

ANÁLISE COMPARATIVA DA INFLUÊNCIA DA LIGAÇÃO VIGA-PILAR NA CAPACIDADE DE CARGA DE VIGAS DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO

Deivid Henrique Locks (1), Bruno do Vale Silva (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1) *deivid.14@hotmail.com*, (2) *dovalesilva@hotmail.com*

RESUMO

No presente trabalho foram estudadas duas ligações viga-pilar de estruturas em concreto pré-moldado com ênfase em dois tipos de ligações viga-pilar. Foram moldadas 4 vigas divididas em 2 grupos, compostos cada um por 2 vigas. No grupo A foi utilizado um sistema convencional para pré-moldado utilizado na região, de apoio simples e no grupo B foi utilizado um sistema de vigas engastadas. As vigas foram moldadas com concreto C25 e aço CA-50, seções transversais de 15x25 cm e 198 cm de comprimento, e adotado o vão entre pilares de 200 cm obtendo assim 1 cm de folga de cada um dos lados da viga conforme solicitado na NBR 9062/2006. Foram moldados pilares ligados a uma “base” para que não ocorresse o giro do mesmo durante o ensaio, para que pudesse ser considerado o mais rígido possível. No primeiro instante foi verificado o carregamento necessário para que as vigas atingissem o deslocamento máximo estabelecido por norma ($L/250$), e no segundo e último instante do ensaio, foi verificado o carregamento para levar a viga à ruptura, verificado o deslocamento nesse instante e as fissuras analisadas com critério visual para mostrar a deformação permanente das vigas. Os resultados mostraram que o grupo B resistiu maiores cargas para o deslocamento máximo estabelecido por norma ($L/250$), sendo 145% superior ao grupo A e no instante da ruptura da viga o grupo B também resistiu maiores cargas, atingindo um carregamento 74% superior ao grupo A, fatos esses que colaboram para sua possível implantação em obra.

Palavras-Chave: Engastamento. Concreto armado. Pré-moldado. Ligação viga-pilar.

1. INTRODUÇÃO

Dentro das linhas de pesquisa na área de estruturas de concreto armado tem-se o estudo das ligações entre os seus elementos. Isso porque, as ligações são regiões de comportamento complexo, onde ocorrem concentrações de tensões, e portanto, merecem atenção especial por parte dos pesquisadores e projetistas.

O conhecimento do comportamento de um sistema estrutural de concreto pré-moldado está diretamente relacionado ao conhecimento do comportamento de suas ligações, que são responsáveis, entre outros, pela redistribuição dos esforços da estrutura. As ligações entre elementos pré-moldados, em geral, não se comportam da forma considerada na análise estrutural, onde são idealizadas como totalmente

articuladas ou rígidas. Sabe-se que aquelas classificadas como articulações frequentemente possuem razoáveis rigidez à flexão e resistência. Outras classificadas como rígidas podem apresentar deformações à flexão considerável. Enfim, as ligações entre elementos de concreto pré-moldado apresentam certa deformabilidade quando solicitadas, e por isso são denominadas na literatura de *semi-rígidas*, porem por não ocorrer a transmissão de momentos fletores entre viga x pilar, esse sistema construtivo resulta em peças mais robustas com taxas de aço mais elevadas que as estruturas convencionais com ligações rígidas. De acordo com Debs, (2000, p.24):

As ligações mais simples, normalmente articulações, acarretam elementos mais solicitados à flexão comparados com similares de concreto moldado no local, bem como estrutura com pouca capacidade de redistribuição de esforços. Já as ligações que possibilitam a transmissão de momentos fletores, chamadas de ligações rígidas, tendem a produzir estruturas com comportamento próximo ao das estruturas de concreto moldado no local. (DEBS, 2000, p. 24).

