

## **ANÁLISE COMPUTACIONAL DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO REFORÇADAS COM BARRAS DE AÇO USANDO O SOFTWARE ANSYS**

**MARA BRUNA SILVEIRA MUNIZ<sup>1\*</sup>, FRANCISCO EUDÁZIO S. SILVA JÚNIOR<sup>2</sup>**  
**ÉSIO MAGALHÃES FEITORA LIMA<sup>3</sup>; RICARDO JOSÉ CARVALHO SILVA<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Estudante do Grupo de Pesquisa GEM, Engenharia Civil, Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral-CE, mbrunamuniz@gmail.com;

<sup>2</sup>Estudante do Grupo de Pesquisa GEM, Engenharia Civil, Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral-CE, jrsuri@outlook.com;

<sup>3</sup>Acadêmico de Mestrado de Engenharia Civil; Grupo de Pesquisa GEM; Universidade Federal do Ceará, Fortaleza/CE, esiomf@hotmail.com;

<sup>4</sup>Professor Doutor, Líder do Grupo de Pesquisa GEM, Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral-CE, ricardo.carvalho222@gmail.com

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2017  
8 a 11 de agosto de 2017 – Belém-PA, Brasil

**RESUMO:** O presente trabalho tem como objetivo analisar de forma não-linear através dos elementos finitos cinco vigas de concreto armado reforçadas com barras de aço, das quais uma não recebeu reforço e serviu de referência para análise comparativa da eficiência do reforço. A modelagem computacional foi realizada no software Ansys Workbench, versão 17.1. Uma simulação não-linear de elementos de concreto armado torna-se uma tarefa complexa uma vez que necessita de certos cuidados para que o modelo represente com precisão o comportamento real da estrutura. A técnica de reforço mostrou-se bastante eficiente, visto que na análise computacional as vigas reforçadas chegaram a ruína com uma carga superior em relação à viga de referência.

**PALAVRAS-CHAVE:** Concreto armado, Ansys, reforço, eficiência, análise computacional.

### **COMPUTATIONAL ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE BEAMS ENHANCED WITH STEEL BARS USING ANSYS SOFTWARE**

**ABSTRACT:** This work aims to analyze in a non-linear way through the finite elements five concrete beams reinforced with steel bars, of which one did not receive reinforcement and served as reference for comparative analysis of reinforcement efficiency. The computational modeling was performed in Ansys Workbench software, version 17.1. A non-linear simulation of reinforced concrete elements becomes a complex task since it requires some care so that the model accurately represents the actual behavior of the structure. The reinforcement technique proved to be efficient, since in the computational analysis the reinforced beams came to ruin with a load higher than the reference beam.

**KEYWORDS:** Reinforced Concrete, Ansys, Efficiency, Computational Analysis.

### **INTRODUÇÃO**

A necessidade de reabilitar estruturas de concreto armado pode estar aliada tanto para a falta de manutenção no decorrer de sua vida útil quanto para a adequação de novos usos da estrutura, já que a opção de demolir e reconstruir torna-se inviável. Neste caso, vem se desenvolvendo cada vez mais estudos na área de recuperação de estruturas em concreto armado. No entanto, apesar desse ramo da Engenharia Estrutural está em desenvolvimento, ainda não há uma metodologia específica de análise do comportamento estrutural da peça reabilitada.

O método dos elementos finitos (MEF, finite element method ou FEM) foi desenvolvido em 1909 e aperfeiçoado na década de 1940, e consiste em uma técnica numérica para encontrar soluções aproximadas de problemas envolvendo a satisfação de condições de contorno, através da subdivisão de

um corpo em diversos elementos com solução conhecida e simplificada, denominados elementos finitos (Silva and Silva, 2017).

