

## ANÁLISE COMPUTACIONAL DE SISTEMA DE ANCORAGEM PARA REFORÇOS DE ELEMENTOS DE CONCRETO COM CFRP

Júlia Gabriela Kliemann (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Nara Villanova Menon (Orientadora), e-mail: [ra104029@uem.br](mailto:ra104029@uem.br); [nvmenon@uem.br](mailto:nvmenon@uem.br).

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Tecnologia / Maringá, PR.

### Engenharia Civil – Estruturas

**Palavras-chave:** Elementos finitos, compósitos de fibra de carbono, ancoragem, reforço estrutural.

### Resumo

O compósito de fibra de carbono apresenta elevada resistência mecânica, extrema leveza, bom comportamento a fadiga, além de se tratar de um material inerte. Sobretudo, esse compósito proporciona rapidez e facilidade de execução, o que, juntamente do aumento da necessidade de reforços estruturais, contribuem para a ampliação do uso destes materiais em detrimento de técnicas invasivas tradicionais. Ademais, a ancoragem permite a adaptação a diversas geometrias, passível de ser utilizada juntamente de outros sistemas de reforço, contribuindo contra o descolamento, que é um dos principais modos de colapso de um reforço em PRF (Polímero Reforçado com Fibras).

A modelagem computacional pode fornecer um cenário mais aprofundado do problema quando comparado a modelos analíticos. Desta forma, o presente estudo objetivou identificar os principais comportamentos da ancoragem com PRFC (Polímero Reforçado com Fibra de Carbono) através de furos passantes em blocos de concreto por meio de uma análise numérica. Com o software comercial de elementos finitos Abaqus 6.14, foram realizadas simulações de modelos experimentais. A fim de calibrar o modelo e o comportamento das interações dos materiais, foi simulado também um teste de *pull-out* de uma barra de fibra de carbono colada em um furo cego em um bloco de concreto, e também um teste de tração de uma barra de fibra de carbono, comparando-os com os resultados dos testes experimentais. Os resultados obtidos são comparáveis em termo de deslocamentos alcançados antes da crise do sistema de reforço-substrato e localização da maior concentração de esforços.

### Introdução

A aplicação de compósitos de fibra de carbono no concreto armado tem sido difundida no mundo. A necessidade de recuperar estas estruturas, cada vez mais frequente, aliada a facilidade de execução, leveza, rapidez e trabalhabilidade do material, além da resistência à corrosão, podem ser considerados fatores importantes na difusão da utilização dos compósitos de fibra de carbono em substituição a outros reforços, como por exemplo, as chapas de aço.

Muitas publicações têm dado atenção especial à zona de ligação dos materiais concreto, adesivo e PRFC (Polímeros Reforçados com Fibras de Carbono), com o objetivo aprimorar o conhecimento do comportamento geral desta região, criando critérios para prevenir e eliminar as rupturas prematuras (MENON, 2008). A aderência entre a manta de fibras de carbono e o substrato de concreto é um dos fatores mais estudados em pesquisas com esse sistema de reforço. Existe a possibilidade da ocorrência de ruptura prematura do elemento estrutural, caracterizada pela ocorrência nas extremidades do reforço, onde ocorre tensões elevadas normais e tangenciais, provocando o descolamento do compósito ao concreto (RISSON e MENON, 2010).

A delaminação do reforço ou o descolamento do compósito, modos de ruptura de elementos reforçados, podem ocorrer se a força solicitante no PRF for maior que o substrato de concreto pode resistir. (BERTOLESI E GALLI, 2012).

Dentre as principais vantagens dos reforços de FRP em comparação aos métodos tradicionais estão: extrema leveza, alto desempenho mecânico, resistência a corrosão, alta resistência a tração e grande rigidez. Sobretudo, esses compósitos proporcionam rapidez e facilidade de execução contribuindo para a ampliação do uso destes materiais em detrimento de técnicas invasivas tradicionais.

Consoante a Triantafillou e Plevris (1992), o fenômeno de *peeling off* provoca uma limitação na espessura do reforço, causando uma ruptura frágil sem que seja possível alcançar a máxima resistência e ductilidade. Entretanto, sistemas de ancoragem podem ser utilizados simultaneamente a fim de aumentar a resistência sem reduzir demasiadamente a ductilidade, além de permitir a adaptação a diversas geometrias. (RISSON E MENON, 2020) Dessa forma, torna-se imprescindível aprofundar os estudos sobre mecanismos de ancoragem proporcionando desempenhos melhores aos reforços.

De acordo com Bertolesi e Galli (2012) a interface entre o reforço e o material a ser reforçado nem sempre é boa, podendo muitas vezes não garantir uma perfeita aderência e boa área de ancoragem. Em vista disso, o seguinte trabalho propõe o estudo de uma ancoragem estrutural em PRFC com um furo passante através da modelagem numérica, a fim de compreender melhor a interação do reforço e substrato.