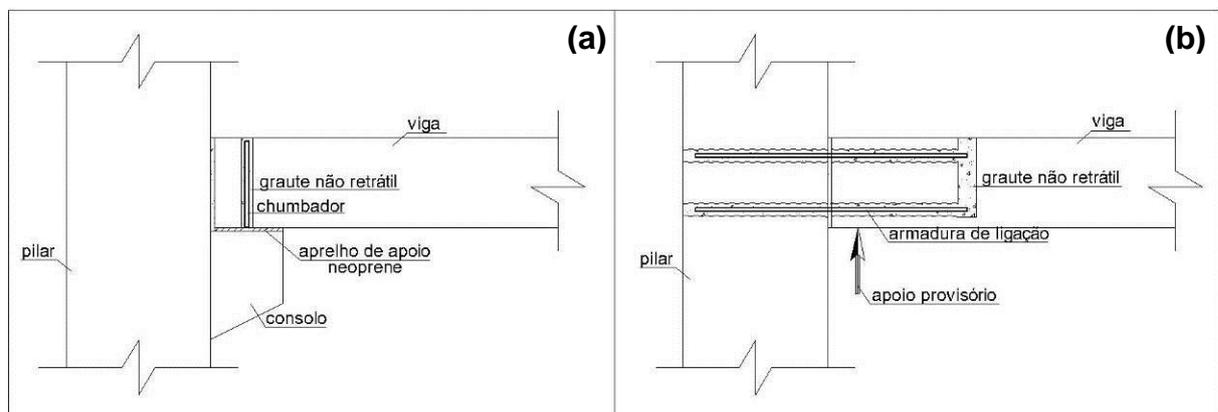
Para a determinação dos esforços e deslocamentos das vigas, são utilizados modelos matemáticos, que através de métodos probabilísticos, conseguem estimar o comportamento da estrutura quanto à distribuição de esforços internos, tensões, deformações e deslocamento. Para CHUST e FIGUEIREDO (2013, p. 41) o cálculo estrutural deve garantir com segurança que a estrutura mantenha certas características durante a sua vida útil, possibilitando a utilização satisfatória pelo seu usuário. A NBR 6118/2014 traz informações importantes sobre as análises estruturais, apresentando um avanço dos estudos de redistribuição de cargas, sejam elas por análise linear com redistribuição ou por meio de análise plástica e esclarece pontos sobre as não linearidades físicas e geométricas dos materiais e estruturas, que podem ser utilizadas como referência em sistemas pré-moldados. É importante compreender os diferentes tipos de análises estruturais estudando o comportamento dos materiais que constituem a estrutura, assim como a sua geometria que influenciarão na concepção do projeto. CHEN (1995, p. 1418) disse que, projeto estrutural envolve o arranjo e harmonia da estrutura, de maneira que após a montagem esta seja capaz de suportar as cargas solicitantes, dentro dos estadios limites de serviço, podendo ser realizados ensaios para a coleta de dados que contribuam na avaliação através de modelos analíticos, que são os idealizadores das análises atuais. Nesse sentido, o presente trabalho busca avaliar através de

ensaios experimentais a capacidade estrutural de uma viga pré-moldada ligada pelo meio convencional, apoio simples e por meio de ligação rígida.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do trabalho, foram moldadas 4 vigas divididas em 2 grupos, compostos cada um por 2 vigas, o grupo A foi utilizado o sistema convencional para pré-moldado utilizado na região, de apoio simples (Figura 1a), o grupo B foi utilizado o sistema de engastamento (Figura 1b) proposto neste trabalho.

