

AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE PORTANTE DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO COM REFORÇO METÁLICO EM ABERTURAS PARA PASSAGEM DE DUTOS

João Francisco Nazário (1), Alexandre Vargas (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1) chico_jfnazario@hotmail.com, (2) avargas@unesc.net

RESUMO

Em estruturas de concreto armado os furos e aberturas em vigas são por vezes utilizados e devem ser previstos no projeto estrutural. No entanto, a falta de planejamento e compatibilização de projetos, pode ocasionar o rompimento da estrutura para passagem de dutos. O presente trabalho tem por objetivo analisar experimentalmente, vigas em concreto armado com furo horizontal na área tracionada e no ponto de maior esforço, substituindo o aço da armadura de tração por chapa de aço. Para isso, foram moldadas três vigas de alma cheia como referência e três vigas com furo, as quais receberam uma chapa de aço SAE1020 com sua espessura de 3,175 mm na face inferior, fixada com chumbadores parabolts. Todas as amostras foram submetidas a ensaios de flexão em quatro pontos. Foi avaliada a carga para atingir a deformação máxima permitida por norma e carga na ruptura. Com os resultados obtidos, observou-se que o reforço atendeu às solicitações de carga, porém o método de fixação não atendeu o carregamento esperado, ocorrendo cisalhamento nos chumbadores próximos ao centro da viga.

Palavras-Chave: Vigas com furo. Chapa como reforço. Chumbador parabolts.

1. INTRODUÇÃO

Na construção civil, utilizam-se furações em elementos estruturais de concreto armado para a passagem de tubulações elétricas, hidráulicas, sanitárias, de climatização dentre outras. Se não forem previstos em projeto a furação deve ser evitada sempre que possível, caso contrário, um reforço será necessário. “Reabilitar uma estrutura de concreto armado é restabelecer sua funcionalidade ao nível original ou superior ao mesmo, seja do ponto de vista da durabilidade ou da resistência.” (Tisot¹, 2010, p.9)

O reforço da região do furo deverá ser de fácil aplicação e o mais econômico possível. A NBR 6118:2014 estabelece que furos em vigas na zona de tração deve ter uma distância da face do apoio de no mínimo $2h$, onde h é a altura da viga. Para este trabalho o furo foi propositalmente executado na face inferior da viga, no ponto de

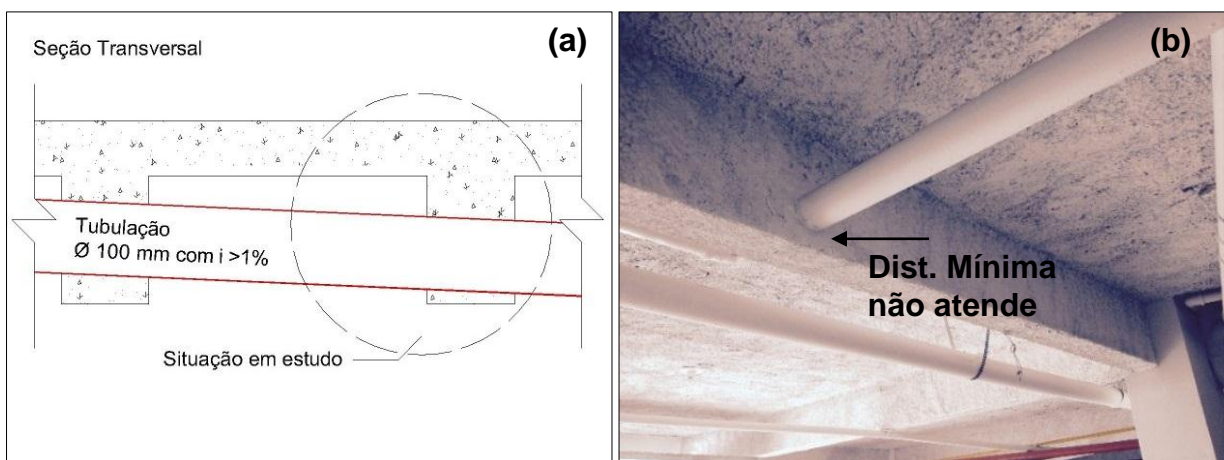
máximo momento fletor, onde está a maior tração. Segundo Carvalho e Figueiredo Filho², (2013, p.229):

Nas situações em que os furos atravessam as vigas na direção da largura, a distância de um furo à face mais próxima da viga deve ser, no mínimo, igual a 5 cm e duas vezes o cobrimento previsto para essa face. A seção remanescente nessa região, descontada a área ocupada pelo furo, deve ser capaz de resistir aos esforços previstos no cálculo, além de permitir boa concretagem.

Qualquer estrutura que apresenta, em suas exigências de projeto, a necessidade de furos ou aberturas, deverá ser projetada e detalhada para absorverem as alterações do fluxo de tensões que ocorrem no entorno destes locais, prevendo-se armaduras especiais para estes casos, além daquelas necessárias para a estabilidade do elemento em função das solicitações atuantes. “De maneira geral os furos têm dimensões pequenas em relação ao elemento estrutural enquanto as aberturas não. Um conjunto de furos muito próximos deve ser tratado como uma abertura.” (NBR 6118:2014³)

Em alguns casos, numa situação em que há a necessidade de fazer na obra os furos para passagem de tubulações, após o elemento estrutural estar concretado, algumas opções de reforços são possíveis, dentre elas a incorporação de peças metálicas localizadas para viabilizar a sua passagem. Este trabalho avaliou experimentalmente, uma situação hipotética de uma estrutura cujo o projetista não respeitou a distância mínima adequada entre a face inferior da viga e a base da tubulação com diâmetro de 100 milímetros. A figura a seguir mostra o esquema da estrutura.

