CBPAT 2020 ANAIS
CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES
DE 15 A 17 DE ABRIL | FORTALEZA - CE
http://dx.doi.org/10.4322/CBPAT.2020.054
ISBN 978-65-86819-05-2

SISTEMAS DE ANCORAGEM MECÂNICA PARA VIGAS REFORÇADAS À FLEXÃO COM PRF

STEIN, KÁSSIO JOE
Doutorando em Engenharia Civil
UFRGS
Rio Grande do Sul; Brasil
kassio86@hotmail.com

FÜHR DE OLIVEIRA, ALEXANDRE
Engenheiro Civil
UFRGS
Rio Grande do Sul; Brasil
alexandre.fuhr@live.com

GARCEZ, MÔNICA REGINA
Professora Associada
UFRGS
Rio Grande do Sul; Brasil
monica.garcez@ufrgs.br

GAIO GRAEFF, ÂNGELA
Professora Adjunta
UFRGS
Rio Grande do Sul; Brasil
angel.graeff@gmail.com

RESUMO

Apesar do progresso promissor no mercado de PRF para aplicações em reforço estrutural, a necessidade de sistemas de ancoragem mecânica continua sendo um dos principais desafios, especialmente em casos onde há pouco comprimento de ancoragem disponível. A compreensão do comportamento de diferentes sistemas de ancoragem é essencial para um dimensionamento seguro e confiável, já que os modos de ruptura associados à falha ou às concentrações de tensões locais impostas pela ancoragem são fatores limitantes da resistência à tração do PRF. Assim, dados de pesquisas relacionados à ancoragem contribuem na implementação de sistemas eficientes para aplicações de PRF como reforço estrutural. Nesse contexto, com base em uma visão geral de diferentes sistemas de ancoragem de PRF, uma investigação foi realizada para avaliar os efeitos da ancoragem no desempenho à flexão de vigas em concreto armado reforçadas com tecidos de PRFC. Um sistema alternativo de ancoragem mecânica foi proposto e testado em ensaios de resistência à flexão a quatro pontos. Os resultados foram avaliados em termos de rigidez, carga final e comparações com previsões teóricas obtidas por meio de formulas propostas em normas e documentos correlatos. Os resultados mostraram que o desempenho das vigas em concreto armado reforçadas com FRPC é altamente dependente do sistema de ancoragem. Estes dados podem contribuir para o desenvolvimento de futuras pesquisas e disposições normativas relacionadas ao dimensionamento de reforços com PRFC.
Palavras-chave: PRF, laminado, parabolt, ancoragem, descolamento.

ABSTRACT

Despite promising progress in the FRP post-strengthening market, the need for mechanical anchorage systems is one of the main challenges, especially if lack of development length is a concern. The understanding of the behavior of different anchorage systems is essential for a safe and reliable design of FRP systems since failure modes associated to anchorage failure or local stress concentrations imposed by the anchorage are limiting factors of FRP tensile strength. Thus, anchorage-related research data help to support the implementation of anchorage systems for efficient FRP post-strengthening applications. In this context, based on an overview of different CFRP anchorage systems, an investigation has been performed to assess the effects of different anchorage schemes on the flexural performance of RC beams externally post-strengthened with CFRP sheets. An alternative mechanical anchorage system has been proposed and tested under a four-point bending scheme. Results have been assessed in terms of stiffness, ultimate loading, and theoretical predictions obtained through debonding code formulations. Results have shown that the performance of the RC beams post-strengthened with CFRP is highly dependent on the anchorage system and may contribute to the development of future research and design provisions.
Keywords: FRP, strip, parabolt, anchorage, debonding.

ISBN 978-65-86819-05-2

1. INTRODUÇÃO

As estruturas de concreto armado estão sujeitas a diversos fatores que desgastam e diminuem a sua vida útil. A exposição a ambientes agressivos, o uso indevido da edificação ou erros de projeto e/ou execução são alguns motivos que levam à necessidade de recuperação ou reforço estrutural. Além do mais, a possibilidade de mudança de uso da edificação pode também tornar necessária uma intervenção a fim de garantir a segurança dos usuários. Os Polímeros Reforçados com Fibras (PRF) ou Fibre Reinforced Polymers (FRP), são materiais que consistem de fibras, normalmente dispostas em uma ou mais direções conhecidas, cobertas por uma matriz de resina. Os dois materiais trabalham em conjunto, dado que a fibra confere a resistência mecânica do compósito relativa aos esforços normais, enquanto a matriz une e transfere os esforços às fibras, além de protegê-las.

