Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

ESTUDO EXPERIMENTAL DE VIGAS REFORÇADAS COM CHAPAS DE AÇO COLADAS

JENNIFER. DE OLIVEIRA RODRIGUES
Graduanda em Engenharia Civil
Universidade Estadual Vale do Acaraú
Ceará; Brasil
jenni-rodrigues@hotmail.com

RICARDO. JOSÉ CARVALHO SILVA
Professor do Curso de Engenharia Civil
Universidade Estadual Vale do Acaraú
Ceará; Brasil
ricardo.carvalho222@gmail.com

RESUMO

Estruturas de concreto armado estão sujeitas a diversos fatores que podem alterar suas condições normais de uso, e comprometer o seu desempenho. Nesse contexto, surge a necessidade de se utilizar mecanismos de reabilitação para que as estruturas sejam reutilizadas com segurança. O reforço estrutural, embora pouco discutido na literatura técnica brasileira, compreende um desses tipos de mecanismos, onde se busca promover adequações da capacidade resistente das estruturas. Portanto, o presente trabalho consiste em um estudo experimental de reforço estrutural de vigas de concreto armado com a adição de chapas de aço coladas, por meio de adesivo estrutural de base epóxi, nas faces inferiores, utilizando como meio de ancoragem a colagem de chapas de aço nas faces laterais e de cantoneiras também de aço. Para realização deste estudo foram analisadas experimentalmente e comparadas, cinco amostras de vigas, igualmente armadas e de mesmas dimensões, sendo uma referencial (sem reforço) e outras quatro reforçadas com diferentes configurações, onde se buscou verificar a eficiência do reforço. As amostras foram submetidas ao ensaio de *stuttgart*, com objetivo de analisar o modo de ruptura e verificar a aderência do reforço. Através dos resultados obtidos, realizou-se comparações entre a viga de referência e as demais, dessa maneira, verificou-se que este método de reforço não ofereceu uma eficiência significativa, acredita-se que o fator principal para esse resultado se deu devido ao uso das cantoneiras e das chapas laterais, como peças monolíticas, já que a rigidez das mesmas, e consequentemente, a pouca flexibilidade, contribuiu para que ocoresse o descolamento precoce da chapa inferior.
Palavras-chave: reforço, chapa de aço, viga.

ABSTRACT

Reinforced concrete structures are subject to various factors that can change their normal use and compromising its performance. In this context, the need arises to use rehabilitation mechanism for the blanks to be reused safely. The structural reinforcement, although not common in the Brazilian technical literature, comprises one of these types of mechanisms, which seeks to promote adaptations of the bearing capacity of the structures. Therefore, the present work is a structural reinforcement of experimental study of reinforced concrete beams with the addition of bonded steel sheets, by means of structural adhesive epoxy base, the lower faces, using as a means of anchoring the bonding sheet steel on the sides and angles also of steel. For this study were analyzed and compared experimentally, five samples beams, also armed and same dimensions, with a referential (unreinforced) and four reinforced with different settings, where it sought to verify the enhanced efficiency. The samples were submitted to Stuttgart test, in order to analyze the failure mode and check the reinforcement of adherence. The results obtained, there was comparisons between the reference beam and the other in this way, it was found that this strengthening method has not offered significant efficiencies, it is believed that the primary factor for this result was due to the use the gussets and side plates, as monolithic parts, since the rigidity thereof, and therefore the little flexibility contributed to occur early detachment of the bottom plate
Keywords: reinforcement, steel sheet, beam.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

1. INTRODUÇÃO

A ABNT-NBR6118:2014 [1] aponta que as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas para que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto, e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, as mesmas conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil. Porém, mesmo que as estruturas de concreto armado tenham a resistência e a durabilidade como algumas de suas principais características, o passar do tempo, a exposição a agentes agressivos, os agravantes de erros de projeto, má execução e conservação, por exemplo, contribuem para uma degradação precoce, já que alteram as condições normais de uso da estrutura, contribuindo para o aparecimento de algumas patologias que podem comprometer a sua funcionalidade, reduzir sua vida útil ou até mesmo danificar o restante da edificação.

Nesse contexto, percebe-se que a indústria da construção vem deslocando bastante atenção aos estudos sobre mecanismos de reabilitação de estruturas, estimulando o desenvolvimento de tecnologias destinadas a solucionar problemas em peças deterioradas, danificadas ou tornadas obsoletas, e buscando pesquisas que foquem na utilização de materiais, que além de aumentarem a resistência mecânica da estrutura, sejam de fácil aplicação, duráveis, acessíveis e de bom custo-benefício.