Figura 1 – Estrutura a ser estudada



Fonte: João Francisco Nazário, 2015.

Para o estudo, será adotado reforço na face inferior da viga com chapa de aço SAE 1020, fixada com chumbadores parabolt, ambos dimensionados segundo as equações de Pfeil (2009⁴), avaliando a intensidade de carga da viga de concreto armado submetida à esforços de flexão. No estudo da avaliação da resistência das vigas de concreto armado danificados, permite ao projetista dimensionar e quantificar os reforços metálicos de maneira simples e rápida, tendo a sua disposição materiais e mão de obra facilmente encontrados no mercado, viabilizando novamente toda estrutura com economia e segurança.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do estudo foram moldada seis vigas divididas em dois grupos. O primeiro grupo corresponde ao grupo (Ref), que é o grupo de viga de alma cheia, sem presença de furo, que servirá de parâmetro para comparação dos resultados. O segundo é o grupo (A), que são vigas com um furo circular de 10 cm de diâmetro e base recortada, não atendendo os limites da NBR 6118:2014, executada com reforço metálico utilizando chapa de aço SAE1020 de 3,175 mm de espessura por 12 cm de largura e 150 cm de comprimento, fixadas com chumbador parabolt 9,5 mm de diâmetro por 95,3 mm de comprimento. Também foi estabelecida para todas as vigas a mesma armadura de combate à flexão, sendo todas as vigas dimensionadas no domínio 3 ($x/d = 0,2893$). Os estribos, e diâmetro de aço, estabelecidos pela NBR 6118:2014. Os ensaios de flexão à 4 pontos foram realizados no LEE – laboratório experimental de estruturas, localizado no Iparque da Universidade Do Extremo Sul Catarinense - UNESC, juntamente foram realizados os ensaios de caracterização do concreto, tais como o abatimento de tronco de cone (slump-test) realizado no dia da concretagem e a resistência à compressão aos 7 e 28 dias realizados pela concreteira que repassou os resultados obtidos.

2.1 DIMENSIONAMENTO E FABRICAÇÃO DAS VIGAS

As vigas foram executadas com seção transversal de 12 cm de largura por 20 cm de altura e 190 cm de comprimento, todo seu preparo foi realizado em uma construtora em Meleiro/SC e transportadas para o Laboratório Experimental de Estruturas da UNESC após 28 dias de concretagem. A Figura 2, mostra as etapas de execução das

vigas: (a) preparo das formas; (b) confecção das armaduras; (c) acomodação da armadura e espaçadores; (d) concretagem e adensamento; (e) regularização da superfície; (f) cura com lona plástica.

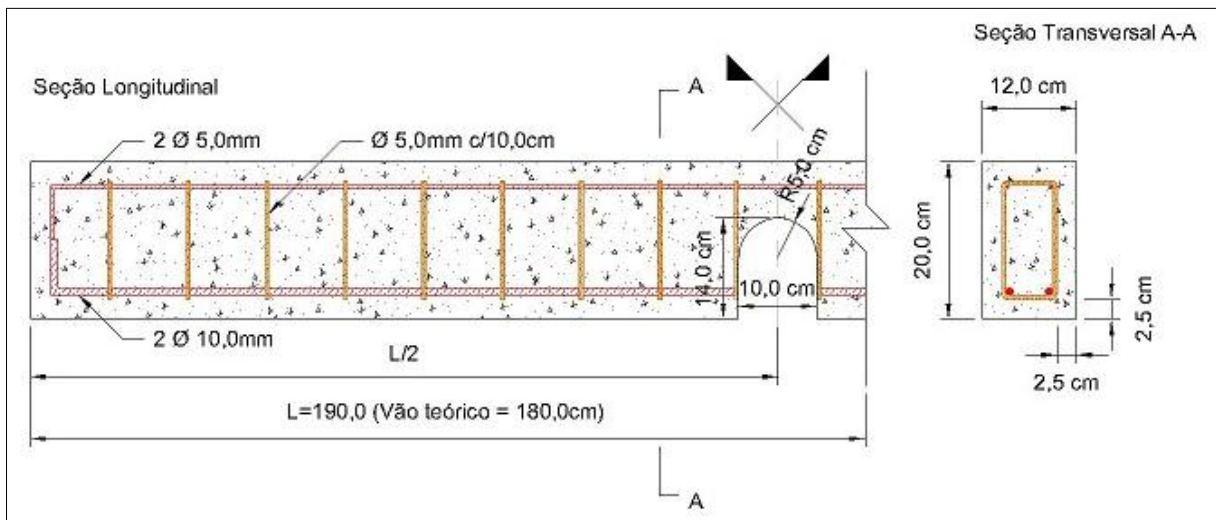
Figura 2: Confeção das vigas de concreto armado



Fonte: João Francisco Nazário, 2015.

