

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DA EFETIVIDADE DA CAPA DE COMPRESSÃO NO DIMENSIONAMENTO COMO SEÇÃO “T” EM VIGOTAS DE LAJES PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO ARMADO

Bruno da Silva Costa (1), Alexandre Vargas (2).

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)brunocosta201088@gmail.com (2) avargas@unesc.net

RESUMO

Lajes pré-moldadas unidirecionais compõem um dos sistemas estruturais mais utilizados na região de Criciúma. Elas são compostas por vigotas de concreto pré-moldadas, material de enchimento (geralmente lajotas cerâmicas) e capa de concreto moldada no local. Nessa configuração, apenas as vigotas têm função estrutural e seu dimensionamento pode ser considerando seção retangular ou “T”. Em função do processo construtivo das vigotas, com fôrmas metálicas e óleo queimado como desmoldante, a interface entre a vigota e o concreto fresco pode ser comprometida. Diante dessa possibilidade, esse trabalho tem como objetivo avaliar experimentalmente a efetividade da capa de compressão no dimensionamento das vigotas através de ensaio de flexão em quatro pontos e análise microscópica nas interfaces vigota/concreto fresco. Foram moldadas e ensaiadas dois grupos de três amostras, sendo o primeiro como seção “T” e o segundo como seção retangular. As imagens da análise microscópica a partir de um equipamento com capacidade de ampliar 30x possibilita avaliar como satisfatória a interface entre os concretos com diferentes idades. Os resultados do ensaio de flexão em quatro pontos indicam uma resistência média da seção “T” 7,9% superior nas cargas para obter a flecha (deslocamento máximo) em relação à seção retangular enquanto esse valor passa para 14,8% na ruptura.

Palavras-Chave: Lajes pré-moldadas, dimensionamento de lajes, seção “T” em lajes.

1 INTRODUÇÃO

Lajes pré-moldadas unidirecionais convencionais compõem um dos sistemas estruturais mais utilizados na região de Criciúma, por sua facilidade de manuseio e também por exigir menor quantidade de escoras que outros tipos de lajes (maciças e nervuradas). “Essas lajes são formadas por elementos pré-moldados chamados de vigotas, por lajotas (normalmente cerâmicas) como material de enchimento e por uma “capa de concreto” moldada no local” (CARVALHO ET AL, 2001 p.64). Uma vez que os elementos de enchimento não tem função estrutural, cabe esse papel às vigotas pré-moldadas. O dimensionamento desses elementos segue as teorias preconizadas pela NBR 6118:2007. Neste contexto, duas possibilidades são apresentadas: dimensioná-las como seção retangular ou seção “T”. Uma questão

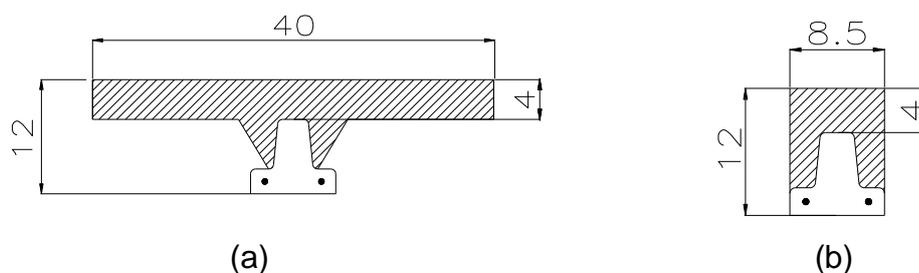
que pode gerar dúvidas refere-se ao processo de fabricação empírico das vigotas. A fôrma metálica adotada, além do produto utilizado como desmoldante, óleo queimado utilizados em veículos automotivos, produzem uma superfície de contato com o concreto fresco complementar, muito lisa e talvez, com uma película residual de óleo, o que pode estabelecer uma não uniformização entre os concretos com diferentes idades. Essa possibilidade de descontinuidade poderia não confirmar o dimensionamento dessas seções transversais, especialmente quando considerada a seção “T”.

Esse trabalho tem como objetivo avaliar experimentalmente a efetividade da capa de compressão em vigotas pré-moldadas de concreto armado.