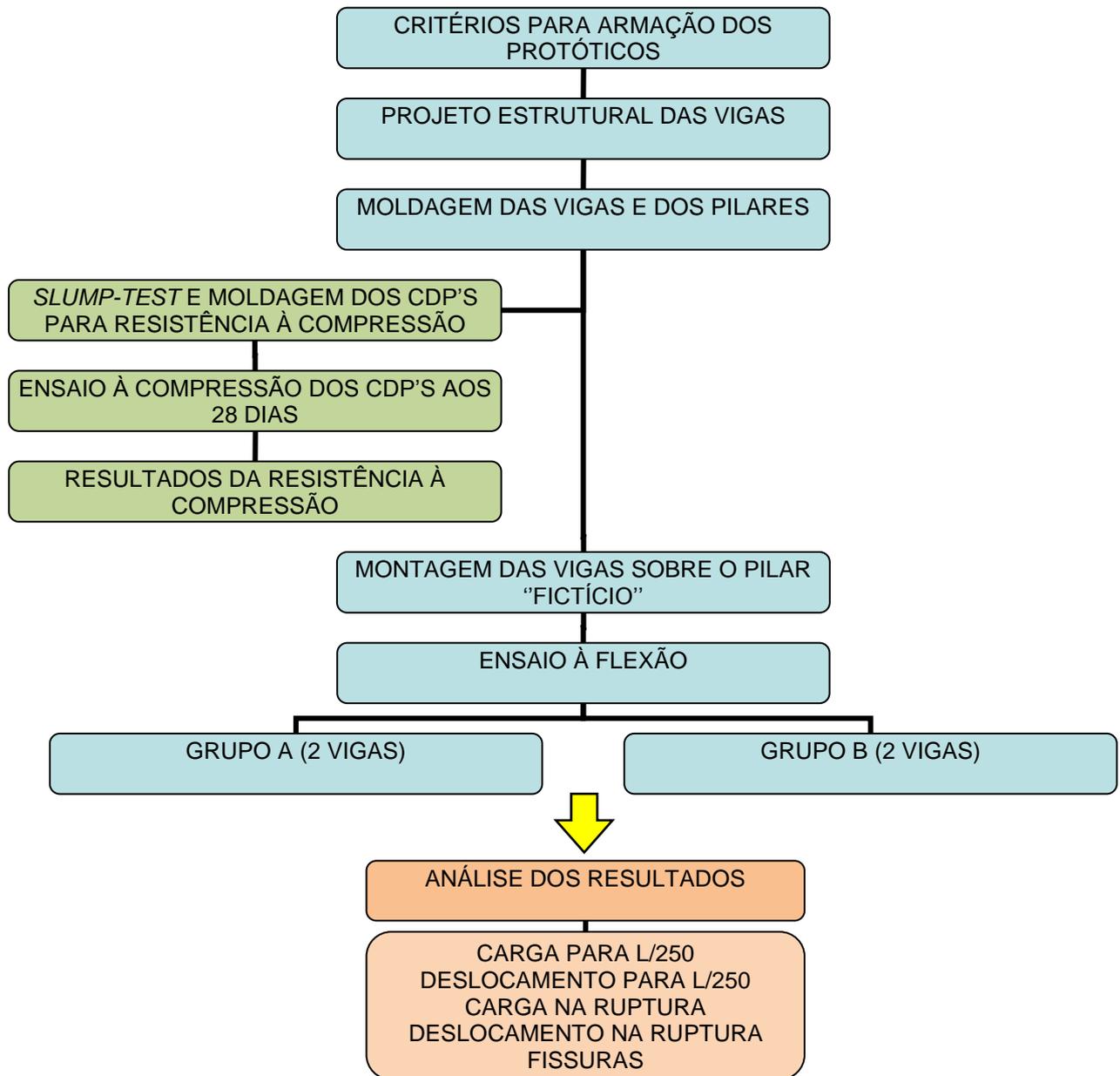
Figura 1: Detalhamento da ligação - (a) vigas do grupo A; (b) Vigas do grupo B.



Fonte: Deivid Henrique Locks, 2015.

Foi utilizando no dimensionamento das peças para ensaio, concreto C25. A seção adotada para as vigas no ensaio foi buscando seguir o padrão de formas metálicas da empresa que forneceu as vigas, e também para que os resultados obtidos pudessem nos dar informações mais próximas de situações reais as quais essas vigas são submetidas. No fluxograma apresentado da Figura 2, pode-se visualizar as subdivisões do procedimento experimental.

Figura 2: Fluxograma do procedimento experimental.



Fonte: Deivid Henrique Locks, 2015.