O dimensionamento da viga foi realizada conforme NBR 6118:2014³, considerando o concreto usinado dosado em central com resistência de 25 MPa e aço CA-50. O critério de dimensionamento adotado foi para viga atuar no domínio 3 com relação $x/d= 0,2893$, em virtude dos resultados de trabalhos anteriores realizados no laboratório, que indicam essa a melhor condição para análise de deslocamentos. O dimensionamento resultou em armaduras inferiores de 2 Ø 10 mm de diâmetro e superiores com 2 Ø de 5 mm de diâmetro com estribos de 5 mm de diâmetro a cada 10 cm de espaçamento. O adensamento foi com auxílio de vibrador de imersão. Foram utilizados espaçadores considerando classe de agressividade ambiental I com 25 mm entre a armadura e a face do concreto, para garantir o cobrimento mínimo da armadura. No caso da viga furada optou-se por romper o aço e o concreto inferior após 20 dias de sua concretagem, para obtenção de resultados próximos à realidade do problema em obra. A Figura 3 mostra o desenho das seção longitudinal e transversal da viga com furo.

Figura 3 – Furo executado nas vigas (grupo A)



Fonte: João Francisco Nazário, 2015.

2.2. APLICAÇÃO DOS REFORÇOS DE AÇO COM CHUMBADOR

A desforma das vigas e fixação dos reforços ocorreram aos 20 dias após a concretagem. O reforço utilizado foi de chapa de aço SAE1020, muito comum nas indústrias e metalúrgicas da região. Foram executado furos verticais na face inferior da viga com diâmetro de 12 mm para introdução do chumbador de diâmetro igual a 9,5 mm. A escolha por fixação com chumbador estilo parabolt se deu através do mesmo princípio, por ser de fácil aplicação e comumente obtido em lojas de materiais de construção. O método utilizado não requer tempo de cura ou mão de obra especializada. Para se trabalhar com o chumbador, primeiramente foram feitos furos na superfície inferior da viga com uma broca de igual diâmetro do chumbador e no comprimento do mesmo. Em seguida bastou introduzir o chumbador montado e girando a porca com torque necessário para ir ajustando até sua expansão, iniciando sua fixação no furo. Foram utilizados 18 peças de chumbadores estilo parabolt de aço SAE1020 para as 3 vigas da amostra do grupo de reforço no furo, denominado aqui de grupo A. As fases do processo podem ser acompanhadas na Figura 4: (a) preparo das vigas com rompimento do aço; (b) fixação dos chumbadores com a chapa e a viga; (c) detalhe da chapa metálica e do chumbador parabolt utilizados.

Figura 4: Confeção das vigas de concreto armado



Fonte: João Francisco Nazário, 2015.

2.3 DETALHAMENTO DO REFORÇO

Como a área de aço (A_s) estabelecida em $1,60 \text{ cm}^2$, o valor de “x” é conhecido (equação 1), sendo então, possível determinar o valor do momento fletor de cálculo ($M_d \text{ máx}$) através da equação 2;

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{0,68 \cdot b_w \cdot f_{cd}} \quad \text{equação (1)}$$

Em que: x = Posição da linha neutra;
 A_s = Área de aço;
 f_{yd} = Tensão de escoamento do aço;
 b_w = Base da viga;
 f_{cd} = Resistência de cálculo à compressão do concreto.

$$M_d \text{ máx} = 0,68 \cdot b_w \cdot \frac{f_{ck}}{1,4} \cdot x \cdot (d - 0,4 \cdot x) \quad \text{equação (2)}$$

Em que: $M_d \text{ máx}$ = Momento fletor máximo de cálculo;
 b_w = Base da viga;
 f_{ck} = Resistência característica do concreto;
x = Posição da linha neutra;
d = Distância do centro da armadura de flexão até a face comprimida.

Consequentemente o momento fletor de serviço (M_k) é dada pela equação 3;

$$M_k \text{ máx} = \frac{M_d \text{ máx}}{1,4} \quad \text{equação (3)}$$

Em que: $M_k \text{ máx}$ = Momento fletor máximo de serviço;
 $M_d \text{ máx}$ = Momento fletor máximo de cálculo.

O esforço de tração da armadura (F_s) é dado pela equação 4;

$$F_s = \frac{f_{yd}}{1,15} \cdot A_s \quad \text{equação (4)}$$

Em que: F_s = Força de tração;
 f_{yd} = Tensão de escoamento do aço;
 A_s = Área de aço.

Com esses valores, fez-se o cálculo do reforço determinando sua espessura com 3,175 mm igual a 1/8" de polegada, que satisfaz o equilíbrio na seção transversal anteriormente perdida com a execução do furo e o rompimento do aço CA50 de (f_{yd}) igual a 500 MPa, substituído pelo reforço de aço SAE 1020 de (f_y) igual a 210 MPa. O cálculo utilizando a equação 5 verificou a resistência do parafuso chumbador quanto ao cisalhamento que também foi fabricado em aço SAE 1020, a norma NBR 8800/2008 determina para ligação de parafusos seja com resistência superior a chapa de ligação, verificou-se então a necessidade de utilizar 6 chumbadores com diâmetro de 3/8" de polegada iguais à 9,525 mm;

$$f_v = \frac{N_d}{m \cdot n_p \cdot A_p} \leq 0,6 \cdot f_u \quad \text{equação (5)}$$

Em que: f_v = Tensão de cisalhamento do parafuso (chumbador);
 N_d = Esforço normal atuando na chapa;
 m = Numero de planos de cisalhamento;
 n_p = Numero de parafusos;
 A_p = Área bruta do parafuso;
 f_u = Tensão de ruptura do aço.