2 MATERIAIS E MÉTODO

O planejamento experimental deste estudo estabeleceu a moldagem de seis seções de lajes pré-moldadas, contemplando a região das vigotas. O total de seis elementos foi dividido em dois grupos com três amostras cada. Três desses elementos foram moldadas como seção “T”, ou seja, a partir da vigota pronta foi concretada a capa de compressão até cada eixo dos materiais de enchimento adjacentes (tabelas cerâmicas), formando assim uma seção com 8,5cm de base, e 8,00 cm de altura. A mesa ficou com 40 cm de largura e 4cm de espessura. O aspecto final da seção transversal da amostra “T” pode ser observado na Figura 1(a). As outras três amostras foram moldadas como seção retangular. A Figura 1(b) apresenta a seção transversal desse conjunto de amostras. Todas as medidas da Figura 1 estão em cm.

Figura1: (a) Seção transversal com “T” (b) Seção transversal retangular



Fonte: Do autor, 2013.

2.1 MATERIAIS

2.1.1 VIGOTAS PRÉ FABRICADAS

As vigotas pré-moldadas utilizadas nesse trabalho, foram produzidas em uma fábrica de artefatos de cimento no município de Morro da Fumaça – SC. Todas as peças possuem 220 cm de comprimento entre as suas extremidades e armadura de combate à flexão compostas por 2 (duas) barras de 4,2 mm de diâmetro. O processo de fabricação desses elementos consiste, primeiramente em untar as formas metálicas com óleo de cárter queimado como desmoldante, ação que deixa dúvida quanto à aderência dessas peças com o concreto fresco de complemento na composição das lajes. Na sequência as formas são posicionadas lado a lado sobre uma mesa vibratória e são preenchidas com concreto produzido em betoneira, para finalmente introduzir a armadura longitudinal na massa de concreto. Durante o processo de fabricação foram moldados 6 (seis) corpos de prova do concreto utilizado na fabricação das vigotas, para posterior ensaio de compressão (Figura 2). A Figura 3 mostra a colocação da armação das vigotas no processo de fabricação das vigotas.

Figura 2: Separação dos corpos de prova para ensaio de compressão simples



Fonte: Do autor, 2013.

Figura 3: Posicionamento da armação nas vigotas



Fonte: Do autor, 2013.

2.1.2. CONCRETO FRESCO DA CAPA DE COMPRESSÃO

O concreto utilizado para a concretagem da capa de compressão das amostras foi o usinado do tipo C30. A resistência foi confirmada pelo controle tecnológico feito pela empresa fornecedora de concreto e aferido pela empresa executora da obra que contribuiu na execução dessa pesquisa, com a moldagem dos corpos de prova e ensaios paralelos.

2.1.3. CONFECÇÃO DAS AMOSTRAS

De posse das vigotas após o período de cura, as peças para ensaio foram confeccionadas. Nos corpos de prova com seção transversal “T” foram colocados armaduras na direção longitudinal e transversal composta por malha de aço de 5,0 mm a cada 20 cm de espaçamento na capa de compressão, previamente definida com 4,0 cm de espessura, a fim de evitar as fissuras por retração e assim simular uma das condições de execução em obra. A seguir foram posicionadas madeiras de forma a simular tavelas, nos dois lados das vigotas para atuarem como formas.

Nas amostras de seção retangular, foram posicionadas formas de madeira nos limites da vigota com o comprimento total e altura estipulada. Após a concretagem das lajes, as mesmas foram mantidas na sombra e com sacos de cimento umedecidos em cima, durante uma semana, fazendo assim a cura suficiente para que não perdesse água para o ambiente.

Feito todos esses procedimentos as lajes foram transportadas com o auxílio de um caminhão “*munk*” para o LEE- Laboratório Experimental de Estruturas da UNESC localizado no I Parque, onde foram ensaiadas. Devido a um problema no transporte, uma das amostras retangulares acabou sendo inutilizada, ficando então, a amostra de vigotas com seção “T”, constituída de três elementos e de seção retangular com dois elementos. A Figura 4 mostra uma das lajes já finalizada.

Figura 4: Laje finalizada pronta para o ensaio (seção “T”)