Entre as várias técnicas de reabilitação de estruturas, têm-se o reforço estrutural por colagem de chapas metálicas. Segundo Reis [2], esse método consiste em colagem de chapas de aço de espessura adequada, externas à peça estrutural, isto é, na superfície dos elementos de concreto armado. A colagem se dá, geralmente, através de adesivo epoxídico, criando uma armadura secundária solidária à peça estrutural, fazendo com que haja a união do aço ao concreto. Araújo [3] cita que dentre as técnicas de reforço de estruturas de concreto armado, a de aplicação de reforços colados tem as vantagens de ser eficiente, de fácil execução e de não aumentar significativamente o peso e dimensões do elemento. Porém, Silva [4] enfatiza que o sucesso dessa aplicação depende da preparação das superfícies do concreto, da chapa e de sua cura.

Quanto às vantagens, Reis [5] cita que essa técnica provoca apenas pequenas alterações na seção do elemento reforçado, o que consequentemente acarreta pequena interferência arquitetônica, além disso, proporciona a vantagem da rapidez na execução, ausência de vibração, baixo nível de ruídos e apresenta-se como solução de baixo custo. Este último quesito é um dos principais para larga utilização desse método em pequenas e médias edificações, principalmente diante de técnicas mais modernas que possuem custo mais elevado, como os reforços baseados em fibra de carbono (CFRP).

O presente trabalho consiste, portanto, no estudo experimental de reforço estrutural em vigas de concreto armado, com a adição de chapas de aço coladas (com adesivo estrutural de base epóxi) na face tracionada (inferior). Ressalta-se que a reabilitação contou com o auxílio de chapas laterais e cantoneiras de aço, com intuito de proporcionar uma maior ancoragem à chapa inferior. Para a realização deste estudo foram analisadas experimentalmente e comparadas, cinco vigas, igualmente armadas e de mesmas dimensões, sendo uma referencial, ou seja, sem reforço, denominada J1 e outras quatro vigas que foram reforçadas com diferentes tamanhos de chapas de aço, dispostas em diferentes localizações nas vigas, denominadas J2, J3, J4 e J5, onde se objetivou verificar a eficiência desse método de reabilitação, considerando a influência da resistência mecânica, aderência e segurança.

Levando-se em consideração, que cada método de reforço apresenta suas peculiaridades, inclusive Galle [6] enfatiza que a escolha, geralmente, se dá em relação ao custo e facilidade de aplicação e em relação ao desempenho e durabilidade do reforço, a escolha da técnica adotada nessa pesquisa se deu devido à disponibilidade de material e mão de obra, na região, e por ser um método de reforço de fácil aplicação que pode ser utilizado tanto por grandes como por pequenas empresas, buscando-se o desempenho apropriado. Ressalta-se também, o fato de que na literatura técnica brasileira, estudos e investigações científicas ainda são necessárias para melhor avaliar o comportamento de estruturas reabilitadas.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1. Aparelhagem do Ensaio

Para realizar a comparação proposta nesse trabalho, e consequentemente analisar a eficiência do reforço utilizado, as vigas foram submetidas ao Ensaio de Stuttgart, no Laboratório de Estruturas e Materiais de Construção do Departamento de Engenharia da Universidade Estadual Vale do Acaraú. Para tal, utilizou-se uma prensa universal adaptada com uma bandeja metálica existente, com dois apoios flexíveis distantes 62 cm entre si, e um dispositivo para distribuição de carga em dois pontos simétricos, conforme mostra a figura 1. Destaca-se que os adaptadores utilizados para a aplicação de carga nas peças foram posicionados de tal maneira que a carga fosse aplicada em dois pontos opostos e equidistantes a 10 cm do centro da peça, restando uma distância de 30 cm de cada ponto para a extremidade da viga, como se ver na figura 2.