Estes compósitos vêm demonstrando diversas vantagens em relação às tradicionais placas de aço, que são pesadas e geram altos custos para instalação. Os PRF apresentam grandes vantagens, como a excelente relação peso/resistência, alta durabilidade, facilidade de instalação e resistência à corrosão. Estes fatores fazem com que cada vez mais PRF seja escolhido como material para reforços estruturais (KALFAT; AL-MAHAIDI, 2016).
Em geral, ocorrem sete tipos principais de falha em vigas de concreto armado reforçadas à flexão com PRF: (1) esmagamento do concreto à compressão (PHAM e AL-MAHAIDI, 2004); (2) ruptura do PRF (ARAM *et al.*, 2008); (3) ruptura por cisalhamento (CHEN e TENG, 2003); (4) separação da camada de cobrimento do concreto (YAO e TENG, 2007); (5) descolamento da placa do PRF na interface com o concreto (LEUNG e YANG, 2006); (6) descolamento da placa devido à fissuras na zona de flexão (OMBRES, 2010) e; (7) descolamento da placa devido à fissuras na zona de cisalhamento (YE *et al*., 2005).

Dentre as possibilidades de ruína, a ruptura do PRF por esgotamento de sua capacidade resistente é a que representa a utilização mais eficiente do reforço. Entretanto, se torna bastante difícil obter essa condição devido ao descolamento prematuro do PRF, que pode indicar falha na ancoragem (GRELLE e SNEED, 2013). A ancoragem é o objeto de estudo deste trabalho e merece especial atenção porque muitas vezes é a limitante de projeto para o uso das fibras, além de provocar ruptura frágil do elemento, o que deve ser evitado já que a dutilidade é exigida no comportamento estrutural (CERONI *et al.*, 2008). Para impedir esse descolamento, a resistência de projeto do reforço é limitada para resistências bastantes inferiores a sua resistência última, diminuindo assim a eficiência do sistema e subutilizando a fibra (ACI, 2008). Em alguns casos, o sistema de ancoragem é necessário para que aconteça a transferência de tensão de um componente estrutural para o outro, como acontece no caso da transferência de esforços de uma viga para um pilar ou, ainda, em situações nas quais não é possível alcançar o comprimento de ancoragem exigido, como acontece geralmente em vigas concretadas juntamente com a laje quando reforçadas ao cisalhamento. Além disso, sistema de ancoragem também pode alterar o modo de ruptura da estrutura frágil para dúctil, fato que aumentaria ainda mais a aplicabilidade deste tipo de reforço (HALL *et al.*, 2002).

A utilização de diferentes tipos de ancoragem foi tema de diversos estudos, como Skuturna e Valivonis (2016), Kalfat e Al-Mahaidi (2016), Ferrari *et al.* (2002) e outros, mas ainda se percebe uma carência de estudos nessa área. Nesse contexto, com base em uma visão geral de diferentes sistemas de ancoragem de PRF, uma investigação foi realizada para avaliar os efeitos da ancoragem no desempenho à flexão de vigas em concreto armado reforçadas com tecidos de Polímeros Reforçados com Fibras de Carbono (PRFC). Um sistema alternativo de ancoragem mecânica foi proposto e testado em ensaios de resistência à flexão a quatro pontos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Vigas de concreto armado

Para a realização do estudo, foram moldadas 6 vigas com dimensões 10 cm x 20 cm e 150 cm de comprimento O traço do concreto utilizado foi de 1: 2,9: 3,6 com relação água/cimento de 0,65. A areia apresentou granulometria dentro da zona ótima e a brita utilizada teve diâmetro máximo característico de 9,5/25, de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009). O cimento escolhido foi Portland de alta resistência inicial (CP V – ARI). De acordo com a NBR 5733 (ABNT, 1991), este tipo de cimento possui no mínimo 95% de clínquer e sulfato de cálcio e até 5% de material carbonático. A configuração da armadura utilizada é apresentada na Figura 1. As barras de armadura negativa e os estribos são do tipo CA-50 e têm diâmetro de 6,3 mm. O espaçamento dos estribos foi de 5 cm. As barras de armadura e os estribos foram amarrados com arame queimado 18. As vigas foram concretadas seguindo os procedimentos descritos na NBR 5738 (ABNT, 2015). Logo após concretadas, as vigas foram armazenadas em local com temperatura e umidade ambiente por um período de 24 h. Posteriormente, foram desmoldadas e locadas em ambiente com temperatura controlada (23 ± 2 ºC)

ISBN 978-65-86819-05-2

durante 21 dias. Neste período as vigas foram envolvidas por uma membrana plástica, evitando perda de água para o ambiente. A resistência à compressão média dos corpos de prova utilizados para controle técnológico, após 40 dias, obtida através do procedimento descrito pela NBR 5738 (ABNT, 2015) foi de 33,31 MPa. O abatimento medido foi de 10 ± 1 cm.