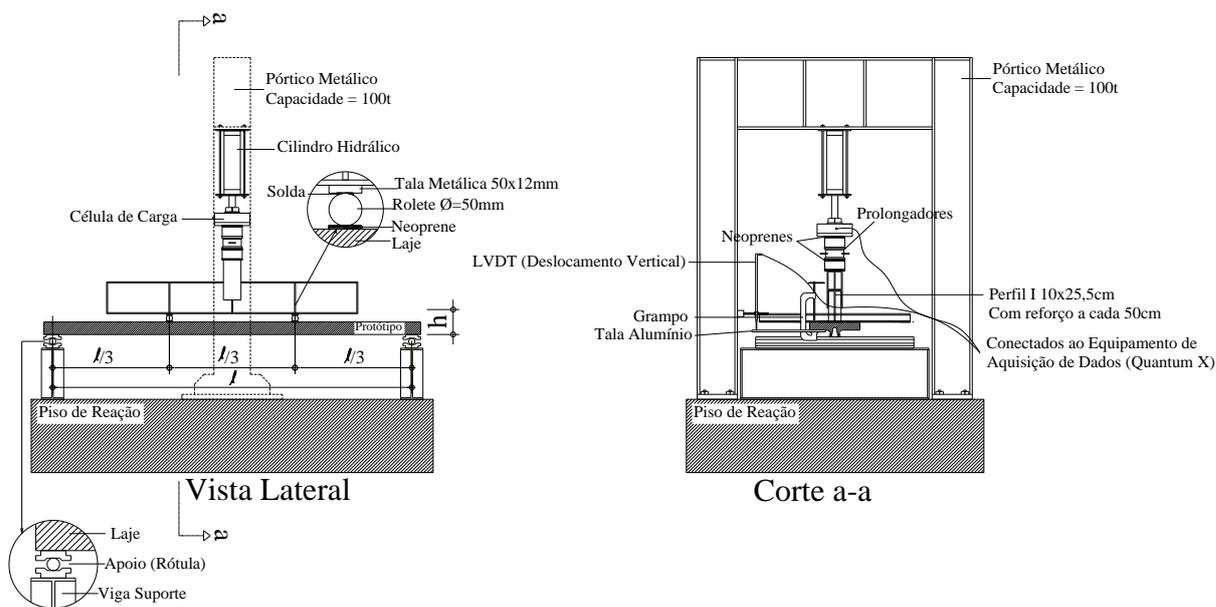
Fonte: Do autor, 2013.

2.2 METODOLOGIA DO ENSAIO NAS LAJES

A instrumentação utilizada no ensaio tem por objetivo fornecer dados de carga aplicada x deslocamento. Os equipamentos utilizados foram: Pórtico metálico montado sobre uma laje de reação, cilindro hidráulico da marca ENERPAC com capacidade de carga de 500 kN, transdutor de deslocamento (LVDT) de 100 mm da marca HBM, além do equipamento de aquisição de dados QUANTUM X que utiliza o software Catman Easy, ambos também da marca HBM.

Todas as vigotas foram submetidas ao ensaio de flexão em quatro pontos com dispositivos para simular rótulas nos seus apoios. O carregamento foi aplicado na vertical de cima para baixo por meio de um cilindro hidráulico aplicado diretamente sobre uma viga metálica com rigidez adequada a transferir para as lajes de concreto, duas cargas pontuais equidistantes. A Figura 5 representa o esquema adotado para o ensaio.

Figura 5: Modelo adotado no ensaio



Fonte: Do autor, 2013.

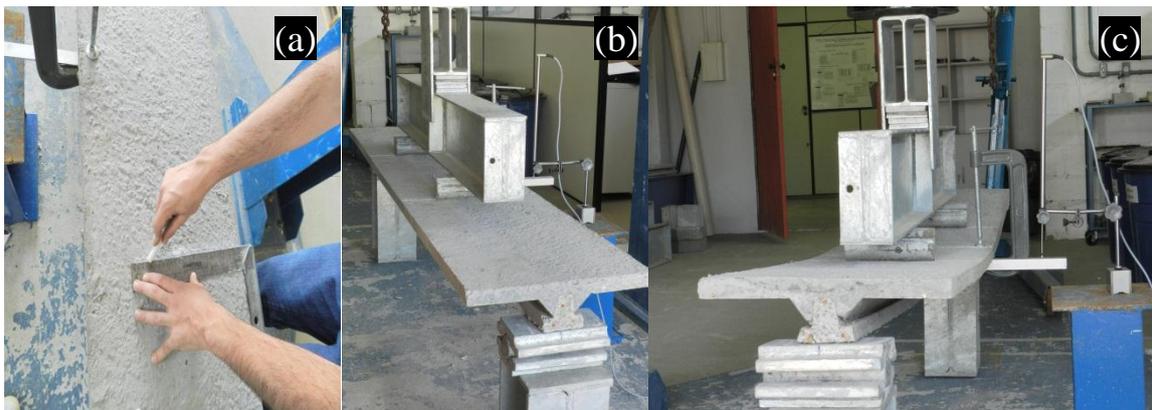
As verificações, de modo a analisar a diferença de comportamento entre os diferentes grupos de amostras se deram nos seguintes instantes da aplicação de carga:

- Quando o valor da flecha atingiu o máximo permitido por norma ($l/250$);
- Na ruptura.