Figura 1: Prensa Hidráulica Universal Adaptada para o Ensaio de Stuttgart e Adaptadores Utilizados

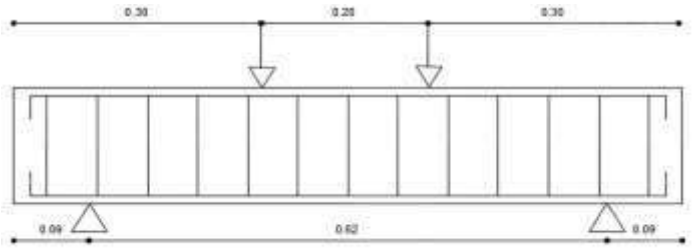


Figura 2: Esquema de Aplicação das Cargas e Posição dos Apoios da Prensa Hidráulica

2.2. Descrição e Detalhamento das Vigas Ensaiadas

2.2.1. Geometria das Vigas Ensaiadas

Nesse experimento, ensaiaram-se cinco vigas de concreto armado com seções transversais retangulares de dimensões 10 cm x 15 cm e 80 cm de comprimento, como ilustrado na figura 3. A escolha dessas dimensões se deve ao fato de desejar obter peças que pudessem ser utilizadas, sem prejuízos de eficiência, na aparelhagem descrita acima.



Figura 3: Foto da Viga Concretada com as Dimensões Finais

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

2.2.2. Materiais das Vigas Ensaiadas

Todas as cinco vigas ensaiadas foram igualmente armadas, sendo suas armaduras confeccionadas por vergalhões CA-50 (GG50), e tanto o diâmetro do aço da armadura longitudinal principal (tração), o diâmetro do aço da armadura longitudinal secundária (compressão), bem como o diâmetro do aço das armaduras transversais, todos foram iguais a 6,3mm. As figuras 4 e 5 ilustram o detalhamento das armaduras das peças ensaiadas.

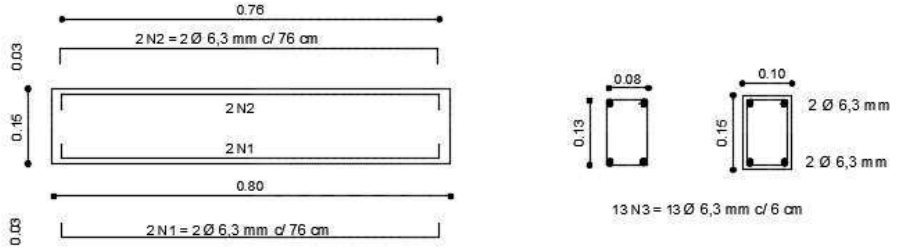


Figura 4: Detalhamento das Vigas Ensaiadas

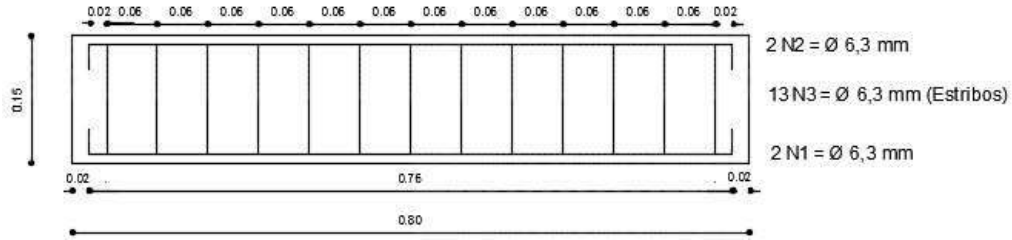


Figura 5: Espaçamento dos Estribos

Através de ensaios submetidos a corpos-de prova cilíndricos, confeccionados concomitantemente à confecção das vigas, foi possível obter informações relevantes das características do concreto utilizado na pesquisa, como se verifica na tabela 1. As tabelas 2 e 3, por sua vez, mostram as principais características do aço e do adesivo estrutural utilizado, respectivamente, através de informações dos fabricantes.

Tabela 1 - Características do Concreto Utilizado nas Vigas Ensaiadas

Material	f_c (1) (MPa)	f_t (1) (MPa)	f_t (2) (MPa)	E_{cs} (2) (GPa)
Concreto	31,42	3,30	2,09	26,68

(1) Obtidos em ensaios;
(2) Calculados pela Norma NBR6118:2014 [1];

Tabela 2 - Características do Aço Utilizado nas Vigas Ensaiadas

Material	Referência	f_y (3) (MPa)	f_{rupt} (3) (MPa)	E_s (3) (GPa)
Aço	Vergalhão GG50 de Ø 6,3mm	500	550	210
	Chapa de aço patinável (CSN COR 420) de 3mm	300	420	205

(3) Informados pelo fabricante;