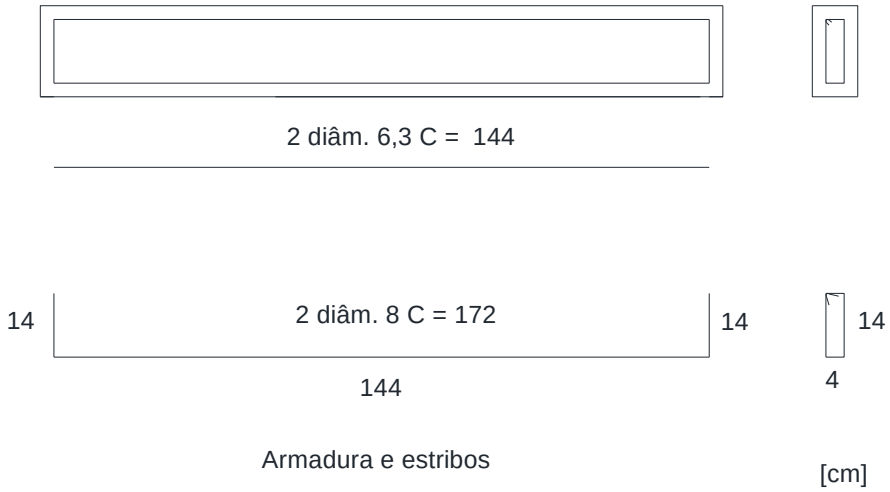
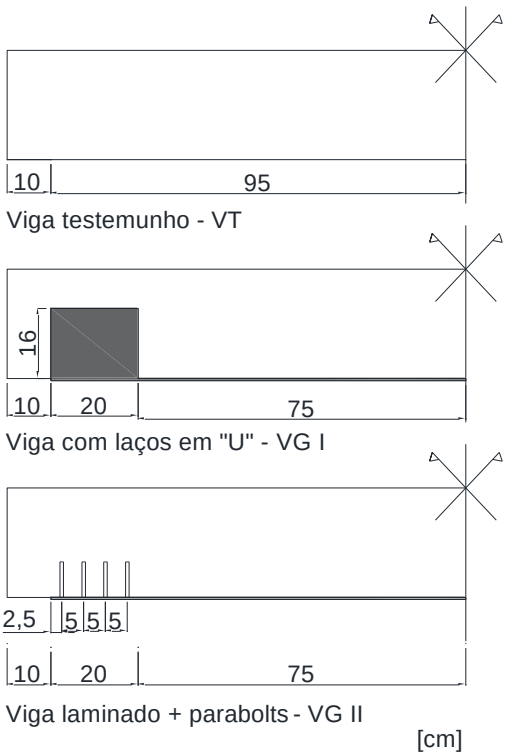


Figura 1: Configuração da armadura

2.2 Sistemas de reforço e ancoragem

Em relação aos sistemas de ancoragem, foram realizadas duas configurações de reforço e ancoragem, cada uma composta por 2 vigas. Todas as vigas foram reforçadas com duas camadas de fibra de carbono. O grupo das vigas testemunho foi denominado VT. As vigas que possuem ancoragem de laços em "U" nas suas extremidades foram chamadas de V-GI, ou vigas do Grupo I. Já as vigas que contém, nas suas extremidades, ancoragens com chapas de laminado de fibra de carbono fixadas com parabolt, V-GII, ou seja, vigas do Grupo II. Este sistema foi especialmente proposto neste trabalho. A configuração dos sistemas de ancoragem estudados é mostrada na Figura 2.



ISBN 978-65-86819-05-2

Figura 2: Configuração dos sistemas de ancoragem

Para os reforços na zona de tração de todas vigas foi utilizado o tecido de fibra de carbono weber.rep fiber C, com resistência à tração de 3.550 MPa e módulo igual a 235 GPa. Esta mesma fibra foi utilizada para fazer a ancoragem das vigas pertencentes ao V-GI, no entanto, para fazer o laço em "U", utilizou-se somente uma camada. Para as vigas do V-GII, foram utilizados perfis laminados sS&P CFK 150/2000, de tamanho 5 cm x 9 cm, com resitência a tração igual ou superior a 2.800 MPa e módulo de elasticidade de 168 GPa. Esses perfis foram fixados às vigas com o auxílio de parafusos auto fixantes de 8 mm de diâmetro e 10 cm de comprimento. O primer utilizado foi a S&P RESIN 50 PRIMER, com rendimento de 120 g/m² e proporção de 2:1 (resina:endurecedor), composto por resina componente A + B. O componente A tem viscosidade de 1000 a 1500 cPS e peso específico de 1,12 +/- 0,01 g/cm³, ambos a 25°C. Já o componente B tem viscosidade de 200 a 600 cPS e peso específico de 1,00 +/- 0,02 g/cm³, ambos a 25°C. A resina utilizada para laminação foi a S&P RESIN 55 LAMINAÇÃO, com rendimento de 600 g/m² e proporção de 2:1 (resina:endurecedor), como indicado pelo fabricante, também composta por componente A + B. O componente A, da resina, tem viscosidade de 4000 a 7000 cPS e peso específico de 1,10 +/- 0,01 g/cm³, ambos a 25°C. Já o componente B tem viscosidade de 200 a 600 cPS e peso específico de 1,00 +/- 0,02 g/cm³, ambos a 25°C