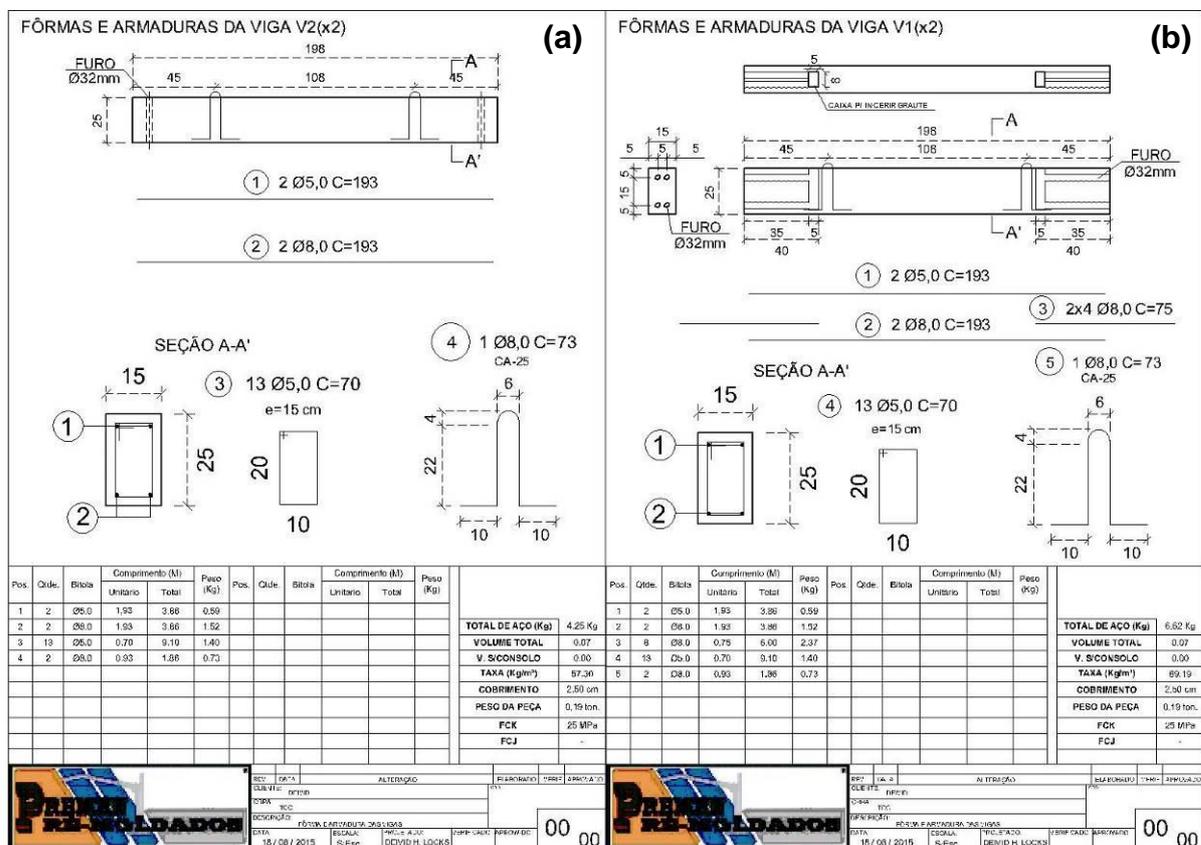
3. CRITÉRIOS PARA DIMENSIONAMENTO E FABRICAÇÃO DAS VIGAS

As vigas foram moldadas com seções transversais de 15x25 cm e 198 cm de comprimento, e adotado o vão entre pilares de 200 cm obtendo assim 1 cm de folga de cada um dos lados da viga conforme solicitado na NBR 9062/2006 (p. 7). As armaduras de flexão foram dimensionadas segundo os critérios da NBR 6118:2014, considerando concreto C25 e aço CA-50, adotando-se como armadura inferior duas barras de 8 mm de diâmetro.

O critério de dimensionamento adotado foi para a viga atuar no domínio 3, considerando resultados de trabalhos anteriores realizados no LEE - Laboratório Experimental de Estruturas da UNESC, localizado no Iparque, indicarem essa a melhor condição para análise de deslocamentos.

Os estribos foram colocados com espaçamento de 15 cm e diâmetro de 5 mm. A Figura 3 mostra o detalhamento das armações empregadas nas amostras.

Figura 3: Detalhamento das armaduras nas vigas - (a) vigas do grupa A; (b) Vigas do grupo B. (Obs: as cotas estão em cm).



Fonte: Deivid Henrique Locks, 2015.

As quatro vigas foram concretadas simultaneamente com concreto C25 dosado em central, adensado com auxílio de vibradores de imersão e colher de pedreiro para o acabamento da superfície. Foram utilizados espaçadores na classe de agressividade ambiental II - 2,5 cm para garantir o cobrimento da armadura. O local escolhido para a concretagem foi o pátio de uma construtora local que cedeu o espaço. A Figura 4 mostra a sequência da fabricação das vigas.

Figura 4: Fabricação das vigas de concreto armado - (a) armadura; (b) Montagem das formas; (c) Concretado e regularizado.