Tabela 3 - Características do Adesivo Estrutural Utilizado nas Vigas Ensaiadas

Material	f_c (3) (4) (MPa)	f_t (3) (5) (MPa)	$f_{aderência}$ (3) (5) (MPa)	E (3) (GPa)
Adesivo Estrutural à Base de Epóxi	80	50	28,3	4,3

(3) Informados pelo fabricante;
(4) Resistência aos 14 dias, submetida a 32ºC;
(5) Resistência aos 14 dias;

2.3. Metodologia do Ensaio

O ensaio se deu basicamente em três etapas, a saber: 1) Pré-fissuração das peças, com exceção da J1, que foi considerada a viga de referência, isto é, isenta de reabilitação; 2) Aplicação do reforço com chapas de aço coladas nas quatro vigas reabilitadas, J2, J3, J4 e J5; 3) Aplicação de carga até o momento de ruptura das cinco vigas.

Sendo assim, na primeira etapa de ensaios, que ocorreu 63 dias após a concretagem, as quatro vigas que seriam reforçadas J2, J3, J4 e J5, foram submetidas a um pré-fissuramento, já que, em casos de engenharia, quase sempre as peças reabilitadas sofreram algum tipo de dano. O processo iniciou-se com a aplicação de uma carga inicial de 5 kN, em cada viga, que logo em seguida foi retirada, procedimento realizado para acomodar os materiais da peça e também para garantir a eficácia dos resultados nos ensaios. Posteriormente, aplicou-se carga de maneira progressiva em cada peça, até atingir 50 kN, sendo as fissuras nessa etapa marcadas por um pincel de cor azul.

A segunda etapa consistiu na reabilitação das quatro vigas pré-fissuradas. Cada viga recebeu um tipo de reforço diferente, detalhado mais adiante. Ressalta-se que o processo de reabilitação iniciou-se com a marcação prévia da posição das chapas, posteriormente foi realizado ranhuras nesses locais, com auxílio de makita, para melhorar a aderência, o processo seguiu com a limpeza de todo o substrato, e somente após esses procedimentos preliminares, iniciou-se o processo de aplicação do adesivo estrutural à base de epóxi, e consequentemente a fixação das chapas.

Por fim, a terceira etapa consistiu no Ensaio de Stuttgart, realizado sete dias após a reabilitação das vigas, período necessário para a cura final do adesivo estrutural. Na ocasião, as cinco vigas também receberam, inicialmente, uma carga de 5 kN, com o objetivo de acomodar a viga, retirada logo em seguida e posteriormente receberam carga de maneira gradativa e uniforme de 10 em 10 kN, verificando em cada acréscimo de carga, tanto o surgimento de novas fissuras como a evolução das fissuras já existentes, sendo que nessa etapa as fissuras foram marcadas com pincel de cor preta. Esse processo se deu até a ruptura das vigas, onde foi possível analisar o modo de ruptura e verificar a aderência do reforço de cada viga.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Estimativa da Carga de Início ao Descolamento do Reforço

$\tau_{falha} = F_{arrancamento}/A$ ➔ 3 Mpa = $F_{arrancamento}/(0{,}10m \times 0{,}10m)$ ➔ $F_{arrancamento} = 30000$ N = 30 KN
$V_{início\ de\ descolamento} = 2 . F_{arrancamento} . z/a$ ➔ $V_{início\ de\ descolamento} = 2. 30 . 0{,}135/0{,}21 = 38{,}57$ kN

Onde:
τ_{falha} = tensão de cisalhamento limite dado pelo fabricante na ligação com concreto (entre 3 MPa e 3,5 MPa);
$F_{arrancamento}$ = força necessária para o cisalhamento arrancar o reforço;
z = distância entre o banzo comprimido e a armadura longitudinal ($z \approx 13{,}5$);
a = distância do apoio ao ponto de aplicação de carga (a = 21 cm);

Partindo desse princípio, havia a possibilidade de descolamento precoce da chapa inferior, necessitando assim de meios de ancoragem, portanto, a utilização das cantoneiras e chapas laterais teria o intuito de melhorar a ancoragem do reforço inferior, objetivando elevar a carga de ruptura da peça.