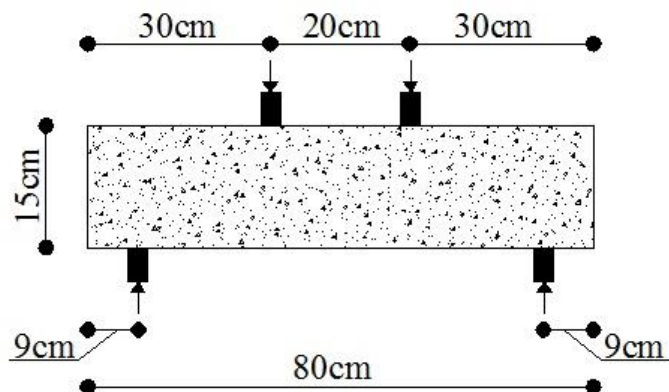
Uma simulação não-linear de elementos de concreto armado torna-se uma tarefa complexa uma vez que necessita de certos cuidados para que o modelo represente com precisão o comportamento real da estrutura. A modelagem computacional no software Ansys foi feita para representar as mesmas condições do ensaio de Stuttgart realizado em laboratório, também foram consideradas as mesmas características dos materiais utilizados, a fim de se obter resultados coerentes que sirvam para serem correlacionados com os resultados da análise experimental.

Dessa forma, o estudo foi baseado no comportamento das peças na ruptura e na análise da curva carga x flecha para verificação da eficiência do reforço à flexão das vigas.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foi analisado de forma não-linear através dos elementos finitos cinco vigas de concreto armado reforçadas com barras de aço e adesivo estrutural epóxi para auxiliar na ancoragem viga-reforço, das quais uma não recebeu reforço e serviu de referência para análise comparativa da eficiência do mesmo. A modelagem computacional foi realizada no software Ansys Workbench, versão 17.1. Para realização do estudo foram modeladas as cinco vigas todas com as mesmas dimensões: 80 cm de comprimento, 15 cm de altura e 10 cm de largura como apresenta o detalhamento na Figura 1.

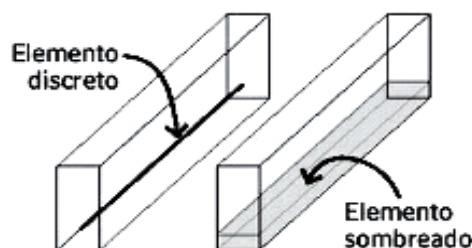
Figura 1: Detalhamento das vigas da pesquisa.



Fonte: Autor, 2017.

Existem duas formas para modelagem das armaduras do concreto em modelos de elementos finitos: discreta (*discrete*), onde a armadura é um corpo separado da viga com propriedades geométricas semelhantes ao reforço original; e sombreada (*smeared*), onde a armadura é introduzida numericamente como uma taxa de armadura nos elementos inferiores da viga, não necessitando da modelagem de um corpo separado. A opção utilizada nesse trabalho foi a discreta com nós combinados, onde a cada iteração a matriz de rigidez da viga é atualizada com dados dos dois materiais, e os nós da malha da armadura devem coincidir com os nós da malha da viga (Dahmani, Khennane and Kaci 2010). Na figura 2 é ilustrado a diferença entre as duas modelagens.

Figura 2: Diferença entre reforço discreto e sombreado.