2.3 Execução dos reforços e ancoragens

Depois do vigésimo primeiro dia, 4 das 6 vigas receberam tratamento da superficie prévio que facilitasse a aplicação do reforço. Estas vigas tiveram a camada de nata de cimento removidas da superfície do elemento, de modo que os poros fiquecassem expostos e a superfície regular. Foi dada especial atenção ao arredondamento dos cantos das vigas do Grupo I, que receberam ancoragem de laços em "U", as apresenta a Figura 3(a). Este procedimento é especialmente importante para garantir uma melhor distribuição de tensões para a ancoragem e, consequentemente, melhorar a performance do sistema. Ao final deste processo, as superfícies foram limpas com bruxa, de modo a retirar qualquer poeira e resíduo.
Terminada a limpeza, o *primer* pôde ser aplicado. Para o reforço estrutural, a aplicação do *primer* possui dois objetivos fundamentais: (i) reforçar o substrato de concreto e; (ii) criar uma ponte de aderência para receber a resina de saturação. Este produto, bi componente, foi dosado em balança de precisão e misturado de maneira manual até obter-se uma mistura homogênea. A aplicação foi executada com o auxílio de um rolo, cobrindo toda a superfície que recebeu reforço, conforme evidencia a Figura 3(b).



Figura 3: (a) Arredondamento dos cantos para execução da ancoragem em "U"; (b) Aplicação do primer

Após a preparação da superfície, deve-se esperar cerca de 40 minutos até que o material impregne a superfície do concreto e adquira uma aparência fosca para que se possa proceder com a aplicação do reforço. Da mesma forma que o *primer*, a resina foi dosada em balança de precisão e misturada manualmente. Depois de receber a primeira demão de resina, a

ISBN 978-65-86819-05-2

primeira camada de fibra de carbono foi aplicada e, em seguida, a nova camada de resina. Esse processo se repetiu mais uma vez, totalizando 3 camadas de resina e 2 de fibra de carbono.
Para ancorar as vigas do GI (Grupo I) foram cortados pedaços de manta de 20 cm de largura e 42 cm de comprimento. Desta forma a manta cobre 80% da altura da viga, de modo a simular a presença de uma laje e consequente limite de avanço da ancoragem. Esta manta foi posicionada sobre as mantas do reforço, sendo postas de maneira ortogonal às fibras do reforço, formando assim uma malha. O processo foi o mesmo para as duas vigas, como apresentado na Figura 4.



Figura 4: Configuração das vigas do Grupo I

Já para ancorar o reforço das vigas do GII (Grupo II), foram utilizados pedaços de laminado de fibra de carbono com 9 cm de largura e 5 cm de comprimento, fixados na viga com parabolts, localizados na parte central de cada placa. Após a aplicação do reforço, 4 pedaços do laminado foram solidarizados junto ao elemento com a mesma resina epóxi utilizada para o reforço, estendendo-se, então, por 20 cm para a ancoragem do sistema. A Figura 5(a) apresenta o laminado posicionado sobre o reforço. O sistema foi então deixado para curar com um peso sobre a zona de ancoragem, visando manter o laminado na posição correta. Após a cura da resina, prosseguiu-se para a fixação dos parabolts.
A Figura 5(b) apresenta o momento da furação da viga para fixação do parabolt. Os furos seriam idealmente posicionados onde o laminado já havia sido furado, mas percebeu-se que alguns desses furos coincidiram com a posição dos estribos, o que impossibilita a perfuração total. Para contornar o problema, alguns destes furos precisaram ser levemente deslocados. Desta maneira, foram posicionados 4 parabolts em cada extremidade das vigas, espaçados a cada 5 cm.
Finalizado este procedimento, as vigas foram mantidas no mesmo ambiente de temperatura controlada descrito anteriormente e ensaiadas após 24 h.

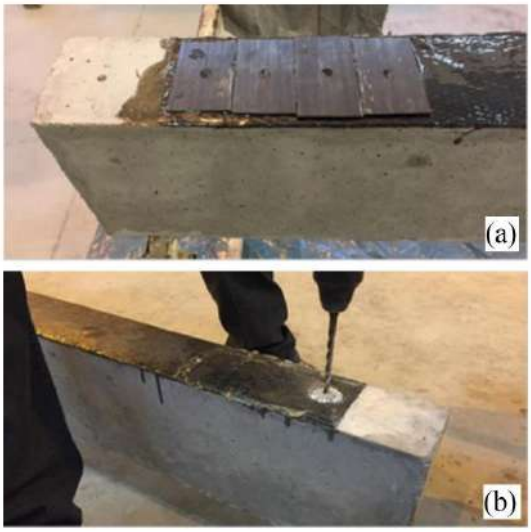


Figura 5(a): Configuração das vigas do Grupo II; (b): Furação das vigas do Grupo II para colocação dos parbabolts

2.4 Ensaio de flexão a quatro pontos

Para o ensaio de resistência à flexão – 4 pontos, o sistema de carregamento foi realizado através de uma prensa de ensaios universal, com capacidade de 2000 kN (Shimadzu 2000kNA). A taxa de carregamento com deslocamento controlado foi de 2 mm/min. Como não há normatização para este tipo de ensaio, utilizou-se o mesmo valor adotado nos estudos de