A flecha admissível foi calculada de acordo com a tabela 13.2 da NBR 6118/2007, cujo valor para o limite máximo de aceitabilidade sensorial ($l/250$), resultando então o valor de 210 cm/250 igual a 8,4 mm.

A força aplicada foi crescente ao longo do tempo, porém quando atingido o deslocamento máximo admissível o carregamento era interrompido, observando-se assim a deformação residual, e na sequência retomava-se a aplicação de carga até a ruptura. Na Figura 6 é possível observar as principais etapas do ensaio. (a) posicionamento e marcação da amostra; (b) instalação dos equipamentos de medição; (c) vigota após a ruptura.

Figura 6: Etapas do ensaio



Fonte: Do autor, 2013.

Para avaliar a real contribuição da capa de compressão da interface foi realizada uma análise microscópica na interface vigota/concreto novo com o auxílio de um estereoscópio óptico (30x) da marca *Taimin* no IDT (instituto de engenharia e tecnologia) no ponto indicado na Figura 6.

Figura 6 – Local onde foi realizada a análise microscópica na interface vigota pré-moldada / concreto novo



Fonte: Do autor, 2013.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 CONCRETO UTILIZADO NAS VIGOTAS

Os corpos de prova extraídos da betoneira que abastecia a indústria apresentaram, após ensaio de compressão realizado no LMCC – Laboratório de Materiais de Construção Civil da UNESC resistência média a compressão (f_{cm}) de 13,3 MPa. A Tabela 1 apresenta a compilação dos resultados.

Tabela 1 – Resistência à compressão (f_c) das amostras

Amostra	Resistência (Mpa)
CP1	12,4
CP2	13,6
CP3	14,5
Média (fcm)	13,8
Desvio Padrão	0,8

Fonte: Do autor, 2013.

3.2- CARREGAMENTO PARA ALCANÇAR A FLECHA MÁXIMA

Segundo a tabela 13.2 da NBR 6118:2007, o deslocamento máximo (flecha) para vigas e lajes de concreto armado é $l/250$, onde o l é o vão teórico da viga. No presente estudo o comprimento teórico da vigota é de 210 cm, resultando no deslocamento máximo de 0,84 cm. Nas Tabelas 2 e 3 são apresentados os valores das cargas aplicadas para atingir a flecha de 0,84cm respectivamente para seção “T” e seção retangular.

Tabela 2 – Carga aplicada para alcançar o deslocamento de $l/250$ das vigotas com seção “T”

Laje	Carga para $l/250$ (kN)
LC1	3,03
LC2	3,50
LC3	2,85
Média	3,13
Desvio Padrão	0,33

Fonte: Do autor, 2013.

Tabela 3 – Carga aplicada para alcançar o deslocamento de $l/250$ das lajes com seção retangular.

Laje	Carga para $l/250$ (kN)
VCR1	3,25
VCR2	2,55
Média	2,90
Desvio Padrão	0,49

Fonte: Do autor, 2013.

Conforme verificado nos resultados acima, o grupo das vigotas com seção “T” apresentou a média dos valores de carga 7,9% superior à média dos valores das vigotas de seção retangular.

3.3 CARGA PARA ALCANÇAR A RUPTURA

Após a aplicação do carregamento para estabelecer a flecha máxima admissível, foi aplicado um carregamento crescente até levar a peça à ruptura. Os valores de carga obtidos para levar as peças ao colapso encontram-se dispostos nas Tabelas 4 e 5. Foi considerada a ruptura da peça o instante em que a carga deixava de apresentar acréscimo nos valores medidos.

Tabela 4 – Carga para a ruptura das vigotas com seção “T”

Laje	Carga ruptura (kN)
LC1	6,21
LC2	6,75
LC3	6,60
Média	6,52
Desvio Padrão	0,28

Fonte: Do autor, 2013.