Analizou-se posteriormente o escoamento da chapa de aço junto aos furos com os chumbadores pela equação 6 e 7, onde sua seção líquida efetiva atendeu aos requisitos do estado limite de ruptura.

$$R_{dt} = \frac{A_{nef} \cdot f_u}{\gamma_m} > N_d \quad \text{equação (6)}$$

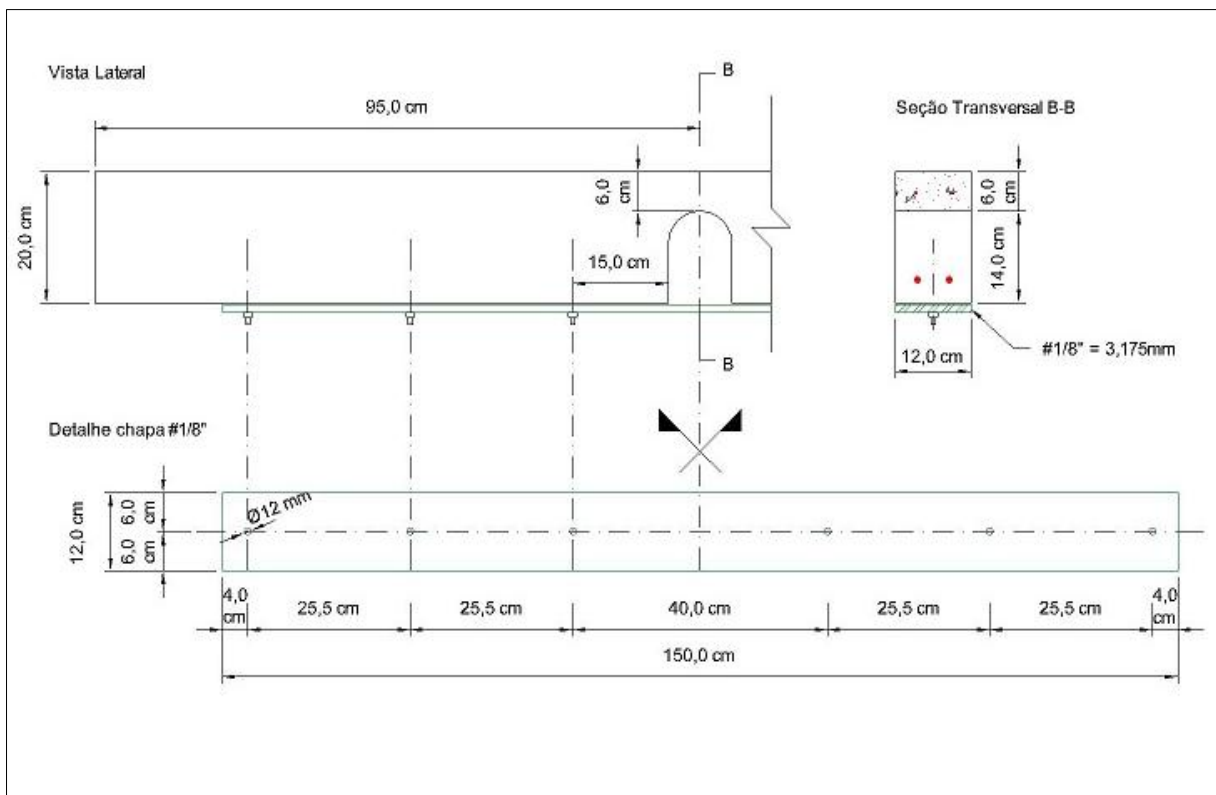
Em que: R_{dt} = Esforço resistente;
 A_{nef} = Área líquida efetiva;
 f_u = Tensão resistente à tração do aço;
 γ_m = Coeficiente de combinação de ações.
 N_d = Esforço normal atuando na chapa;

$$R_{dt} = \frac{A_g \cdot f_y}{\gamma_m} > N_d \quad \text{equação (7)}$$

Em que: R_{dt} = Esforço resistente;
 A_g = Área bruta;
 f_y = Tensão de escoamento à tração do aço;
 γ_m = Coeficiente de combinação de ações.
 N_d = Esforço normal atuando na chapa;

A dimensão da chapa foi determinada em 150 cm de comprimento por 12 cm de largura, furada com broca 12 mm para fixação dos chumbadores conforme detalhe da figura 5. Todos os cálculos foram satisfatórios para a boa execução com a máxima economia. A Figura 5 mostra o esquema estrutural das vigas de concreto armado com reforço metálico do grupo A.

Figura 5 – Esquema estrutural das vigas do grupo A.