## **Materiais e Métodos**

A análise numérica foi feita através do software comercial de elementos finitos Abaqus 6.14. Neste programa foram modelados diversos blocos de concreto com furo passante e ancoragem com fibra de carbono para simular os resultados obtidos em testes de extração práticos. Em todas as modelagens as resinas mantiveram suas características, variando a resistência do concreto, assim como a forma de ancoragem, onde alguns blocos possuíam resina apenas no topo, outros no topo e dentro do furo passante também, além de outra variação, em que alguns blocos de concreto possuíam um cone desbastado no topo, e outros não. Sendo assim, foram simulados os seguintes testes:

- Extração do reforço de fibra de carbono em amostras de concreto com fck de 25 Mpa com cone desbastado e resina apenas no topo.
- Extração do reforço de fibra de carbono em amostras de concreto com fck de 25 Mpa sem cone desbastado e resina apenas no topo.
- Extração do reforço de fibra de carbono em amostras de concreto com fck de 25 Mpa sem cone desbastado e resina no topo e no furo.
- Extração do reforço de fibra de carbono em amostras de concreto com fck de 45 Mpa com cone desbastado e resina apenas no topo.
- Extração do reforço de fibra de carbono em amostras de concreto com fck de 45 Mpa sem cone desbastado e resina apenas no topo.
- Extração do reforço de fibra de carbono em amostras de concreto com fck de 45 Mpa sem cone desbastado e resina no topo e no furo.

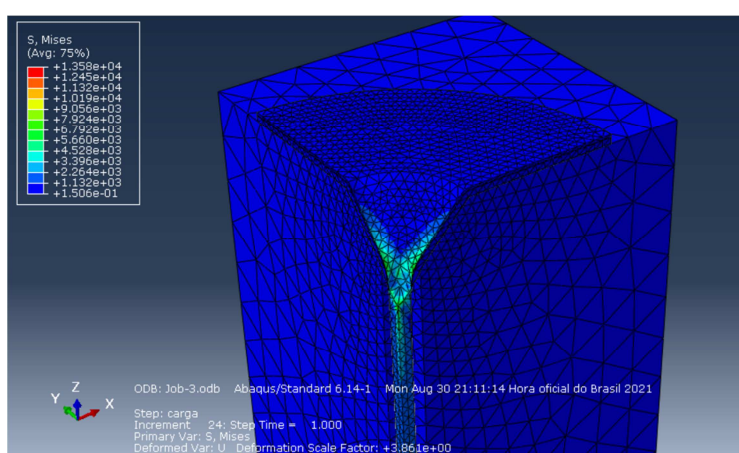


Figura 1 – Modelo com cone desbastado e resina apenas no topo

Para calibrar o modelo e o comportamento das interações dos materiais, foi simulado um teste de *pull-out* de uma barra de fibra de carbono colada em um furo cego em um bloco de concreto, e também um teste de tração de uma barra de fibra de carbono, comparando-os com os resultados dos testes experimentais.

## Resultados e Discussão

A partir da análise realizada através do programa de elementos finitos foi possível obter os gráficos de força por deslocamento para todos os modelos. Os resultados obtidos são comparáveis com os modelos experimentais em termo de deslocamentos alcançados antes da crise do sistema de reforço-substrato e localização da maior concentração de esforços.

Inferese que os modelos com o cone desbastado apresentaram maior resistência comparados aos sem cone, justo porque o cone apresenta ângulos maiores que 90°, diminuindo a concentração de tensões. Ademais, os modelos com resina dentro do furo também apresentaram maior resistência do que os modelos com resina apenas no topo, por conta de sua maior área de colagem. Outrossim, a partir da análise, foi possível localizar a maior concentração de esforços, que se situa nas proximidades onde o conector é dobrado e ancorado no concreto.

## Conclusões

Através dos resultados é possível concluir que os modelos com resina dentro do furo e cone desbastado no topo, são os mais resistentes em comparação aos demais, e que a probabilidade maior de ruptura é na dobra da fibra, por conta da concentração de tensões. Tais resultados advindos da simulação numérica mostram deslocamentos reduzidos da fibra quando comparados aos do modelo experimental. Isso se deve pelas ligações de aderência perfeitas utilizadas na amostra tridimensional, fazendo com que se comportem como um corpo único. Além disso as diferenças também podem ter causa na geometria perfeita e homogênea da fibra desfiada e o desbaste perfeito do concreto no modelo numérico, bem diferente da irregularidade do experimento prático.

## Agradecimentos

Agradeço a Fundação Araucária pelo apoio financeiro e institucional, à professora orientadora Nara Villanova Menon e à minha família pelo apoio dado durante o processo.

## Referências

BERTOLESI, E.; GALLI, F. **UTILIZZO DI CONNETTORI IN FRP NEL RINFORZO DI ELEMENTI IN CALCESTRUZZO E MURATURA**. Dissertação (Tese em Engenharia de Estruturas). Universidade Politécnica de Milão, Milão, 2012.

MENON, V. A. **ESTUDO EXPERIMENTAL DE SISTEMAS DE REFORÇO AO CISALHAMENTO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO-SE POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRAS DE CARBONO (PRFC)** 327 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas), Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2008.

RISSON, A.V. MENON, N.V. **ESTUDO EXPERIMENTAL DE SISTEMA DE ANCORAGEM POR CORDÃO DE FIBRAS DE CARBONO EM VIGAS REFORÇADAS AO CISALHAMENTO COM PRFC**. Revista REEC, vol16, N1, 2020 16-25.

TRIANAFILLOU, T. C.; PLEVRIS, N. **STRENGTHENING OF R/C BEAMS WITH EPOXY-BONDER FIBER COMPOSITE MATERIALS**. Materials and Structures, v.25, p.201-211, 1992.