3.2. Estimativa da Resistência à Flexão das Vigas Ensaiadas

$V_{rupt\ sem\ reforço} = 2.[k_z.A_{s1}.d.f_{y1}]/a$
$V_{rupt\ sem\ reforço} = 2 . [1 . 0{,}62 . 10^{-4} . 0{,}135 . 700 . 10^{6}]/0{,}21 = 55800$ N = 55,80 kN

$V_{rupt\ com\ reforço} = 2.[k_z.(A_{s1}. f_{y1} + A_{s2}. f_{y2}) . d]/a$
$V_{rupt\ com\ reforço} = 2.[1.(0{,}62 . 10^{-4} . 700 . 10^{6} + 3 . 10^{-4} . 300 . 10^{6}) . 0{,}13]/0{,}21$
$V_{rupt\ com\ reforço} = 2.[1.(43400 + 90000) . 0{,}13]/0{,}21 = 165161{,}91$ N = 165,16 kN

Onde:
$V_{rupt\ sem\ reforço}$ = Carga de ruína à flexão da viga J1;
$V_{rupt\ com\ reforço}$ = Carga de ruína à flexão das vigas J2, J3, J4 e J5, considerando aderência perfeita entre a chapa de aço e o concreto;

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

$k_z = z/d \approx 1$;
z = distância entre o banzo comprimido e a armadura longitudinal ($z \approx 13,5$);
d = altura útil da viga (d = 13,5 cm);
a = distância do apoio ao ponto de aplicação de carga (a = 21 cm);
A_{s1} = seção transversal da armadura longitudinal (2ϕ6,3mm ➔ 0,62 cm^2);
A_{s2} = seção transversal da chapa de reforço (3mm x 100mm ➔ 3 cm^2);
f_{y1} = tensão limite de escoamento do aço da armadura longitudinal (apesar do fabricante apresentar uma tensão mínima de escoamento de 500MPa, diversos ensaios de laboratório mostram que a tensão de escoamento do aço CA-50(GG50) tem variado entre 650 MPa e 750 MPa, por isso optou em usar no cálculo 700MPa);
f_{y2} = tensão limite de escoamento do aço da chapa de reforço (o fabricante apresenta uma tensão mínima de escoamento de 300MPa).

Verifica-se, portanto, que com a configuração de reforço utilizada deseja-se elevar consideravelmente a carga de ruptura da peça ensaiada.

3.3. Viga J1

A viga de referência J1, ilustrada na figura 6, serviu de parâmetro de comparação para as demais vigas reabilitadas, com o objetivo de verificar a eficiência dos reforços utilizados.



Figura 6: Viga J1

Tendo como intuito simular como a viga romperia em seu estado normal, ela não sofreu processo de pré-fissuração e nem foi reabilitada. Dessa maneira, foi apenas exposta ao Ensaio de Stuttgart. A primeira fissura ocorreu ao receber o carregamento de 30 kN e a viga chegou a ruptura com 98 kN, como ilustra a figura 7. Percebe-se que a carga de ruptura é bem maior do que a estimada (98 kN > 55,80 kN), provavelmente, devido ao fato de que a peça possui um vão pequeno em relação a sua altura, contribuindo para que surja um núcleo de rigidez, criando bielas arqueadas, e consequentemente, aumentando a resistência da viga.



Figura 7: Viga J1 após Ruptura

Na figura 8, que ilustra a face inferior da viga, é possível observar as fissuras causadas pela flexão. Portanto, pode-se dizer que a viga J1 obteve ruptura por flexão com deformação plástica excessiva do aço, como esperado.


Figura 8: Face Inferior da Viga J1 após Ruptura

3.4. Viga J2

A viga J2, ilustrada na figura 9, após a pré-fissuração apresentou 2 fissuras visíveis, como mostrado na figura 10.



Figura 9: Viga J2



Figura 10: Viga J2 após Pré-Fissuração

Na segunda etapa, a amostra foi reforçada com a adição de 1 chapa de aço de 10 cm x 50 cm e espessura de 3 mm, em sua parte inferior, com objetivo de combater à flexão, e para servir de ancoragem a essa chapa foram adicionadas 8 chapas de aço de 3 cm x 14 cm, nas laterais (4 em cada lateral) e 2 cantoneiras de 50 cm (uma em cada lado), todas também de 3 mm de espessura. Ressalta-se que todas foram coladas ao concreto e entre si, por meio do adesivo estrutural à base epóxi. A figura 11 ilustra a viga reforçada.