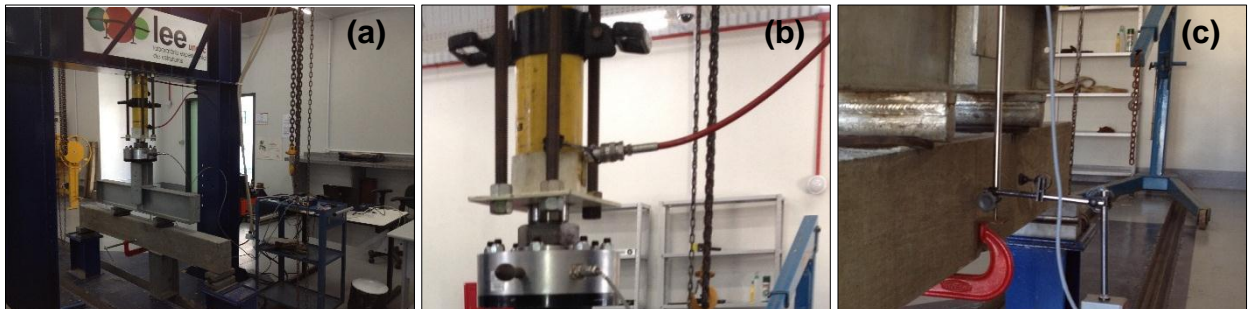
Fonte: João Francisco Nazário, 2015.

2.4 METODOLOGIA DE ENSAIO

Todas as amostras foram ensaiadas à flexão em quatro pontos, aos 28 dias de idade no Laboratório de Estruturas (LEE) da UNESC, localizado no I-Parque. Com auxílio do pórtico metálico a carga foi aplicada na vertical de forma gradual a uma distância de metade do vão teórico da viga pelo cilindro hidráulico com capacidade de carga de 500 kN. Esta carga foi transferida para dois pontos, exatamente no terço médio da viga. Foi instalado um sensor para medição de deslocamento linear (LVDT) no meio do vão teórico, fixado diretamente na face da viga de concreto armado. No decorrer da aplicação da carga verificou-se a formação e abertura de fissuras e deslocamentos

no estado limite último (ELU) e por último a capacidade de carga na ruptura. Os dados de carregamento e deslocamento foram obtidos com assistência de software computacional, ligados diretamente com a célula de carga no cilindro hidráulico e o LVDT, estes dados são repassados em carga versus deslocamento para cada segundo. O esquema adotado no ensaio está apresentado na Figura 6.

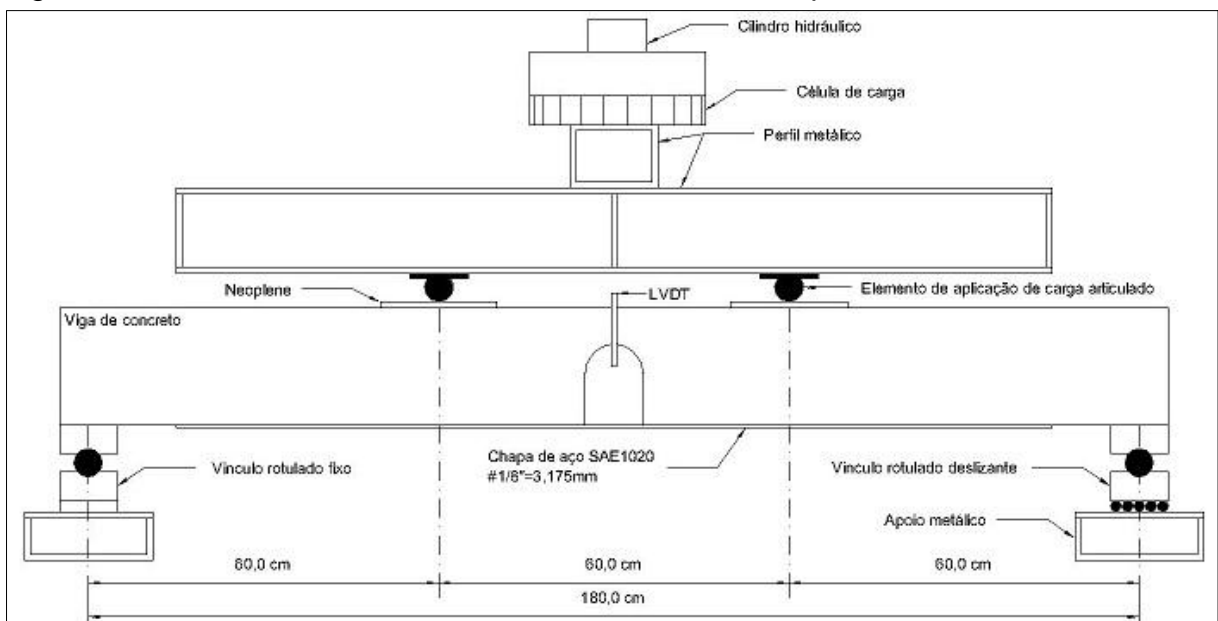
Figura 6: Equipamentos - (a) Pórtico metálico; (b) Cilindro hidráulico; (c) LVDT.



Fonte: João Francisco Nazário, 2015.