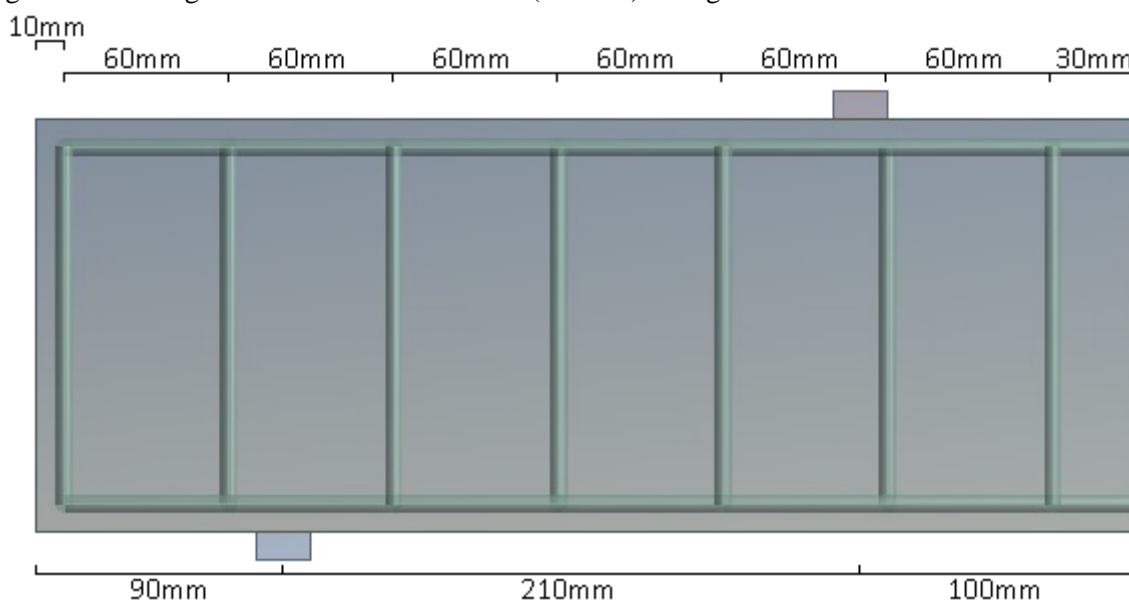


Fonte: (Muliterno e Pravia, 2014).

O espaçamento dos estribos foi definido como 60 mm. Como o tamanho da malha de elementos finitos utilizada foi de 10 mm, ocorreu que todos os nós dos elementos das armaduras coincidiram com os nós dos elementos da viga, como exige a modelagem discreta com nós compartilhados. A distância entre o centroide das armaduras de tração e a face inferior da viga, bem como a distância entre o centroide dos porta-estribos e a face superior da viga foram definidas como 10mm a fim de se coincidir todos os nós. A modelagem das vigas foi feita pela metade em virtude da simetria da peça. A modelagem de todas as armaduras foi feita utilizando-se elementos lineares, a fim de poupar esforço computacional.

Na figura 3 é ilustrado a modelagem dos estribos da viga E1, bem como das outras quatro vigas, pois receberam a mesma armadura transversal.

Figura 3: Modelagem da armadura transversal (estribos) da viga E1.



Fonte: Autor, 2017.

Os apoios (reações) e pontos de aplicação de carga (ações) foram modelados com 20 mm de largura, para que não houvesse concentrações de tensões nessas regiões, o que prejudicaria a convergência e poderia resultar em uma ruptura precoce. Os eixos dos dois pontos de ação distavam 9 cm de cada extremidade da viga, e os eixos das duas reações distavam 30 cm das extremidades e 20 cm entre si.

O elemento tridimensional Solid65 de oito nós pode ser usado para representar materiais quebradiços como o concreto. Este sólido possui três graus de liberdade em cada nó, e é capaz de fissurar sob tração e esmagar sob compressão, possuindo como critérios de falha tensão limite para esmagamento ( $f_{ck}$ ) e tensão limite para tração ( $f_{ct}$ ).

O elemento tridimensional Link180 foi utilizado para modelagem das armaduras. Este elemento apresenta dois nós com três graus de liberdade em cada nó, sendo amplamente utilizado para representar barras, treliças e cabos de maneira simplificada. O elemento pode sofrer alterações em sua seção transversal de acordo com a força axial a que está submetido, tendo sua área aumentada à medida em que é comprimido e reduzida à medida em que é tracionado, podendo-se assumir um critério de falha por deformação plástica da armadura, no caso dos modelos de concreto armado.

O elemento superficial Shell181 foi usado para modelar as barras de reforço e o adesivo epóxi. Este tipo de elemento é utilizado principalmente para modelagem de reforços com fibras de carbono, mas também pode ser utilizado para peças de aço. O elemento possui quatro nós com seis graus de liberdade em cada nó, possui capacidade de plasticidade e sua profundidade é considerada na análise.

O concreto utilizado na modelagem apresentava resistência à compressão ( $f_{ck}$ ) de 30 MPa e o valor à tração foi calculado segundo a norma NBR 6118:2014, chegando-se a um valor de 2,9 Mpa. O módulo de elasticidade utilizado foi o secante, calculado também pelas diretrizes da norma NBR

6118:2014, resultando em 26838 Mpa. O coeficiente de Poisson em XY foi igual a 0,2. O coeficiente de transferência de cisalhamento para fissuras abertas foi igual a 0,25 e o valor do coeficiente de fissuras fechadas foi igual a 0,95. Foi definido um gráfico multilinear de tensão-deformação do concreto sob compressão, com seus pontos calculados de acordo com a NBR 6118:2014, e seu comportamento foi considerado isotrópico.