ISBN 978-65-86819-05-2

Beber (2003). Todas as vigas foram ensaiadas com cargas concentradas aplicadas nos terços médios. As vigas foram posicionadas sobre um apoio de primeira ordem e outro apoio de segunda ordem, como mostra a Figura 9. Cada apoio possui 10 cm de largura, de modo a centrar a carga no eixo do apoio. Desta forma, para fins de cálculo, considera-se que a viga tenha 140 cm de vão livre. Para aferir os deslocamentos verticais, utilizou-se um par de LVDTs (*linear variation displacement transducer*). Os LVDTs foram posicionados na seção central da viga, um de cada lado. A aquisição de dados, tanto da prensa, quanto dos LVDTs, foi realizada através de uma ponte multicanal computadorizada, calibrada na freqüência 5 Hz para o armazenamento de dados. A configuração do ensaio está apresentada na Figura 6.

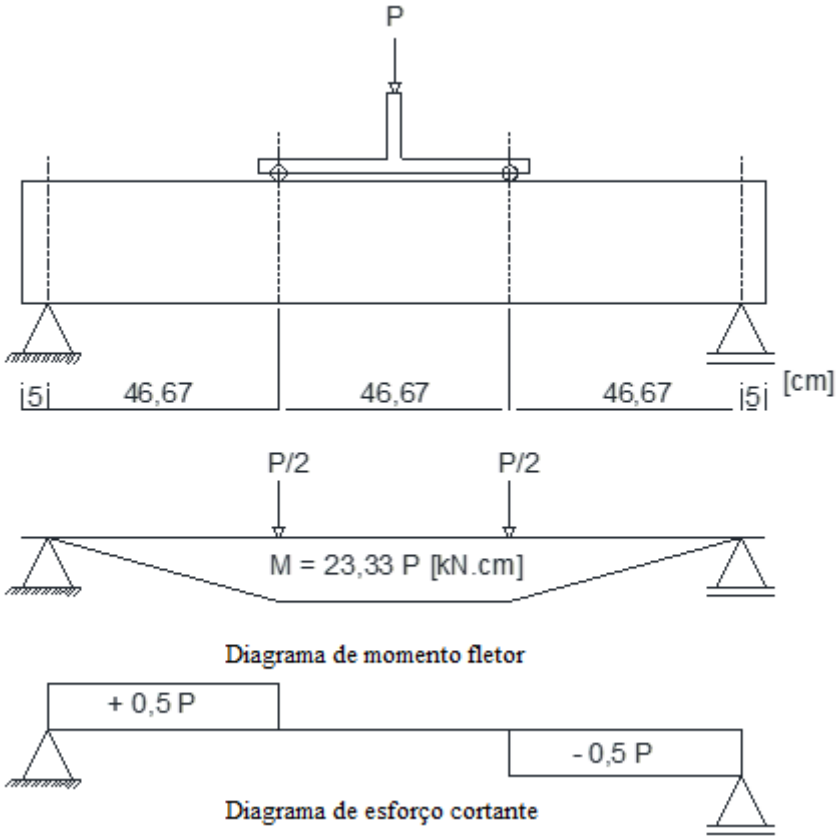


Figura 6: Configuração do carregamento e diagramas de momento fletor e esforço cortante

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O grupo de vigas de controle, aqui denominado como vigas testemunho (VT) resultou ruptura na zona de ancoragem com separação da camada de cobrimento do concreto. Este modo ocorre porque o concreto é o elemento com menor resistência à tração no sistema, sendo o material pelo qual se inicia o processo de ruptura. Desta maneira, as tensões tangenciais e de tração são as responsáveis pela falha do sistema. A Figura 7(a) apresenta uma das vigas testemunho após ruptura.

As vigas do Grupo I, com sistema de ancoragem de laços em "U" foram as que obtiveram melhor resultado quanto ao incremento de carga. Pôde-se observar, com o aumento do carregamento, um aumento na abertura de fissuras, devido ao escoamento da armadura longitudinal, após o qual o reforço torna-se responsável pela maior parte das tensões de tração. Contudo, a rigidez do reforço na direção paralela ao carregamento é baixa, fazendo com que o reforço seja muito sensível a deslocamentos verticais diferenciais. Assim, as fissuras e consequente separação do concreto na parte central do vão desencadeiam o processo de descolamento do reforço, evidenciado na Figura 7(b).

Mesmo assim, o carregamento pôde continuar a ser aplicado, e o colapso total do sistema se deu com o escorregamento da manta nas extremidades do reforço. É interessante notar que a ancoragem de laços em "U" conferiu ao concreto uma boa capacidade de absorver os esforços tangenciais e de tração, fazendo com que não ocorresse a separação da camada de concreto, e sim o escorregamento na interface entre o reforço e o concreto. Este modo de ruptura ocorre devido à falta

ISBN 978-65-86819-05-2

de aderência entre o substrato (concreto) e o reforço (PRFC). A Figura 7(c) mostra o detalhe da falha na zona de ancoragem, com a ruptura do laço em "U" no sentido transversal da fibra.