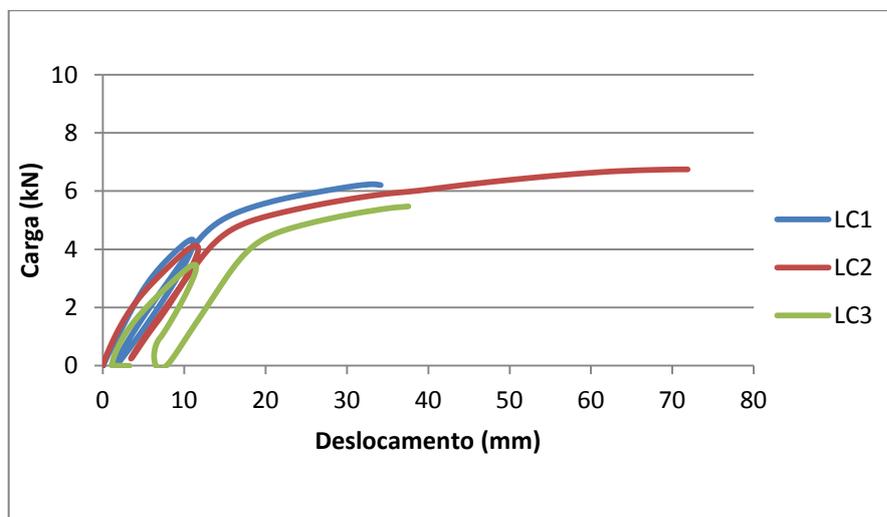
Tabela 5 – Carga para a ruptura das vigotas com seção retangular

Laje	Carga ruptura (kN)
VCR1	6,05
VCR2	5,31
Média	5,68
Desvio Padrão	0,52

Fonte: Do autor, 2013.

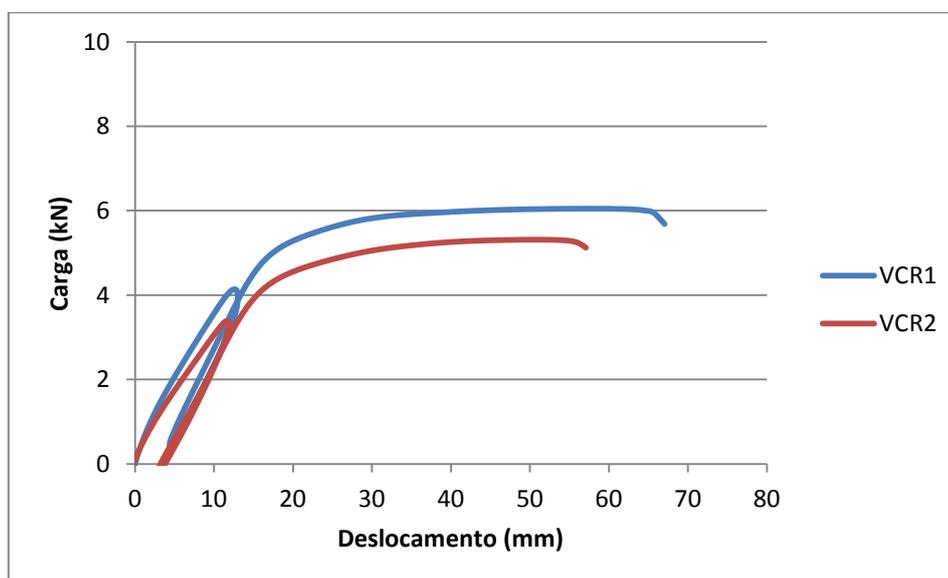
Conforme verificado nos resultados acima, o grupo das vigotas com seção “T” apresentou a média dos valores de carga 14,8% superior à média dos valores das vigotas de seção retangular. As Figuras 7 e 8, apresentam respectivamente o comportamento das amostras “T” e retangular durante o ensaio de flexão em 4 pontos.

Figura 7 – Comportamento do ensaio para o grupo das vigotas com a seção “T”



Fonte: Do autor, 2013.

Figura 8 – Comportamento do ensaio para o grupo das vigotas com seção retangular.



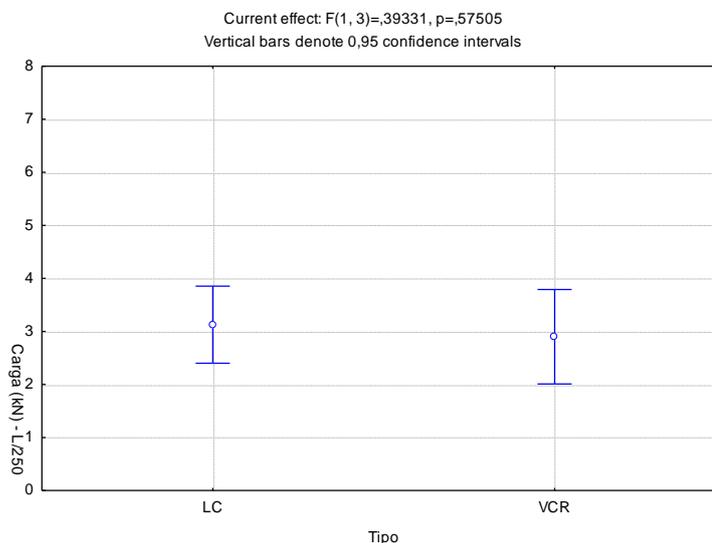
Fonte: Do autor, 2013.