Foram submetidos aos ensaios de 4 pontos todas as 6 vigas de concreto armado, com e sem reforço, afim de analisar a carga em seu deslocamento máximo exigido pela NBR 6118:2014 que é de $L/250$. Verificou-se também a capacidade de carga até sua ruptura, visto suas fissuras e comportamentos dos chumbadores e reforços. A Figura 6 mostra o posicionamento dos equipamentos.

Figura 6: Posicionamento dos elementos no ensaio de 4 pontos.



Fonte: João Francisco Nazário, 2015.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. ABATIMENTO DE TRONCO DE CONE DO CONCRETO

O teste de abatimento de tronco de cone (slump-test) resultou em 11,5 cm, dentro das normas para aceitar o concreto usinado dosado em central, sendo que seu limite é estabelecido entre 10 + ou – 2 cm. A média dos valores de cálculo do ensaio de compressão axial no corpo de prova realizado as 7 dias resultou em 21,30 MPa e aos 28 dias 25,10 MPa. Valores que atendem o item de conformidade estabelecido pela norma NBR 5739:2007. A Figura 7 mostra o procedimento realizado para o slump-test.

Figura 7: *Slump-test* - (a) abatimento; (b) arrasamento; (c) medição do cone.



Fonte: João Francisco Nazário, 2015.

3.2. CARREGAMENTO NO DESLOCAMENTO MÁXIMO (L/250)

O deslocamento máximo (flecha) permitido pela norma NBR 6118:2014³ é de L/250, onde L é o vão teórico de 180 cm, resultando na flecha limite de 7,2 mm. Na Tabela 1 observa-se que as vigas com reforço, grupo A, apresentou uma redução na média dos valores de aproximadamente 71,43% em relação ao grupo de referência (grupo Ref).

Tabela 1: Resultados do carregamento no deslocamento máximo (L/250).

| GRUPO Ref | | | GRUPO A | | |
|----------------------|--------------|-------------|---------|--------------|-------------|
| Vigas | Carga (kN) | Flecha (mm) | Vigas | Carga (kN) | Flecha (mm) |
| VR1 | 37,44 | 7,20 | V1 | 9,22 | 7,20 |
| VR2 | 40,40 | 7,20 | V2 | 13,91 | 7,20 |
| VR3 | 43,46 | 7,20 | V3 | 11,51 | 7,20 |
| <i>Média</i> | <i>40,43</i> | - | | <i>11,55</i> | - |
| <i>Desvio Padrão</i> | <i>3,01</i> | - | | <i>2,35</i> | - |

Fonte: João Francisco Nazário, 2015.

3.3. CARREGAMENTO E DESLOCAMENTO NA RUPTURA

A carga e flecha para levar as amostras até a ruptura são observadas na Tabela 2.

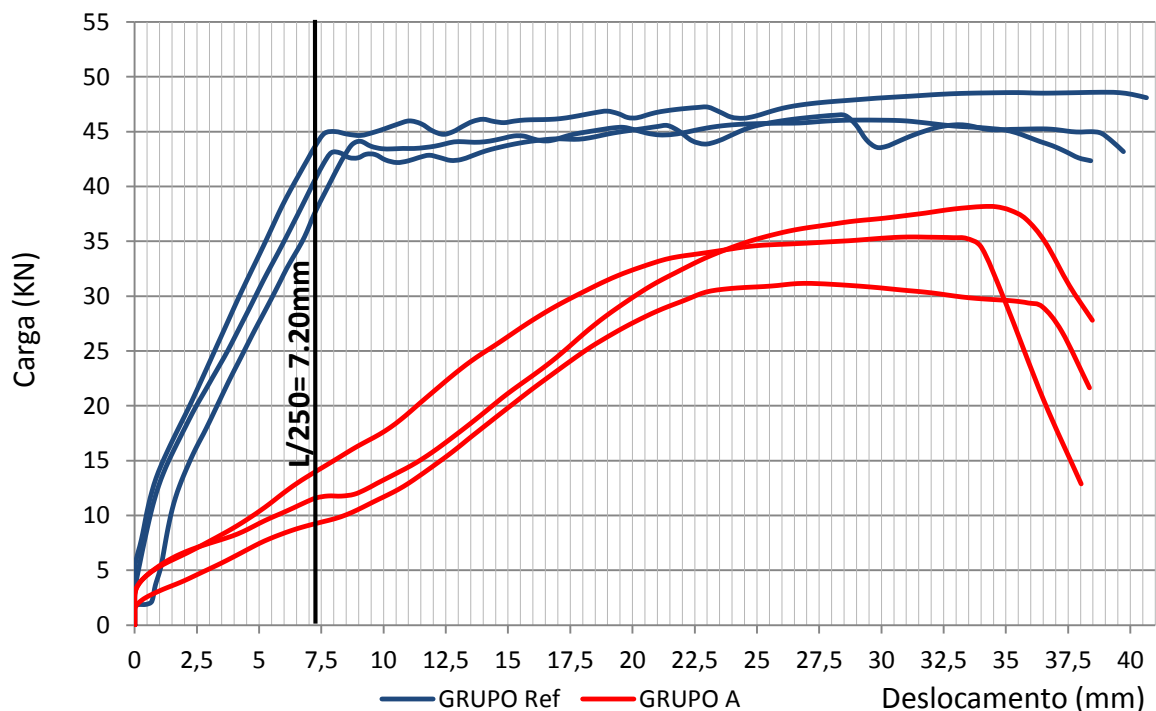
Tabela 2: Resultados do carregamento e deslocamento na ruptura.

