	-	

Figura 2 – Sistema de ensaio



Foram medidos os deslocamentos horizontais e verticais através de deflectômetros analógicos, com leitura máxima de 50 mm e precisão de 0,01mm/m, posicionados de três formas: um direcionado na vertical posicionado no ponto médio do eixo longitudinal de simetria da viga bi-engastada VA, a 75 mm da borda. Os outros quatro deflectômetros foram direcionados horizontalmente e posicionados na face posterior da alma da viga VA, mais precisamente a 30 mm da borda superior como mostra a figura 3. Os deslocamentos horizontais observados possibilitaram a determinação dos ângulos de torção (θ) a partir do torque solicitante nas vigas bi-engastadas sendo calculados considerando que a seção rotacionou em torno do eixo longitudinal da viga bi-engastada e que os deslocamentos observados no deflectômetro D3 foram somente horizontais.

Durante os ensaios também foram medidas as deformações do concreto e das armaduras dos conjuntos, sendo que as armaduras foram monitoradas da mesma forma que o concreto, no sentido longitudinal e sendo ligadas ao aparelho de aquisição de dados das deformações ALMEMO/AHLBORN. Para as armaduras de pele, os sensores foram posicionados na região aonde se concentram as maiores tensões, ou seja, na região de ligação das vigas, porém nas vigas VMAP1 e VPFAP1, como a barra apresentando somente 800 mm de comprimento, o sensor foi instalado no centro do comprimento total e a barra foi posicionada por dentro da curva do gancho de ancoragem. A figura 4 mostra a posição dos extensômetros elétricos de resistência nas vigas VMAP1, VPFAP1, VMAP2 e VPFAP2.

Figura 3 – Posicionamento dos deflectômetros

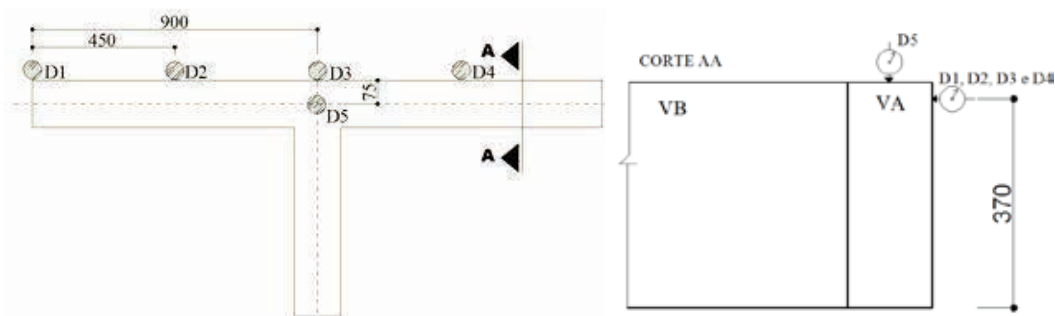
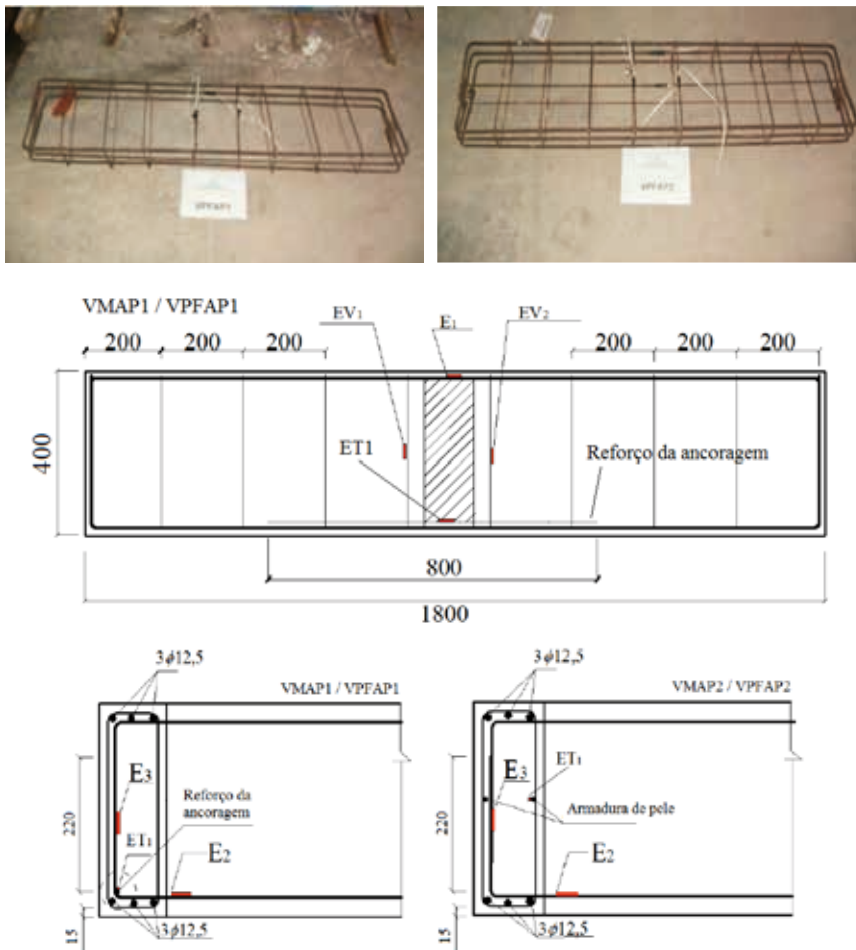