As vigas do Grupo II, com o sistema de ancoragem executado com chapas de laminado e parabolt, tiveram sua ruptura na ancoragem, devido à alta concentração de tensões tangenciais e de tração, tal como nas vigas testemunho. Mesmo assim, a carga registrada foi superior às vigas testemunho, e após o rompimento das vigas, não foi possível separar manualmente o reforço da viga. A Figura 7(d) mostra uma das vigas do Grupo II rompida.

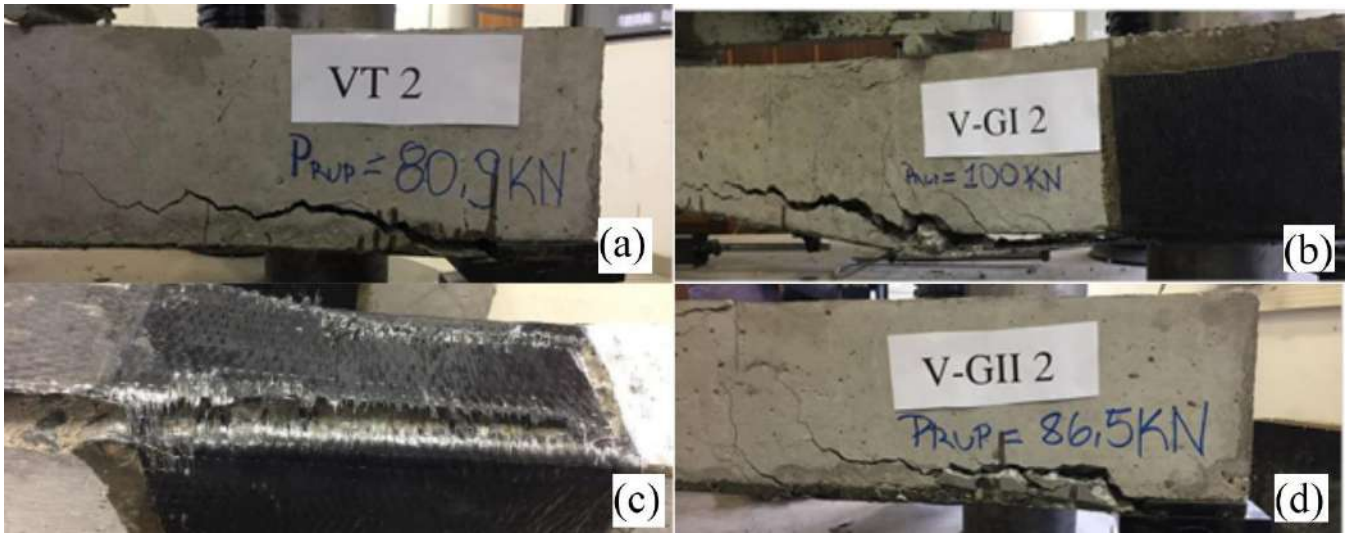


Figura 7(a): Viga testemunho após ruptura; (b) Descolamento do reforço; (c) Ruptura do laço em "U"; (d) Viga do Grupo II rompida

Considerando os pontos anteriormente expostos, pôde-se analisar as soluções de ancoragem e, juntamente com a viga testemunho, traçar o diagrama de momento fletor x deslocamento vertical para as vigas de melhor desempenho de cada um dos grupos. A Figura 8 apresenta o gráfico que compara essas vigas. A partir do gráfico podemos verificar claramente que as vigas possuem um comportamento semelhante durante o carregamento, confirmando que a ancoragem em nada altera a rigidez do elemento. Os sistemas de ancoragem alteram apenas a capacidade portante da viga. Também é possível perceber uma sutil alteração na rigidez dos elementos a partir de quando o momento de fissuração do concreto é atingido, em aproximadamente 4 kN.m. É neste momento que reforço começa a atuar de forma efetiva. Desta forma, o reforço atua restringindo a abertura de fissuras, deformações e deslocamentos (BEBER, 2003).