| GRUPO Ref | | | GRUPO A | | |
|---------------|--------------|-------------|---------|--------------|--------------|
| Vigas | Carga (kN) | Flecha (mm) | Vigas | Carga (kN) | Flecha (mm) |
| VR1 | 44,12 | 9,08 | V1 | 31,18 | 26,89 |
| VR2 | 43,07 | 7,89 | V2 | 35,40 | 31,32 |
| VR3 | 45,01 | 8,05 | V3 | 38,17 | 34,09 |
| <i>Média</i> | <i>44,07</i> | <i>8,34</i> | | <i>34,92</i> | <i>30,70</i> |
| <i>Desvio</i> | | | | <i>3,52</i> | <i>3,63</i> |
| <i>Padrão</i> | <i>0,97</i> | <i>0,65</i> | | | |

Fonte: João Francisco Nazário, 2015.

Na Tabela 2, a média da carga aplicada até a ruptura da viga para o grupo A, resultou na perda de capacidade portante de aproximadamente 20,76% em relação à média do grupo Ref. O valor médio da flecha na ruptura do grupo A ultrapassou a média do grupo Ref, chegando a 268% à mais. A Figura 8 mostra o gráfico obtido pelo software, observa-se a deformação elevada do grupo A até sua ruptura por esmagamento do concreto na face superior.

Figura 8: Deslocamento *versus* carregamento.



Fonte: João Francisco Nazário, 2015.

3.4. COMPORTAMENTO DE FISSURAÇÃO

As fissuras foram estudadas visualmente. A Figura 9 mostra o comportamento das fissuras durante o ensaio. O grupo de referência (grupo Ref) apresentou fissuras típicas de flexão juntamente com o esmagamento do concreto na parte superior da viga. Já as vigas do grupo com reforço (grupo A), não apresentaram fissuras de flexão, somente esmagamento do concreto, pode-se observar o cisalhamento dos chumbadores parabolóides, iniciando pelos mais próximos ao furo.

Figura 9: Fissuras - (a) Grupo Ref; (b), (c) e (d) Grupo A

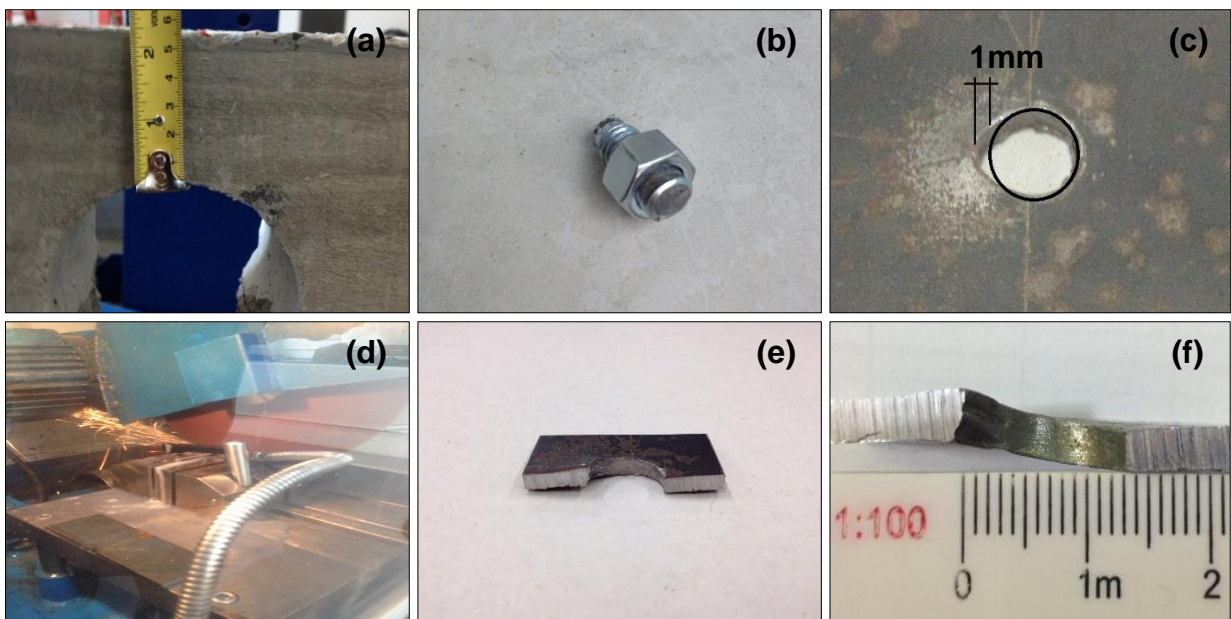


Fonte: João Francisco Nazário, 2015.