Já para o aço, utilizou-se do tipo CA-50 para todas as armaduras, foi definido um gráfico bilinear para o escoamento deste material e seu comportamento foi considerado isotrópico. A tensão de escoamento foi igual a 500 MPa e não foi definida uma tensão de ruptura. O coeficiente de Poisson em XY foi igual a 0,3. O módulo de Young foi igual a 210 GPa. O módulo tangente foi igual a 10% do módulo de elasticidade, ou 2100 MPa, para evitar perda de estabilidade após o escoamento.

O material padrão do Ansys (aço estrutural) foi utilizado nos pontos de ação e reação da análise. O material foi considerado elástico, não possuindo propriedades de não-linearidade, apresentando módulo de Young igual a 200 GPa e coeficiente de Poisson igual a 0,3.

Segundo Muliterno e Pravia (2014), na análise não-linear, o carregamento é dividido em uma série de incrementos (*substeps*), de modo que a cada incremento a matriz de rigidez é atualizada para refletir as alterações não-lineares na rigidez estrutural antes de prosseguir para o próximo. Nesta análise foram utilizados 500 incrementos, e a carga foi aplicada de baixo para cima em um único passo (*step*). Foi utilizada uma malha de elementos finitos de 10 mm. O tipo de convergência foi controlado pelo programa. A carga foi aplicada até ocorrer um erro de magnitude, que foi considerado como sendo o momento da ruptura. Os apoios foram inseridos nas duas faces superiores dos elementos de reação, localizadas entre estes e a viga, e foram definidos como sendo deslocamentos X, Y e Z nulos nessas faces. Foi executado o comando CEINTF para combinar os nós da viga e da armadura, considerando-se uma aderência perfeita entre esses dois materiais.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos com a análise computacional são apresentados na tabela 1, incluindo informações sobre as armaduras, o reforço, carga de ruptura e modo de ruptura das vigas tanto computacional quanto experimental.

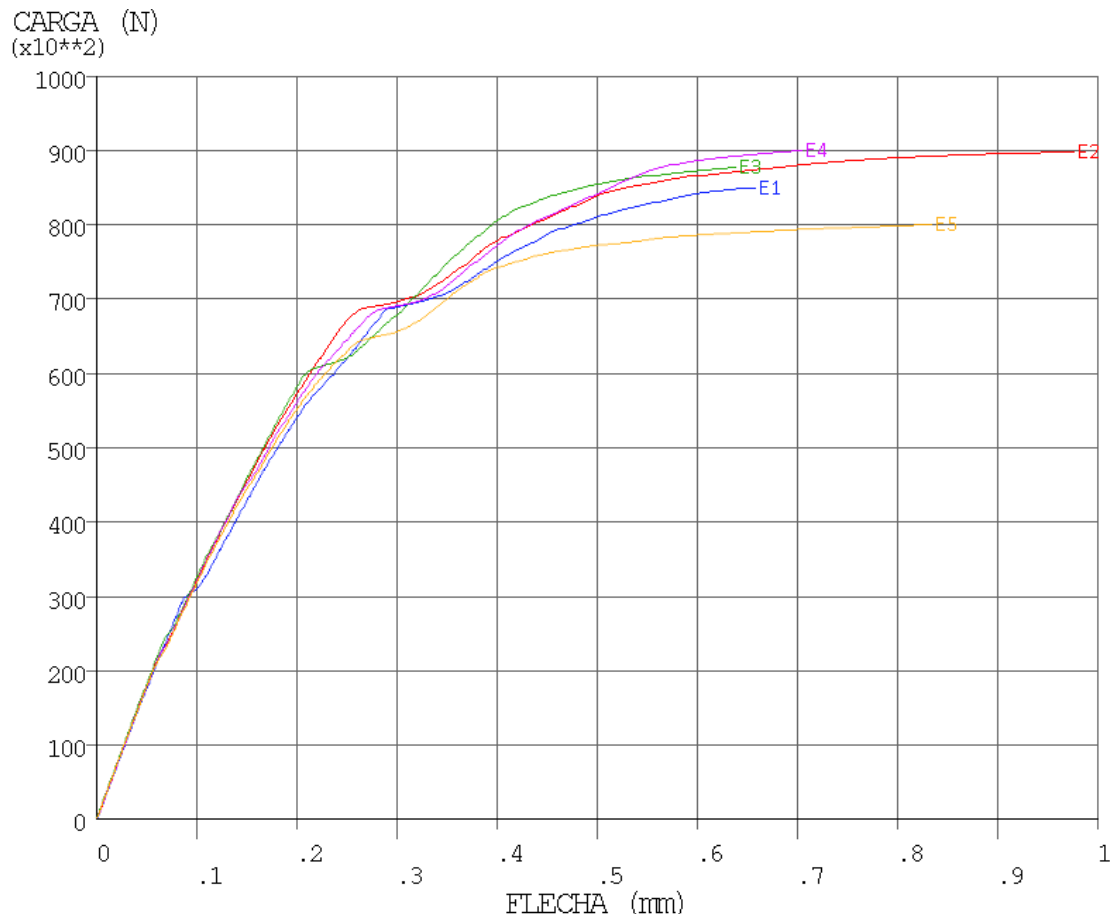
Tabela 1 - Descrição dos reforços, cargas e modos de ruptura das Vigas.