Figura 4 – Posicionamento dos extensômetros nos conjuntos de vigas



4 Resultados Experimentais

As resistências à compressão para os concretos empregados foram determinadas através de ensaios de compressão axial em corpos-de-prova cilíndricos medindo 100 x 200 mm de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 1994) e as resistências à tração como recomendado pela NBR 7222 (ABNT, 1994) a partir de ensaios de compressão diametral, também em corpos-de-prova cilíndrico com as mesmas dimensões. Para determinação do módulo de elasticidade foram ensaiados para cada conjunto três corpos-de-prova cilíndricos de 150 mm x 300 mm de dimensões, de acordo com as recomendações da NBR 8522 (ABNT, 1984). A tabela 2 apresenta os resultados experimentais obtidos para determinação da resistência à compressão (f_c), à tração (f_{ct}) e o módulo de elasticidade para o concreto das vigas maciças, preformas e núcleos, em suas respectivas idades.

Tabela 2 – Resistências à compressão, tração e módulo de elasticidade dos concretos

ETAPAS	f_c (Mpa)	f_{ct} (Mpa)	$E_{c\text{ Exp}}$ (Gpa)
Prefôrma 1	21,6	1,2	29,4
Prefôrma 2	22,1	1,2	28,6
Núcleo	46,8	2,6	41,5
Maciças	26,3	1,5	31,6

Foram retiradas aleatoriamente três amostras de cada bitola das barras de aço utilizadas na confecção das armaduras das vigas. As amostras foram submetidas ao ensaio de tração axial, de acordo com a NBR 6152 (ABNT, 1992), para determinação do diagrama tensão deformação e da resistência à tração. As deformações das barras foram medidas através de extensômetros mecânicos. As propriedades mecânicas dos aços utilizados nesta pesquisa são apresentadas na tabela 3, e os valores adotados correspondem à média dos resultados dos ensaios das três amostras.

Tabela 3: Propriedades mecânicas do aço utilizado

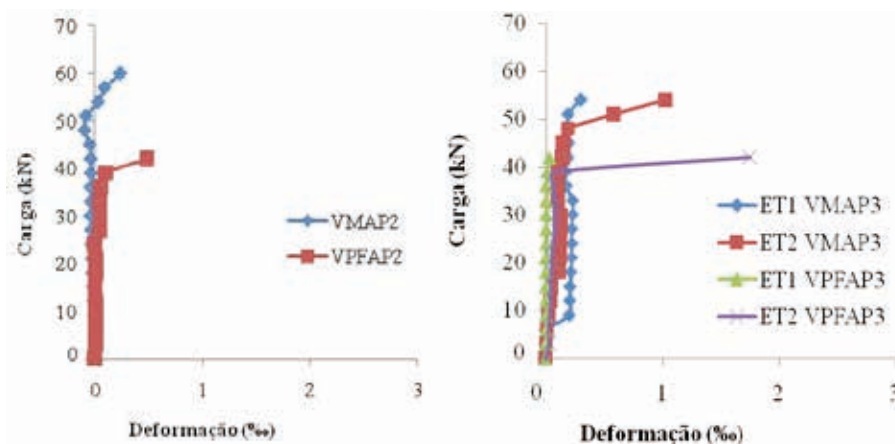
ϕ (mm)	f_{ys} (Mpa)	ξ_{ys} (‰)	A_s (mm ²)	E_s (GPa)
5,0	620,0	4,5	20,0	248,2
12,5	560,3	2,3	125,0	243,5