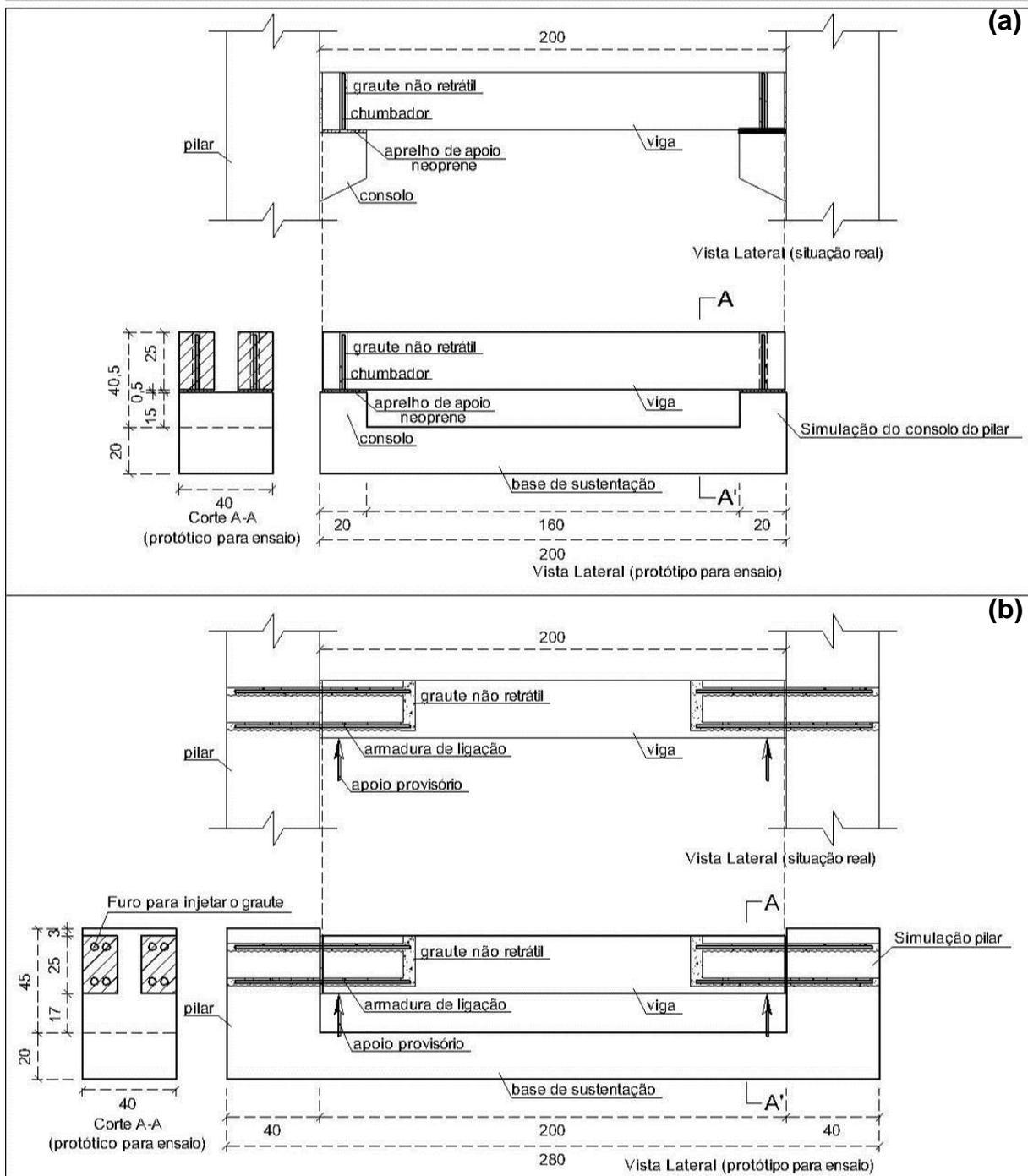
Fonte: Deivid Henrique Locks, 2015.

4. MONTAGEM DAS VIGAS SOBRE O PILAR

O processo de desforma nas vigas sucedeu aos 3 dias, e após 10 dias, as mesmas foram montadas e grauteadas sobre o pilar e após 28 dias foram transportadas ao LEE - Laboratório Experimental de Estruturas da UNESC. Foi moldado uma simulação do pilar, de uma situação real em obra, e para que não ocorresse o giro do pilar durante o ensaio de carregamento, foi moldada uma base de sustentação para impedir esse movimento conforme pode-se observar na Figura 5.

Para a ligação pilar-viga foram executados nichos na viga para que fosse aplicado o super graute quartzolit com 50MPa de resistência à compressão aos 28 dias pronto para uso, que requer apenas a adição da quantidade correta de água para a obtenção de um material fluido destinado ao grauteamento de seções confinadas e possui retração controlada.

Figura 5: Detalhamento do protótipo projetado a partir da situação real - (a) vigas do grupa A; (b) Vigas do grupo B. (Obs: as cotas estão em cm).



Fonte: Deivid Henrique Locks, 2015.

Figura 6: Montagem do protótipo de ensaio- (a) Desforma das vigas; (b) Montagem das vigas;(c) preenchimento dos nichos com “graute”



Fonte: Deivid Henrique Locks, 2015.

5. METODOLOGIA DE ENSAIO NAS VIGAS

Para os ensaios realizados no LEE – Laboratório Experimental de Estruturas da UNESC, foram utilizados um pórtico metálico, um cilindro hidráulico com capacidade de 500 kN, célula de carga na base do cilindro, transdutor de deslocamento de 100 mm (LVDT). Todos ligados ao sistema de aquisição de dados Quantum X[®] que utiliza o *software* Catman Easy[®], ambos da marca HBM[®]. A Figura 7 mostra o as vigas sendo ensaiadas.

Figura 7: Equipamento e acessórios - (a) Viga grupo A posicionada para ensaio; (b) Viga grupo B posicionada para ensaio.