Figura 11: Viga J2 após Aplicação de Reforço

Por fim, na terceira etapa, que deu início ao Ensaio de Stuttgart, verificou-se que ao receber a carga de 60 kN surgiram as primeiras fissuras visíveis dessa etapa e as chapas laterais começaram a se descolar. No decorrer do ensaio, as fissuras foram se intensificando, até a carga de 80 kN, quando as cantoneiras e a chapa inferior começaram a descolar. A partir desse momento, a peça mostrou sua ductilidade e se rompeu com 99 kN, como se ver nas figuras 12 e 13.



Figura 12: Viga J2 após Ruptura


Figura 13: Face Inferior da Viga J2 após Ruptura

Pode-se dizer que a viga J2 obteve ruptura por flexo-cisalhamento influenciado pelo descolamento das chapas de aço. Quanto à carga de ruptura, não houve um aumento significativo em relação à viga de referência J1, apenas 1%, uma das explicações para esse fato consiste justamente no descolamento precoce do reforço, principalmente nos reforços laterais que descolaram em grande proporção rapidamente.

3.5. Viga J3

A viga J3, ilustrada na figura 14, na primeira etapa apresentou 3 fissuras visíveis, como mostrado na figura 15.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459



Figura 14: Viga J3



Figura 15: Viga J3 após Pré-Fissuração

Na segunda etapa, a amostra foi reforçada com a adição de 1 chapa de aço de 10 cm x 50 cm e espessura de 3 mm, em sua parte inferior, com objetivo de combater à flexão, e para servir de ancoragem a essa chapa foram adicionadas 4 chapas de aço de 3 cm x 14 cm, nas laterais (2 em cada lateral) e 2 cantoneiras de 50 cm (uma em cada lado), todas também de 3 mm de espessura. A figura 16 ilustra a viga reforçada.



Figura 16: Viga J3 após Aplicação de Reforço

Em relação à terceira etapa, verificou-se, que ao receber a carga de 70 kN surgiram as primeiras fissuras dessa etapa e as chapas laterais começaram a dá sinais de descolamento. Com 90 kN as cantoneiras e a chapa inferior começaram a descolar, e a viga chegou ao colapso com 108 kN, como se analisa nas figuras 17 e 18.



Figura 17: Viga J3 após Ruptura



Figura 18: Face Inferior da Viga J3 após Ruptura

A ruptura da viga J3 também foi por flexo-cisalhamento influenciado pelo descolamento das chapas de aço. Em relação ao descolamento das chapas laterais foi em proporção bem menor quando comparados à viga J2. E quanto à carga de ruptura, em relação à viga de referência, o aumento foi da ordem de 10%, possivelmente um aumento em pequena escala devido ao descolamento precoce do reforço.

3.6. Viga J4

A viga J4, ilustrada na figura 19, durante a primeira etapa apresentou 2 fissuras visíveis, como mostrado na figura 20.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459



Figura 19: Viga J4



Figura 20: Viga J4 após Pré-Fissuração

Durante a segunda etapa, a viga foi reforçada com a adição de 1 chapa de aço de 10 cm x 30 cm e espessura de 3 mm, em sua parte inferior, com objetivo de combater à flexão, e para servir de ancoragem a essa chapa foram adicionadas 8 chapas de aço de 3 cm x 14 cm, nas laterais (4 em cada lateral) e 2 cantoneiras de 30 cm (uma em cada lado), todas também de 3 mm de espessura. A figura 21 ilustra a viga reforçada.



Figura 21: Viga J4 após Aplicação de Reforço

Na terceira etapa, analisou-se que ao receber a carga de 50 kN surgiram as fissuras dessa etapa e as chapas laterais começaram a dá sinais de descolamento. As cantoneiras e a chapa inferior começaram a descolar com 80 kN e a viga chegou a ruptura com 110 kN, como se ilustra nas figuras 22 e 23.



Figura 22: Viga J4 após Ruptura


Figura 23: Face Inferior da Viga J4 após Ruptura

Pode-se dizer que a ruptura da viga J4 também foi por flexo-cisalhamento influenciado pelo descolamento das chapas de aço. Em relação ao descolamento das chapas laterais também foi em proporção bem menor quando comparado à viga J2. Quanto à carga de ruptura, em relação à viga de referência, o aumento foi da ordem de 12%.

3.7. Viga J5

A viga J5, ilustrada na figura 24, durante a pré-fissuração apresentou 3 fissuras visíveis, como mostrado na figura 25.