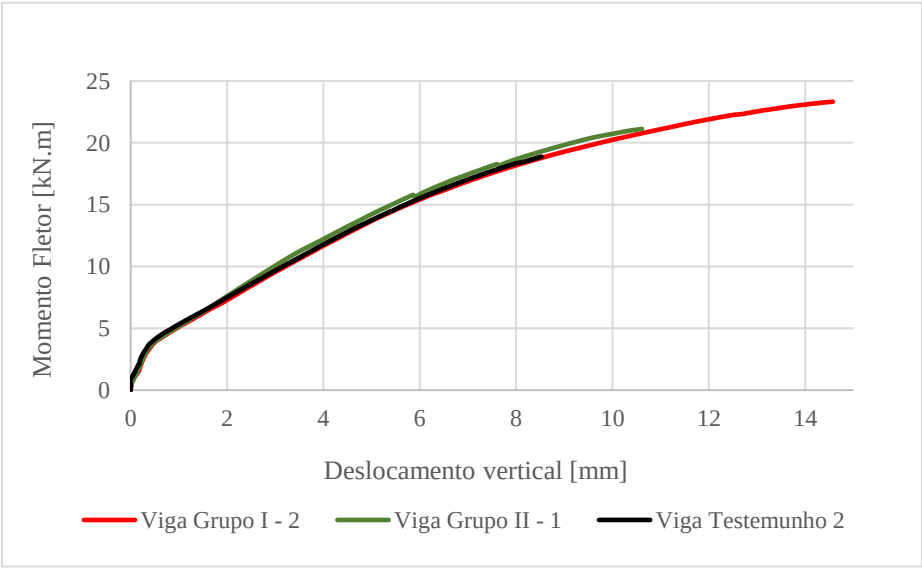


Figura 8: Momento fletor x deslocamento das vigas com melhor desempenho de cada grupo

ISBN 978-65-86819-05-2

A partir do momento em que um elemento estrutural recebe a aplicação de reforço, o aço passa a não ser mais o direcionador da ruptura, fazendo com que apenas os materiais frágeis (fibra e concreto) sejam responsáveis pelos diversos modos de ruptura possíveis. Isso ocorre porque as deformações da viga reforçada são menores, fazendo com que todas as configurações estudadas apresentassem ruptura frágil e repentina, sem a presença de grandes fissurações previamente ao colapso dos sistemas. Este comportamento ficou bastante evidente em dois, dos seis ensaios das vigas. A partir da observação desses dados, em conjunto com o gráfico anterior, verifica-se que os dispositivos de ancoragem resultaram em um aumento da carga última para as vigas ensaiadas, de acordo com a Figura 9.

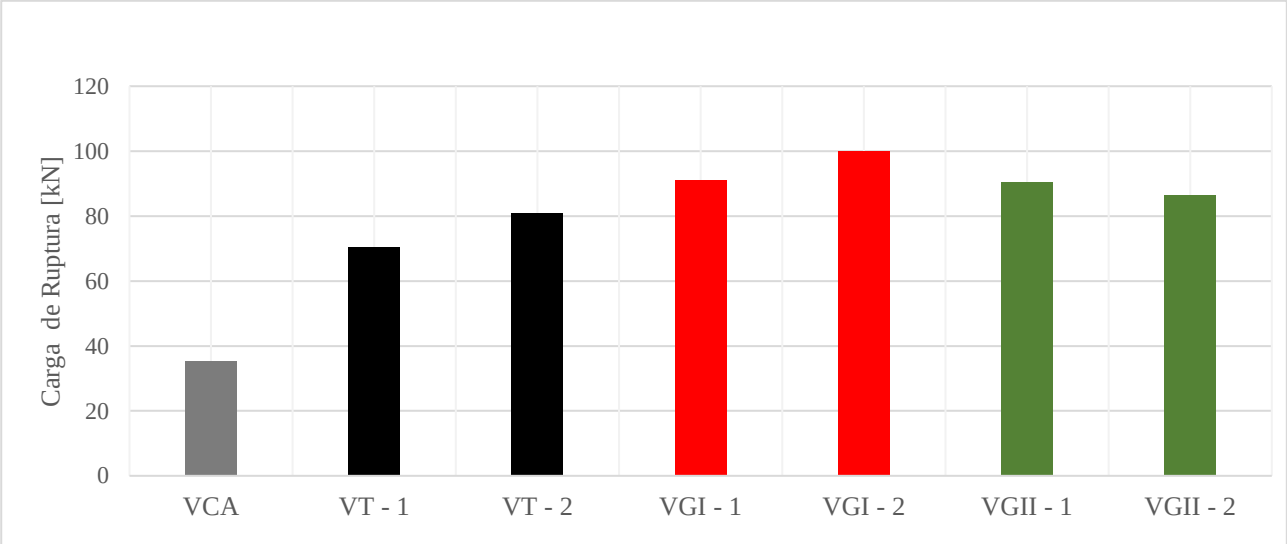


Figura 9: Carga de ruptura de todas as vigas

A viga VCA , mostrada no gráfico, foi adiciona para possibilitar a comparação das vigas reforçadas com uma viga que não possui nenhum tipo de reforço adicional. Portanto, a viga VCA é uma viga teórica, calculada com as mesmas configurações de armadura e o mesmo concreto utilizado nas vigas anteriores. Observa-se, então, que a utilização do reforço, mesmo com falha na ancoragem, aumentou a capacidade de carga de carga das vigas reforçadas. Após as análises apresentadas, pode-se inferir que, de forma geral, o sistema de ancoragem por laços em "U" teve incremento potencial de 32% da capacidade de carga, enquanto que o sistema proposto com laminado e parabolt apresentou incremento potencial de 20% da capacidade de carga. Este resultado foi o contrário do resultado obtido por Ceroni *et al*. (2008), no qual as placas de PRF geralmente apresentavam performance superior ao sistema de ancoragem em "U". No entanto, cabe salientar que este tipo de sistema de ancoragem só funciona devidamente quando o raio entre as faces laterais e a base do elemento reforçado é adequado, evitando assim concentrações de tensão. A Tabela 1 apresenta de maneira compilada as informações obtidas nos ensaios, que serão discutidas a seguir.