As superfícies superiores dos conjuntos preformados apresentaram deformações menores que as dos conjuntos maciços. Na região de ligação viga-viga ocorreram fissuras de esmagamento do concreto, caracterizando a fragilidade da biela ao esforço de torção. De modo geral, o aumento da taxa de armadura de pele aumentou a quantidade de fissuras nas vigas, embora nos conjuntos preformados tenha ocorrido o descolamento da placa premoldada do núcleo devido ao fluxo de tensões cisalhamento. Os ganchos de ancoragem foram solicitados em todos os conjuntos, na ligação viga-viga. Nos conjuntos VPFAP1 e VMAP1 os ganchos foram menos solicitados, sendo tal comportamento atribuído à armadura adicional de ancoragem. Em todos os conjuntos não houve ruptura precoce da ligação viga-viga, o que se verificou em pesquisas anteriores, onde houve fissuração excessiva na região de ligação, embora as fissuras na região inferior tenham se destacado na ligação entre os elementos.

As armaduras de pele foram mais solicitadas que as armaduras adicionais de ancoragem, tanto nos conjuntos maciços quanto nos preformados, devido à mesmas terem sido posicionadas na região onde ocorreu o fluxo de cisalhamento proveniente do esforço de torção, além do intenso esforço de arrancamento da viga em balanço, enquanto que as armaduras de ancoragem ficaram localizadas na região interna do conjunto, ou seja, fora da área equivalente ao esforço de torção. Apesar dessa armadura ter sido pouco solicitada, sua presença é recomendada para melhorar a ancoragem de ganchos de ancoragem. A figura 5 mostra as deformações da armadura adicional de ancoragem

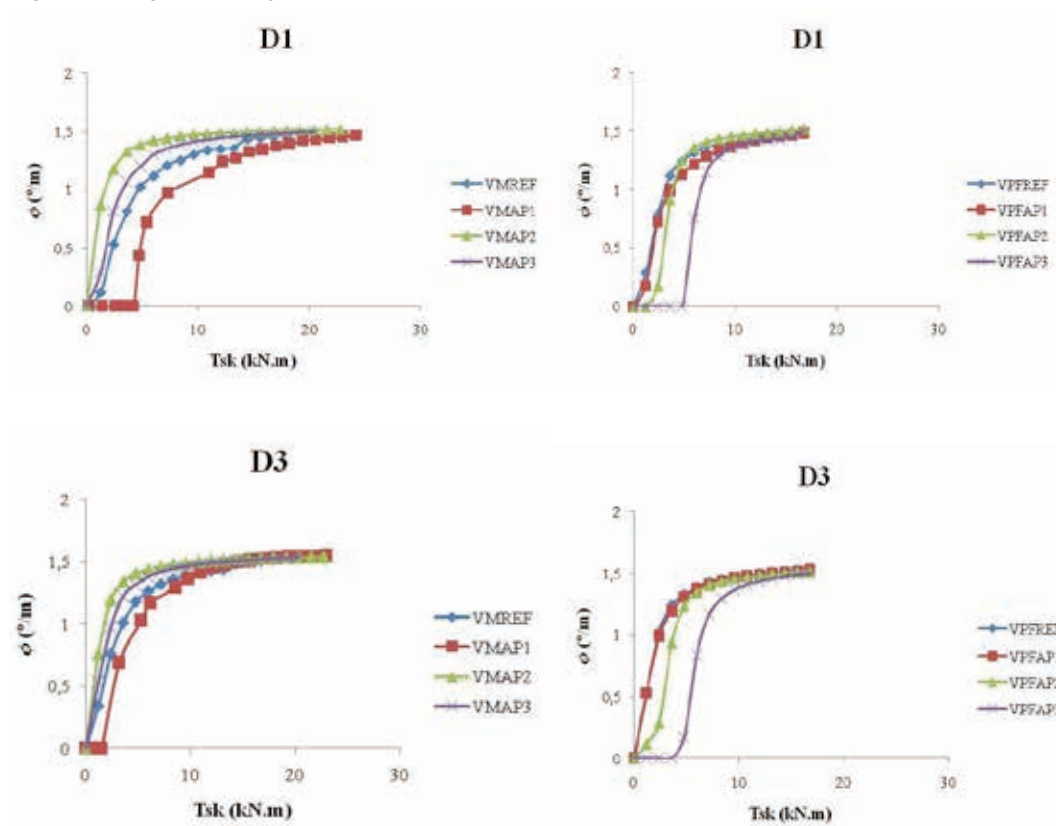
e da armadura de pele.