3.5. COMPORTAMENTO DE CISALHAMENTO E ESCOAMENTO NO REFORÇO

Notou-se “in loco”, que conforme aplicou-se o carregamento, os chumbadores do grupo A foram rompendo-se por cisalhamento, não trabalhando os 6 parabolts juntamente na mesma intensidade de esforço. Antes de romper todos os chumbadores ocorreu esmagamento do concreto na parte superior da viga, que estava trabalhando dentro da sua área limite conforme apresenta a Figura 10 – (a). O escoamento na chapa não foi significativa para o mal comportamento da viga em si, pois somente 2 furos por chapa apresentaram escoamento de no máximo 1 mm. Na Figura 10 – (b) mostra o chumbador parabolts rompido por cisalhamento. A Figura 10 – (c) apresenta o pior caso de escoamento da chapa causada pelo parafuso chumbador. Na Figura 10 – (d) mostra a chapa sendo cortada na seção transversal do furo para análise de escoamento. A Figura 10 – (e) apresenta a chapa de reforço cortada no furo e a Figura 10 – (f) exhibe o furo da chapa com escoamento de 1 mm conforme escala na figura.

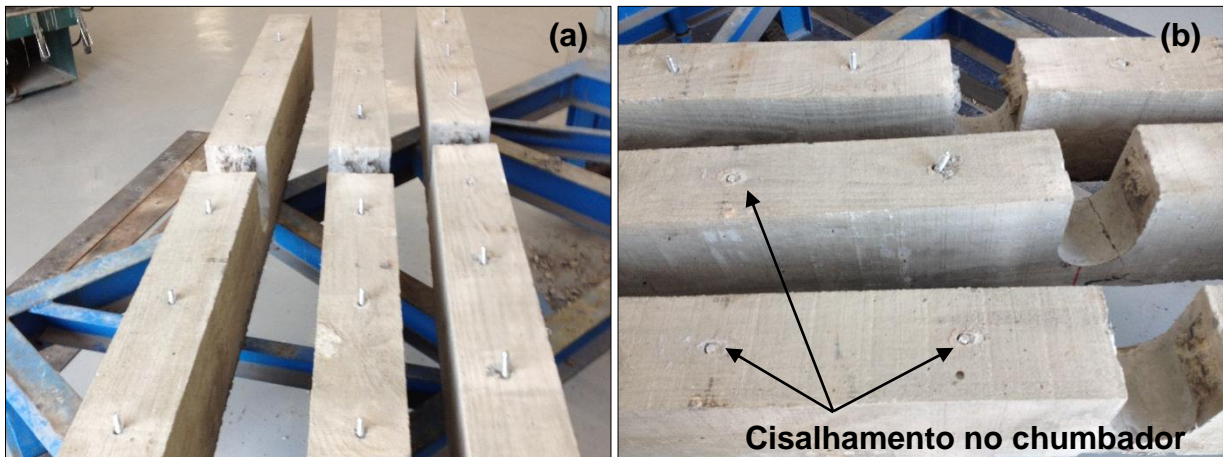
Figura 10: comportamento – esmagamento do concreto (a); escoamento do furo (b); cisalhamento do chumbador (c); corte da chapa (d); seção transversal da chapa (e); furo da chapa na escala (f).



Fonte: João Francisco Nazário, 2015.

O detalhe após a aplicação de carga das vigas de concreto armado do grupo com reforço metálico fixados com chumbador tipo parabolts denominados de grupo (A) estão dispostos na Figura 11.

Figura 11: Detalhe das vigas do grupo A



Fonte: João Francisco Nazário, 2015.

4. CONCLUSÕES

Com o presente estudo, conclui-se que:

- A altura da viga de concreto armado é muito baixa para esse estudo. Altura maior permitiria avaliação mais adequada, uma vez que aumentaria a seção de concreto comprimido;
- O sistema mostrou-se ineficiente, pois a viga reforçada perdeu capacidade portante da ordem 71,43% em situação de serviço na flecha limite;
- Os chumbadores estilo parabolt foram dimensionados para 1/6 da carga de cisalhamento, o que também não mostrou eficiência, pois não há distribuição uniforme de força.

Sugestões para trabalhos futuros:

- Mudar a chapa em sua espessura;
- Mudar o reforço de chapa para perfil “U”;
- Estudar outras seções transversais para viga de concreto armado;
- Novo dimensionamento dos chumbadores parabolt.

5. REFERÊNCIAS

³ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2014: Projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, 2014.

²CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**: segundo a NBR 6118:2003. 3ed. São Carlos, SP: EDUFSCAR, 2013. 368p.

DEGHENHARD, Caroline Crozeta. **Análise experimental da capacidade portante em vigas de concreto armado sujeitas a flexão com reforço metálico colado na face tracionada**. Trabalho de conclusão do curso de engenharia civil da UNESC. Criciúma, 2013.

⁴PFEIL, Walter; PFEIL, Michele. **Estruturas De Aço: Dimensionamento Pratico**. Rio de Janeiro, LTC, 2009. V.8.

TEIXEIRA, Tuiane. **Análise experimental de vigas em concreto armado sujeitas à flexão, reforçadas com perfil de aço**. Trabalho de conclusão do curso de engenharia civil da UNESC. Criciúma, 2014.

¹TISOT, Guilherme Di Domenico. **Reforço à flexão de vigas de concreto armado submetidas a carregamento precoce**. Rio Grande do Sul, 2010.