Vigas	Reforço	Carga Ruína – Ansys (kN)	Carga Ruína – Experimental (kN)	Modo de Ruína
E1	Sem Reforço	85	80	Flexão
E2	2 $\phi$ 6,3 mm (comprimento = 50 cm) em rasgo com adesivo epóxi	89,75	108	Flexão
E3	2 $\phi$ 6,3 mm (comprimento = 50 cm) em rasgo com adesivo epóxi e 7 grampos em “U”	87,75	96	Compressão Diagonal
E4	2 $\phi$ 6,3 mm (comprimento = 30 cm) em rasgo com adesivo epóxi	90	116	Flexão
E5	2 $\phi$ 6,3 mm (comprimento = 30 cm) em rasgo com adesivo epóxi e 4 grampos em “U”	80	74	Flexão

Fonte: Autor, 2017.

Através da análise dos resultados obtidos no software Ansys, observou-se que a carga de ruína dada pelo programa foi bem aproximada aos resultados alcançados no ensaio experimental, bem como os modos de ruptura das vigas. No entanto, houve uma diferença no que se refere ao reforço, pois no ensaio experimental os reforços se descolaram da peça antes das mesmas chegarem a ruína, já na análise isso não ocorreu devido o atrito entre a viga e o reforço ter sido desconsiderado. O gráfico 1 apresenta a relação carga x flecha das cinco vigas obtidos na análise.

Gráfico 1: Gráfico carga x flecha de todas as vigas na mesma escala



Fonte: Autor, 2017.

## CONCLUSÕES

Por meio da análise dos resultados obtidos no software Ansys e no ensaio experimental, pode-se observar que as vigas reforçadas romperam com uma carga superior à da viga de referência, exceto a viga E5, que obteve a menor carga de ruptura. Tal fato pode ser explicado porque a viga em questão foi perfurada para inserir os grampos, logo, criou-se uma concentração de tensões no furo, prejudicando a capacidade resistente da viga. Tanto no ensaio experimental quanto na análise computacional a viga de maior carga de ruptura foi a E4, logo, conclui-se que o uso dos grampos para auxiliar na ancoragem entre a peça e o reforço não se mostrou útil. Entretanto, os reforços com a adição de barras de aço e adesivo epóxi mostraram-se eficientes, já que as vigas E2 e E4 romperam com cargas superiores em relação à viga de referência.

## REFERÊNCIAS

- ANSYS. ANSYS Mechanical User's Guide. Disponível em: <[https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/16.2.3/en-us/help/wb\\_sim/ds\\_Home.html](https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/16.2.3/en-us/help/wb_sim/ds_Home.html)>. Acesso em: 14 de abril de 2017.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento. 1 ed. Rio de Janeiro, 2014. 238 p.
- Dahmani, L.; Khennane, A.; Kaci, S. Crack Identification in Reinforced Concrete Beams Using ANSYS Software. Article in Strength of Materials, march 2010.
- Lima, E. M. F. Estudo teórico-experimental de vigas de concreto armado reforçadas à flexão com barras de aço em dentes de adesivo epóxi. Sobral: UVA, 2015.
- Muliterno, B. K.; Pravia, Z. M. C. Modelos para vigas de concreto armado. Técnica. São Paulo, v. 231, 2016.
- Silva Júnior, F. E. S.; Silva, R. J. C. Análise computacional de vigas de concreto armado com diferentes relações x/d usando o software ANSYS. 59ª ed. Congresso Brasileiro do Concreto - IBRACON. Rio Grande do Sul, 2017.