Figura 24: Viga J5



Figura 25: Viga J5 após Pré-Fissuração

Quanto ao reforço na segunda etapa, a viga recebeu a adição de 1 chapa de aço de 10 cm x 30 cm e espessura de 3 mm, em sua parte inferior, com objetivo de combater à flexão, e para servir de ancoragem a essa chapa foram adicionadas 4 chapas de aço de 3 cm x 14 cm, nas laterais (2 em cada lateral) e 2 cantoneiras de 30 cm (uma em cada lado), todas também de 3 mm de espessura. A figura 26 ilustra a viga reforçada.



Figura 26: Viga J5 após Aplicação de Reforço

No Ensaio de Stuttgart, verificou-se que ao receber a carga de 50 kN surgiram as fissuras e as chapas laterais começaram a dá sinais de descolamento, porém ressalta-se que por volta dos 70 kN as chapas laterais apresentavam grau de descolamento bem elevado, similar a viga J2. O descolamento das cantoneiras e a chapa inferior sucedeu por volta dos 80 kN e o colapsou ocorreu com 100 kN, como se ver nas figuras 27 e 28.



Figura 27: Viga J5após Ruptura


Figura 28: Face Inferior da Viga J5após Ruptura

A ruptura da viga J5 também foi por flexo-cisalhamento influenciado pelo descolamento das chapas de aço. Em relação ao descolamento das chapas laterais, foi em proporção similar ao da viga J2, isto é, em alto grau. Quanto à carga de ruptura, em relação à viga de referência, o aumento foi da ordem de 2%, possivelmente devido ao descolamento precoce do reforço, principalmente nos reforços laterais que descolaram em grande proporção rapidamente.

As tabelas 3 e 4 mostram o resumo das principais características e resultados das cinco vigas submetidas ao Ensaio de Stuttgart.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

Tabela 3 - Resumo das Principais Características das Vigas Ensaiadas

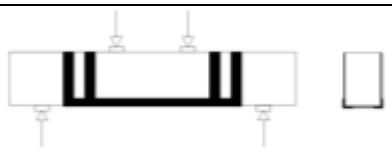
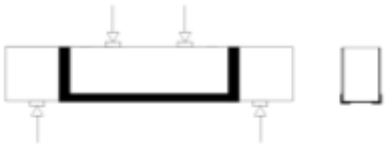
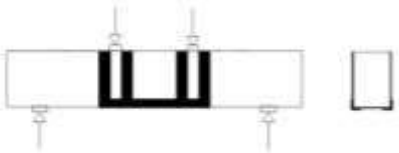
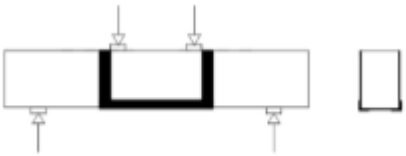
Viga	Dimensões	Reforço Utilizado
Viga J1	10x15x80cm	Sem Reforço
Viga J2	10x15x80cm	
Viga J3	10x15x80cm	
Viga J4	10x15x80cm	
Viga J5	10x15x80cm	

Tabela 4 - Resumo dos Principais Resultados das Vigas Ensaiadas

Viga	Carga de Descolamento das Chapas Laterais	Carga de Descolamento das Cantoneiras/ Chapa Inferior	Carga de Ruptura	Modo de Ruptura	Aumento de Carga em Relação à Viga de Referência	Eficiência do Reforço
Viga J1	-	-	98kN	Flexão com deformação plástica excessiva do aço	-	-
Viga J2	60 kN	80 kN	99 kN	Flexo-cisalhamento influenciado pelo descolamento das chapas de aço	1% em relação a viga J1	Pouco Eficiente
Viga J3	70 kN	90 kN	108 kN	Flexo-cisalhamento influenciado pelo descolamento das chapas de aço	10% em relação a viga J1	Pouco Eficiente
Viga J4	50 kN	80 kN	110 kN	Flexo-cisalhamento influenciado pelo descolamento das chapas de aço	12% em relação a viga J1	Eficiência Moderada
Viga J5	50 kN	80kN	100 kN	Flexo-cisalhamento influenciado pelo descolamento das chapas de aço	2% em relação a viga J1	Pouco Eficiente

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

4. CONCLUSÕES

A reabilitação das vigas por meio da adição de chapas de aço coladas, com adesivo estrutural de base epóxi, na parte tracionada, e utilizando como meio de ancoragem a colagem de chapas laterais e cantoneiras de aço, se mostrou pouco eficiente, visto que, embora a quantidade de fissuras na região de flexão pura tenha sido bastante reduzida, e embora todas as vigas reabilitadas tenham rompido com carga superior à viga de referência, apenas uma delas apresentou acréscimo superior a 10%, e nenhuma delas alcançou o valor de ruptura estimado de 165,16 kN. Quanto à forma de ruptura, ressalta-se que todas as amostras reabilitadas romperam devido à ação do descolamento das chapas.