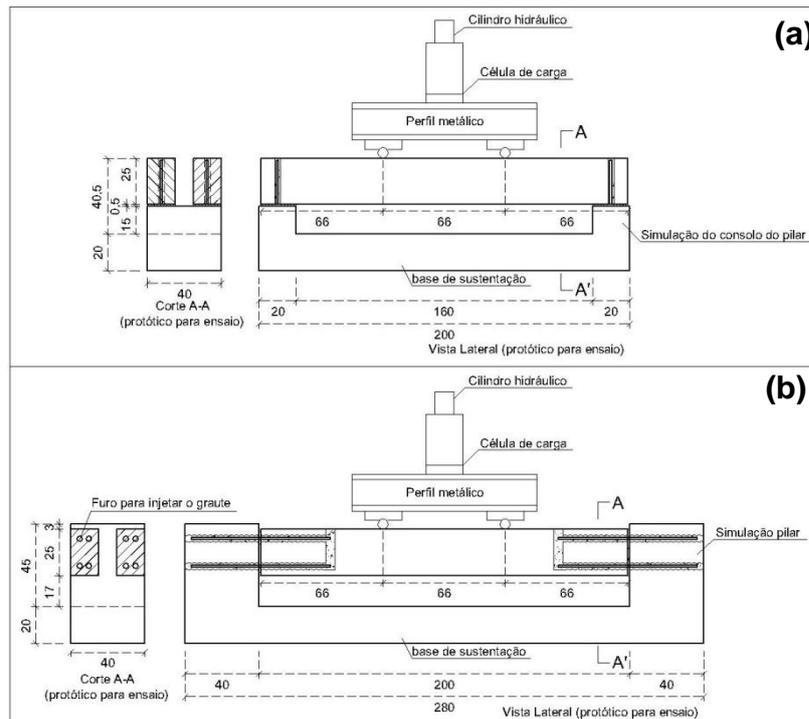


Fonte: Deivid Henrique Locks, 2015.

Todas as vigas foram submetidas ao ensaio de flexão. As cargas foram aplicadas de cima para baixo pelo cilindro hidráulico sobre um perfil metálico que transferiu o

carregamento para as vigas em duas cargas pontuais divididas exatamente nos terços do vão teórico da viga. O posicionamento dos elementos está detalhado na Figura 8.

Figura 8: Posicionamento dos elementos no ensaio instrumentado. (Obs: as cotas estão em cm).



Fonte: Deivid Henrique Locks, 2015.

As verificações foram feitas de modo a analisar o comportamento de cada grupo em diferentes instantes de aplicação de carga:

- Quando atingido o deslocamento máximo permitido por norma ($L/250$);
- Na ruptura;
- Análise visual da Fissuração.

No primeiro instante foi verificado o carregamento necessário para que as vigas atingissem o deslocamento máximo estabelecido por norma ($L/250$), e no segundo e último instante do ensaio, foi verificado o carregamento para levar a viga à ruptura, verificado o deslocamento nesse instante, e as fissuras analisadas com critério visual para mostrar a deformação permanente das vigas.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. ABATIMENTO DE TRONCO DE CONE “SLUMP-TEST”

O *slump-test* foi realizado com intuito de verificar a trabalhabilidade do concreto em seu estado plástico, buscando medir sua consistência. Conforme mostra a Figura 9 o resultado de abatimento de cone foi igual a 7,5 cm, nível este desejável, pois a NBR 6118:2014 permite uma variação entre 5 a 12 cm para uma consistência medianamente plástica.

Figura 9: *Slump-test* - (a e b) Distância entre a haste e o ponto médio do concreto.



Fonte: Deivid Henrique Locks, 2015.

6.2. PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO.

O ensaio de resistência à compressão axial, módulo de elasticidade e tração por compressão diametral foram realizados aos 28 dias. Os resultados obtidos nos ensaios estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Propriedades mecânicas do concreto aos 28 dias.

Corpos de prova (28 Dias)	Resistência à compressão axial(MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Resistência à tração por compressão diametral(MPa)
CP 01	27,50	33,26	2,74
CP 02	24,70	33,93	2,77
CP 03	26,00	34,86	2,38
<i>Média</i>	26,07	34,02	2,63
<i>Desvio Padrão</i>	1,14	0,66	0,18

Fonte: Deivid Henrique Locks, 2015.

6.3. CARREGAMENTO NO DESLOCAMENTO MÁXIMO PERMITIDO POR NORMA (L/250)

Ao aplicar a carga até atingir o deslocamento máximo estabelecido por norma, verifica-se que os grupos apresentaram disparidades nos valores de resistência apresentados na Tabela 2.