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística foi realizada através da ANOVA. Os valores obtidos para *P value* na comparação entre amostras foram de respectivamente $p = 0,57505$ para as amostras analisadas no ELS (Figura 9) e $p = 0,09310$ para as amostras analisadas no ELU (Figura 10).

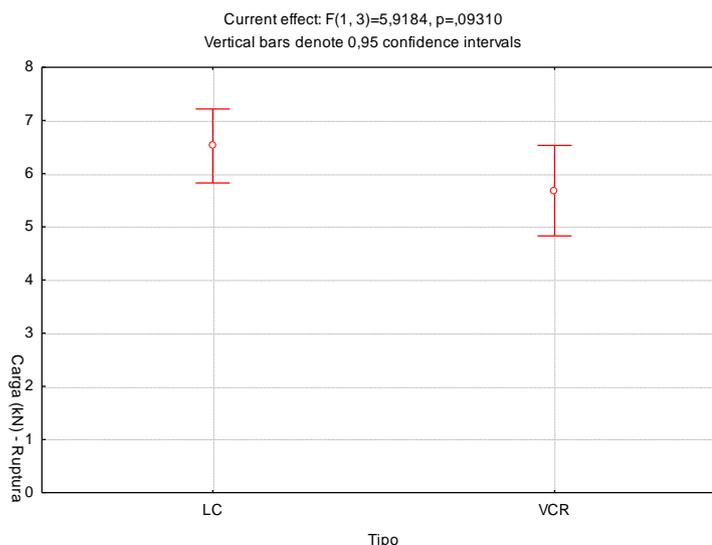
Dentro deste intervalo de confiança os resultados não podem ser considerados estatisticamente confiáveis, embora apontem para um indicativo favorável para confirmar os resultados esperados segundo as teorias utilizadas, ou seja, seção “T” mais resistente que a seção retangular, para a carga de ruptura.

Figura 9 - Análise estatística para serviço ELS.



Fonte: Do autor, 2013.

Figura 10 - Análise estatística para ruptura ELU.



Fonte: Do autor, 2013.

3.5 ANÁLISE MICROSCÓPICA

Após o corte transversal das amostras com o uso de policorte, em fatias de 15 cm, foi realizada a análise microscópica das amostras a fim de verificar se houve ou não aderência na interface concreto da vigota/concreto novo. A Figura 11, reproduz a imagem microscópica da interface e nos permite constatar que houve a interação dos dois tipos de concreto. Do lado esquerdo da foto o concreto da vigota (13,3 Mpa) e do lado direito da foto o concreto usinado (superior a 30 Mpa). Percebe-se que não existe nenhuma fissura e não há desprendimento dos dois tipos de concreto.

Figura 11 – Verificação da aderência do concreto na interface concreto da vigota/concreto novo.



Fonte: Do autor, 2013.

4 CONCLUSÕES

Os resultados do ensaio de flexão em quatro pontos indicam uma resistência média da seção “T” 7,9% superior nas cargas para obter a flecha admissível em relação à seção retangular enquanto esse valor passa para 14,8% na ruptura. A análise estatística através da ANOVA deixa em dúvida a significância dos resultados devido ao valor do desvio padrão ser muito elevado.

A análise microscópica a partir de um equipamento com capacidade de ampliar 30x possibilita avaliar como satisfatória a interface entre os concretos com diferentes idades.

Desta maneira, entendemos que o pequeno número de amostras aliado à baixa qualidade na execução das mesmas possam estar comprometendo resultados mais precisos e que esses estudos devem ter continuidade com mais rigor na confecção das amostras e maior quantidade de amostras, além de uma análise microscópica mais apurada.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 5738- Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 5739- Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 14860-1: Laje pré-fabricada - Pré-laje – Requisitos – Parte 1: Lajes unidirecionais**. Rio de Janeiro, 2002.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Concreto Armado Segundo a NBR 6118:2003, 3ª. ed.** São Carlos: Ed. Edufscar, 2009.