Tabela 1: Modo, carga e momento de ruptura dos sistemas de ancoragem

Viga	Sistema de ancoragem	Modo de ruptura	Carga de ruptura [kN]	Momento de ruptura [kN.m]	Incremento
VT - 1	Nenhum	Separação da camada de concreto	70,4	16,43	Nenhum
VT - 2			80,9	18,88	
VGI - 1	Laços em "U"	Separação da camada de concreto	91	21,23	20%
VGI - 2			100	23,33	32%
VGII - 1	Laminado + parabolt	Ruptura da fibra de carbono	90,5	21,12	20%
VGII - 2			86,5	20,18	14%

ISBN 978-65-86819-05-2

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este estudo visou estudar dois diferentes métodos de ancoragem: um método conhecido no mercado, o de laços em "U", e um método que consiste na combinação de laminados de fibra de carbono fixados com parabolts metálicos. Estas duas formas de ancoragem fizeram com que fosse possível alcançar um incremento de carga de até 32% para os laços em "U" e de até 20% para o sistema proposto neste trabalho. Ambos os resultados tomam como base para comparação a resistência obtida para um corpo de prova sem nenhum dispositivo de ancoragem.
Algumas questões se tornam relevantes para possíveis estudos posteriores a este, são elas: a real influência do laminado de carbono no desepenho das ancoragens no sistema proposto e; o uso de material não metálico em substituição aos parabolts. As conclusões aqui apresentadas restringem-se aos materiais e metodologias que foram utilizados neste trabalho. Qualquer alteração nas condições aqui apresentadas podem conduzir a resultados diferentes.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures.** ACI 440.2R-08. Farmington Hills, 2008.

ARAM, M. R.; CZADERSKI, C.; MOTAVALLI, M. Debonding failure modes of flexural FRP-strengthened RC beams. **Compos B Eng.**, 39 (5) 2008, pp. 826-841.

BEBER, A. J. **Comportamento Estrutural de Vigas de Concreto Armado Reforçadas com Compósitos de Fibra de Carbono.** 2003. Tese (Doutorado em Estruturas) – Programa de PósGraduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

CERONI, F.; PECCE, M.; MATTHYS, S.; TAERWE, L. Debonding strength and anchorage devices for reinforced concrete elements strengthened with FRP sheets. **Compos. Part B: Eng.**, 39(3), 2008 429–441.

CHEN, J. F.; TENG, J.G. Shear capacity of FRP-strengthened RC beams: FRP debonding. **Constr. Build. Materials**, 17 (1) 2003, pp. 27-41.

FERRARI, V. J.; PADARATZ, I. J.; LORIGGIO, D.D.; **Reforço à flexão em vigas de concreto armado com manta de fibra de carbono: mecanismos de incremento de ancoragem.** In: XXX JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 30., 2022, Brasília. Anais... Brasília: UnB; 2002. CD-ROM.

GRELLE, S. V.; SNEED, L. H. Review of Anchorage Systems for Externally Bonded FRP Laminates, **International Journal of Concrete Structures and Materials**, 2013, 17-33.

HALL, J. D., SCHUMAN, P. M., HAMILTON, H. R. Ductile anchorage for connecting FRP strengthening of under reinforced masonry building. **J Compos. Construct.**, 2002, 3-10.

LEUNG, C. K. Y.; YANG, Y. Energy-based modeling approach for debonding of FRP plate from concrete substrate. **J Eng Mech**, 132 (6) 2006, pp. 583-593.

OMBRES, L. Prediction of intermediate crack debonding failure in FRP-strengthened reinforced concrete beams. **Composite Structures**, 92 (2) 2010, pp. 322-329.

PHAM, H.; AL-MAHAIDI, R. Experimental investigation into flexural retrofitting of Reinforced Concrete Bridge beams using FRP composites. **Composite Structures**, 66. 2004, pp. 617-625.

SKUTURNA, T; VALIVONIS, J. Experimental study on the effect of anchorage systems on RC beams strengthened using FRP. **Composites Part B**, 2016, 283-290.

YAO, J.; TENG, J.G. Plate end debonding in FRP-plated RC beams–I: Experiments. **Eng Struct**, 29 (10) 2007, pp. 2457-2471.

ISBN 978-65-86819-05-2

YE, L.; LU, X.; CHEN, J. **Design proposals for the debonding strengths of FRP strengthened RC beams in the Chinese design code**. In: Proceedings of International Symposium on Bond Behavior of FRP in Structures, Hong Kong, China; 2005.