Como o Grupo A possui um vão teórico menor que o grupo B ($L_{teórico}=180$ cm para o grupo A e $L_{teórico}=240$ cm para o grupo B, conforme pode ser calculado a partir da Figura 8) e automaticamente um deslocamento máximo (L/250) menor também, sendo de 7,20 mm para o grupo A e 9,60 mm para o grupo B. Os resultados mostraram que o grupo B resistiu maiores cargas para o deslocamento máximo admissível (L/250), sendo **145%** superior ao grupo A.

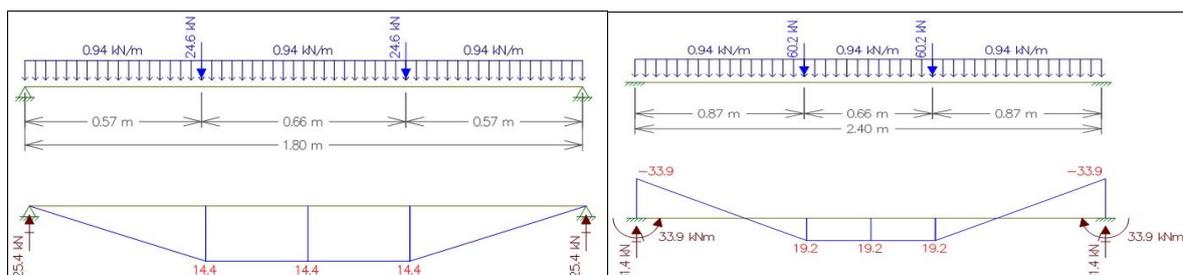
Tabela 2: Resultados do carregamento no deslocamento máximo permitido por norma (L/250).

GRUPO A			GRUPO B		
Vigas	Carga (kN)	Flecha (mm)	Vigas	Carga (kN)	Flecha (mm)
A1	46,84	7,20	B1	131,15	9,60
A2	51,60	7,20	B2	109,76	9,60
<i>Média</i>	49,22	-		120,46	-
<i>Desvio Padrão</i>	2,38	-		10,70	-

Fonte: Deivid Henrique Locks, 2015.

Com os resultados obtidos no deslocamento máximo (L/250), foram feitos os diagramas de momento fletor apresentados na Figura 10.

Figura 10: Diagrama de momento fletor - (a) vigas do grupo A; (b) Vigas do grupo B.



Fonte: Deivid Henrique Locks, 2015.

6.4. CARREGAMENTO E DESLOCAMENTO NA RUPTURA

O carregamento crescente e os deslocamentos atingidos na ruptura encontram-se dispostos na Tabela 3.

Tabela 3: Resultados do carregamento e deslocamento para levar as vigas à ruptura.

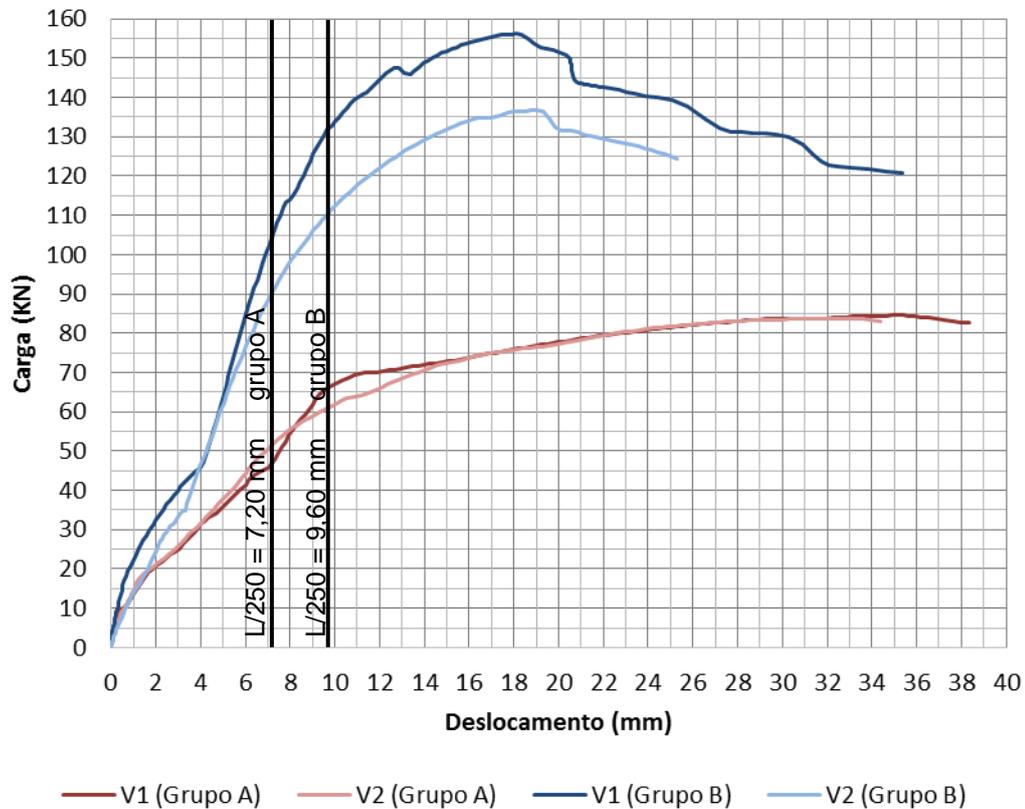
GRUPO A			GRUPO B		
Vigas	Carga (kN)	Flecha (mm)	Vigas	Carga (kN)	Flecha (mm)
A1	84,52	35,39	B1	156,16	18,10
A2	83,73	32,86	B2	136,64	19,03
<i>Média</i>	<i>84,12</i>	<i>34,12</i>		<i>146,4</i>	<i>18,56</i>
<i>Desvio Padrão</i>	<i>0,39</i>	<i>1,26</i>		<i>9,76</i>	<i>0,46</i>