Figura 5: Deformações das armaduras adicionais de ancoragem e armaduras de pele



Para os ângulos de torção determinados a partir dos deslocamentos horizontais observados, os conjuntos preformados apresentaram valores semelhantes em relação ao conjunto de referência. Nos conjuntos VMAP1 e VPFAP1 foi observado que para se obter o mesmo ângulo de torção houve um aumento do torque solicitante, e também da resistência ao esforço de torção da viga, logo houve um maior rendimento dos conjuntos com armaduras adicionais de ancoragem, que proporcionaram maior rigidez à torção. A figura 6 mostra os gráficos de correlação entre os ângulos de torção e o torque solicitante na viga bi-engastada dos conjuntos.

Figura 6 – Ângulos de torção analisados a partir dos deslocamentos horizontais observados



Verificou-se que todos os conjuntos romperam por esmagamento da bela devido ao esforço de torção ao longo do comprimento da viga, sendo que as fissuras surgiram no ponto de ligação viga-viga e prolongaram-se até a região dos engastes de forma que a ligação entre as vigas não foi comprometida antes da ruptura. As fissuras de torção nos conjuntos preformados surgiram com carregamentos médios 9% maiores que as dos conjuntos maciços, apesar de que as fissuras de torção tenham surgido próximas ao carregamento de ruptura. Nos conjuntos preformados as fissuras seccionaram transversalmente as camadas de concreto, o que evidencia a interação placa premoldada-núcleo, que reagiram solidariamente aos esforços solicitantes. A figura 7 mostra as fissuras que seccionaram a preforma e o núcleo dos conjuntos preformados, ressaltando que as fissuras de torção circundam o elemento helicoidalmente na direção da ligação viga-viga, convergindo para o apoio.

Figura 7: Camadas de concreto dos conjuntos preformados após a ruptura



Para cada conjunto, calculou-se a capacidade resistente dos elementos estruturais de acordo com as recomendações da NBR 6118 (ABNT, 2003), quanto aos esforços de flexão (P_{flex}), cisalhamento por tração nos estribos (V_u), torção por esmagamento da biela e tração das armaduras longitudinais (P_{u1} e P_{u2}) para as vigas bi-engastadas (VA), respectivamente. E flexão e cisalhamento para as vigas em balanço (VB), a fim de estimar suas resistências para que não houvesse ruptura antes de ocorrer à torção. A ruptura por torção se daria pelo tracionamento das armaduras longitudinais e transversais. A tabela 4 apresenta os carregamentos de ruptura juntamente com os carregamentos

onde surgiram as primeiras fissuras, e as estimativas segundo a NBR 6118, onde se verificou que todos os conjuntos analisados apresentaram carregamentos de ruptura maiores que aqueles estimados para uma ruptura por cisalhamento, mas coincidiram com os estimados para esmagamento da biela e tração das armaduras longitudinais na torção.

Tabela 4: Cargas de ruptura e resistência estimada dos conjuntos ensaiados

Vigas	P_{exp} (kN)	P_{flex} (kN)	NBR 6118			P_{exp}/V_u	P_{exp}/P_{u1}	P_{exp}/P_{u2}
			V_u (kN)	P_{u1} (kN)	P_{u2} (kN)			
VMREF	55	268	173	59	56	0,32	0,93	0,98
VPFREF	45				56	0,26	0,76	0,80
VMAP1	62				57	0,36	1,05	1,09
VPFAP1	43				57	0,25	0,73	0,75
VMAP2	59				59	0,34	1,00	1,00
VPFAP2	45				59	0,26	0,76	0,76
VMAP3	64				62	0,37	1,08	1,03
VPFAP3	45				62	0,26	0,76	0,73

5 Conclusões

O comportamento estrutural dos conjuntos preformados analisados neste trabalho foi satisfatório em relação aos conjuntos maciços utilizados como referência. Com o sistema de ensaio utilizado e a aplicação de carga nos conjuntos ensaiados, esta pesquisa permitiu avaliar alguns aspectos relevantes no comportamento da ligação viga-viga deste sistema, comprovando a contribuição da armadura de pele no combate ao esforço de torção em elementos preformados. A resistência dos conjuntos preformados atingiu valores compatíveis com as características mecânicas dos materiais utilizados na sua fabricação. Os carregamentos de ruptura das vigas preformadas não apresentaram variações significativas em relação aos conjuntos maciços, de forma que não houve arrancamento da ancoragem mesmo nos conjuntos que não apresentaram armaduras adicionais, contribuindo para a eliminação da ruptura precoce das ligações viga-viga, evidenciada por outros autores.