Com relação ao motivo desse descolamento, existem possíveis explicações: 1) O adesivo estrutural pode ter proporcionado pouca aderência ao concreto, porém, em contrapartida, destaca-se que foi realizado ranhuras nos locais de aplicação, justamente, visando aumentar essa aderência. 2) As chapas laterais das vigas J2, J3 e J5 (embora esta última apresentasse comprimento menor) podem ter descolado com carregamento baixo devido estarem localizadas em regiões com grandes esforços cortantes, que consequentemente oferecem maiores tensões, e sendo a configuração de seu material considerada bem rígida, favorece em diminuir a flexibilidade para acompanhar a deformação imposta pelo carregamento. Somando a isso, também se tem o fato de que as chapas laterais por estarem unidas a cantoneira, e esta está unida a chapa inferior, pode ter influenciado no descolamento da chapa inferior mais rápido do que o esperado, uma vez que a força originada deve ter sido prejudicial à eficiência do reforço inferior. 3) Quanto à viga J4, vale ressaltar que as chapas laterais mais próximas do centro da amostra não sofreram descolamento, isso se deve ao fato de que elas estão localizadas em regiões de flexão pura, portanto, não sofreram deformações, servindo como ancoragem para a chapa inferior, o que era o objetivo desse trabalho, inclusive percebe-se que essa amostra apresentou o valor mais alto de ruptura, embora não tenha sido um grande aumento, pois as chapas laterais mais distantes do centro da amostra permaneceram em regiões de alto esforço cortante, apresentando grandes deformações que contribuíram para descolamento precoce.

Também se verificou nessa pesquisa, que a partir do momento em que ocorreram as fissuras visíveis, as chapas laterais começaram a sofrer descolamento, mostrando a sua rigidez diante da deformação. E um detalhe importante, é que as duas vigas (J2 e J5) que apresentaram descolamento das chapas laterais com maior intensidade, romperam com cargas menores.

Por fim, em relação à localização de aplicação do reforço, percebeu-se que a viga J4, por apresentar 4, de suas 8 chapas laterais, em região de flexão pura, foi a que forneceu melhor desempenho, dentre as vigas ensaiadas, embora tenha sido um pouco prejudicada pelas outras 4 chapas laterais localizadas fora da região de flexão pura, o que a impossibilitou de mostrar um desempenho mais satisfatório.

5. AGRADECIMENTOS

A empresa “Só Aço”, que se prontificou em disponibilizar as armaduras utilizadas na confecção das vigas estudadas.

A “Cameron Construtora”, pelo apoio na concretagem das vigas ensaiadas.

A Universidade Estadual Vale do Acaraú, pela oportunidade diante da realização desse trabalho.

6. REFERÊNCIAS

[1] Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto De Estruturas de Concreto – Procedimento. NBR 6118. Rio De Janeiro: ABNT, 2014.

[2] REIS, L. S. N. “Sobre a Recuperação e Reforço das Estruturas de Concreto Armado”. Belo Horizonte: 2001. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Estruturas. Universidade Federal de Minas Gerais. 112p.

[3] ARAÚJO, C. M. “Reforço de Vigas de Concreto à Flexão e ao Cisalhamento com Tecidos de Fibra de Carbono”. Rio de Janeiro: 2002. Dissertação de Mestrado em Ciências em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 153p.

[4] SILVA, E. A. “Técnicas de Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado”. São Paulo: 2006. Projeto de Graduação em Engenharia Civil. Universidade Anhembi Morumbi. 84p.

[5] REIS, A. P. A. "Reforço de Vigas de Concreto Armado Por Meio de Barras de Aço Adicionais ou Chapas de Aço e Argamassa de Alto Desempenho". São Carlos: 1998. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Estruturas. – Universidade de São Paulo. 239p.

[6] GALLE, G. "Métodos de Reforço Passivos em Elementos Lineares Fletidos em Concreto Armado: Estudo Comparativo do Acréscimo de Capacidade Portante através de Programa Computacional". Porto Alegre: 2011. Projeto de Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 124p.