Fonte: Deivid Henrique Locks, 2015.

Nesta etapa, o comportamento dos percentuais que justificam o aumento da capacidade portante entre os grupos, foi semelhante ao deslocamento máximo permitido por norma ($L/250$) com o grupo B apresentando maior resistência a flexão que o grupo A. O grupo B atingiu um carregamento **74%** superior ao grupo A, já os deslocamentos obtidos foram diferentes entre esses dois grupos. O comportamento dos ensaios na íntegra com os determinados instantes de aplicação de carga podem ser visualizados na Figura 10.

Na Figura 10, o eixo x representa os valores de deslocamento (mm) e o eixo y os valores de carregamento crescentes aplicados (kN).

Figura 10: Resultados do deslocamento para levar as vigas à ruptura *versus* carregamento.



Fonte: Deivid Henrique Locks, 2015.

Observa-se até 5 kN, que o deslocamento das vigas é praticamente nulo por causa da não fissuração e resistência à tração do concreto.

Após a ruptura das vigas, mantém-se a resistência até haver o esmagamento do concreto na região comprimida. Entre esses dois primeiros grupos A e B, nota-se a maior eficiência do sistema engastado no grupo B

6.5. COMPORTAMENTO DE FISSURAÇÃO

As fissuras foram avaliadas apenas por critério visual entre os grupos que estão representados na Figura 11.

O grupo B, apresentou um resistência superior do grupo A com aparecimento de fissuras entre os terços médios.

Figura 11: Fissuras - (a) Viga 1 Grupo A; (b) Viga 2 Grupo A; (c) Viga 1 Grupo B
(d) Viga 2 Grupo B.



Fonte: Deivid Henrique Locks, 2015.

7. CONCLUSÕES

Referente ao estudo realizado pode-se chegar as seguintes conclusões:

- Para o carregamento no deslocamento máximo permitido por norma (L/250), o grupo B (engastado) obteve acréscimo de 145% nos valores de carga em comparação ao grupo A(bi-apoiado).
- Para o carregamento na ruptura, os grupos seguiram a mesma tendência de acréscimo na resistência, com o grupo B atingindo um carregamento 74% superior ao grupo A.
- De maneira geral pode-se dizer que o sistema engastado (grupo B) mostrou uma resistência ao carregamento superior ao grupo A, fato, que colabora para sua possível implantação em obra. Vale salientar que parâmetros ligados ao custo e mão de obra não foram levados em consideração.

Com relação a trabalhos futuros sugere-se:

- Realizar experimentos com diferentes dimensões e vãos.
- Proporcionar um estudo referente à ancoragem da armadura de ligação viga-pilar, que permita o aumento da resistência ao carregamento das vigas.
- Moldar vigas com diferentes fck para estudar a influência da resistência a flexão.
- Estudar parâmetros ligados ao custo e mão de obra entre os diferentes sistemas de ligação viga-pilar.

8. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2006.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**: segundo a NBR 6118:2003. 3. ed. São Carlo, SP: EDUFSCAR, 2013. 367 p.

CHEN, Wai-Fah. **The civil engineering handbook**. 1. ed. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1995. 2609 p.

DEBS, Mounir K. El. **Concreto Pré-moldado: Fundamentos e Aplicações**. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2000. 441 p.