6 Agradecimentos

Os autores agradecem a FADESP, FAPESPA, ITEGAM, CNPq e CAPES pelo suporte financeiro para a realização dessa pesquisa.

7 Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR5739/1994 – Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto*. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR6118/2003 – Projetos de estruturas de concreto*. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR6152/1992 – Materiais metálicos. Determinação das propriedades mecânicas à tração*. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR7222/1994 – Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos – Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR8522/1984 – Concreto – Determinação do módulo de deformação estática e diagrama tensão-deformação – Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1984.

MELO, J. G. S., SILVA FILHO, C. R., FERREIRA, M. P., Oliveira, D. R. C. (2006). *Viabilidade Técnica e Econômica do Sistema Estrutural Pré-Formado*. 48º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, Rio de Janeiro.

Preshaped Concrete Beam-Beam Joints under Torsion

ABSTRACT

This paper presents analysis for experimental behavior of eight groups of preshaped beams, simulating joints beam-beam, submitted to torsion, flexural and shear forces, with 04 solid groups and 04 preshaped ones. The main variable of study was the geometric rate of skin reinforcement used against torsion forces and the failure of the joint. The beams presented cross sections of 150 mm x 400 mm, lengths of 1.800 mm and 600 mm for the two fixed and the cantilever beams, respectively. The experimental results showed that the behavior of the other groups in relation to the reference one was satisfactory, making possible the use of the skin reinforcement as additional reinforcement to strength the preshaped joint.

Keywords: Reinforced Concrete, Beam, Torsion, Joint, Preshaped System.

1 Introdução

The industrialization of the construction processes is in Brazil, as well as a need, a progressive tendency. As occurred in North America and Europe, the need for planning a more predictable, with less variability, stimulated the industrialization process of the execution of concrete structures. The performance of precast concrete structures is embedded in all the industrialized building processes. The precast elements have emerged for some time as an alternative to getting leaner works, characterized by the rational use of materials. Moreover, the fact that there is need for the use of forms and shores of wood makes the system environmentally friendly, contributing to the reduction of timber extraction, and stimulate U.S. companies to benefit from this material, adding more value for their use noblest purposes (Melo, 2006).

The preshaped elements are structural elements made of thin plates of precast concrete that incorporate all or part of longitudinal and transverse reinforcement. In this system, these plates have a dual role because they serve as a mold at the same time they are integral and resistant parts of the structural elements, unlike the conventional system where the massive molds are used merely to form the element. Due to this characteristic and the discontinuity of the plates in the upper beams, it was decided to subject them to torsion tests, as this condition only a peripheral layer takes part of your resistant mechanism, the core being less loaded. This reasoning governs the methods of reinforced concrete beams design recommended by major national and international standards, leading to the consideration that the thickness of the plates has effective influence against acting tangential stresses. So, this study aims to analyze the contribution of different configurations of skin reinforcement and a single setting of additional anchorage reinforcement checking the behavior of preshaped beams under torsion provided by the skin reinforcement and in the beam-beam joint anchorages.

2 Experimental Program

Eight sets of reinforced concrete beams composed of two beams, with a bi-embedded (VA) and a cantilever (VB), simulating a beam-edge beam joint, with dimensions of 150 mm x 400 mm for the cross section and length of 1,800 mm and 600 mm for the bi-embedded beams and cantilever, respectively, were tested and analyzed. Four sets were solid, for reference, and four were preshaped. The main variable considered was the additional longitudinal reinforcement against torsion, consisting of skin reinforcement with diameter of 5.0 mm. A loading was applied in a vertical direction, from bottom to top in the cantilever beam through a steel plate in order to promote torsion moment on the bi-embedded beam.

3 Conclusões

The structural behavior of the preshaped sets analyzed in this work was satisfactory in relation to the solids ones used as a reference. With the test and loading system used in this research allowed to evaluate some important aspects in the behavior of beam-beam joint with this system, demonstrating the contribution of the skin reinforcement against torsion in preformed elements. The resistance of the preshaped joints reached values compatible with the mechanical characteristics of materials used in its manufacture. The failure loads of the preshaped beams did not show significant variations in relation to solid sets, so that there was no pullout of the anchorages even for sets without additional reinforcement, contributing to the elimination of premature rupture of beam-beam joints shown in the experimental results of other authors. The behavior of preshaped sets was consistent and compatible with the ultimate resistance estimated by NBR 6118.