

ANÁLISE NUMÉRICA DE VIGAS DE CONCRETO ARMADAS COM BARRAS DE FIBRA DE VIDRO (GFRP) E AÇO

Rafael dos Santos Lima ¹; Fábio Selleio Prado ²

¹ Aluno de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

² Professor da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

Resumo. Devido a problemas de corrosão em estruturas armadas metálicas, a inserção de um novo material na construção civil vem crescendo, e com isso o requerimento de estudos do comportamento das barras de GFRP em relação a estruturas metálicas se torna necessário. Este trabalho faz uma análise do comportamento de vigas de concreto armado com barras de GFRP comparada com elementos semelhantes de estruturas de aço, e concreto simples através do programa de análise por elementos finitos, ABAQUS. As vigas com barras de GFRP levam características das fibras de vidro do tipo E, que são as mais utilizadas na construção civil, e o aço modelo padrão, CA50, ambos considerados 100% aderentes ao concreto.

Introdução

O estudo do comportamento das estruturas de concreto armado com barras de fibras de vidro (GFRP) vem se tornado frequente com o intuito de comparação com estruturas armadas com aço. Este projeto foi implantado em 2014 no Instituto Mauá de Tecnologia – IMT, sendo iniciado com o objetivo de incentivar os alunos de graduação a desenvolverem pesquisas acadêmicas relacionadas à engenharia civil. Seu princípio ocorreu com base no trabalho de conclusão de curso de 2013 - Análise teórica e experimental da utilização de armaduras não metálicas (GFRP) em elementos estruturais, orientado pelo MSc. Fabio Selleio Prado.

O concreto armado com barras de aço possui um domínio majoritário do mercado brasileiro e até mesmo mundial por possuir um custo baixo de execução da obra comparado com o único, até então, concorrente a de estruturas metálicas, e por possuir suas normas bem definidas.

A aplicação de outros materiais no âmbito da engenharia civil exige um estudo minucioso de suas propriedades, e assim a partir dessa necessidade que iniciamos esse projeto.

A escolha do compósito de fibras de vidro surgiu com a necessidade de contornar fatores ambientais, físicos e químicos que as estruturas armadas de aço têm suas limitações para suprir. O material destaca-se pela sua propriedade de resistência à tração, que complementa as propriedades do concreto. O emprego do compósito, aos poucos, vem se tornando mundialmente utilizado como armadura para o concreto armado em obras próximas à costa.

O projeto fundamenta-se no estudo experimental ensaiado com vigas armadas com concreto armado com aço e fibra de vidro do trabalho de conclusão de curso. Utilizando o programa de análise por elementos finitos, ABAQUS, levando em considerações as propriedades de cada material, como: módulo de Young, coeficiente de Poisson, densidade. Contudo foram considerados os materiais 100% aderentes ao concreto e apenas à linearidade do problema por se tornar necessário a realização de um projeto mais elaborado.

A contingência do uso das barras de fibras de vidro como alternativa de armadura para estruturas propõe maior exploração do comportamento do material e suas características através de estudos científicos e da elaboração da norma brasileira que regulamenta a utilização da armadura.

Material e Métodos

O trabalho visa à comparação de estruturas de concreto armado com fibras de vidro do tipo E (GFRP) com estruturas armadas com aço. Sendo analisada tanto sua parte estrutural como sua parte econômica.

Nesta seção pretende-se demonstrar as características dos materiais utilizados, aplicação e a programação do projeto.

Aço

No projeto utilizou-se as características principais do material aço (CA50), cujas características adotadas no projeto foram massa específica de 7850 kg/m³, módulo de elasticidade de 205 GPa, e coeficiente de Poisson de 0,3, conforme NBR 6118.

Concreto

Para análise do projeto utilizou-se das características do concreto armado de fck de 30 MPa, cuja massa específica de 2500 kg/m³, módulo de elasticidade calculada segundo NBR 6118, através $E_{ci} = 0,85 \cdot 5600 \cdot f_{ck}^{1/2}$, e o coeficiente de Poisson sendo 0,2.

GFRP

As fibras de vidro comercialmente disponíveis para a formação das GFRP são fibras: vidro-S, vidro-E e vidro álcali resistente, cujas propriedades estão descritas na Tabela 1.1.

Tabela 1 – Propriedades das diversas fibras de vidro utilizadas nas barras de GFRP.

Tipo	Densidade [kg/m ³]	Resistência à tração [MPa]	Módulo de Elasticidade [GPa]	Coeficiente de Poisson
Vidro-S	2500	3450	72,4	0,22
Vidro-E	2500	4580	85,5	0,22
Vidro A-R (álcali resistente)	2270	1800-3500	70-76	0,22

Para estudo da fibra de vidro do tipo A-R (álcali resistente), a mais apropriada para o uso junto com o cimento, utilizou-se os valores da resistência à tração e módulo de elasticidade, uma média dentre os valores estudados experimentalmente, dessa maneira resultando em a resistência à tração de 2650 MPa, e o módulo de elasticidade em 73 GPa.

Software

O software utilizado fora o Abaqus, um pacote comercial para análise por elementos finitos desenvolvido pela Rhode Inc, comercializado pela SIMULIA da Dassault Systemes S.A.

O programa é uma limitação do produto integral da SIMULIA feita para estudantes chamado Abaqus Student Edition – 3DS Academy. Essa versão para estudantes limita a malha para 1000 nós, o que restringe os resultados obtidos pelo programa, porém para uma primeira análise não houve tantas diferenças da conclusão esperada.

Uma primeira análise foi feita a partir de uma viga de concreto simples, com as mesmas características que serão usadas para o projeto.

O projeto consiste em análise de uma viga de concreto armado por aço e por fibras de vidros de todos os tipos. A viga tem dimensões de 0,15 m de largura, 0,15m de altura e 0,5 m de comprimento, com três barras de 0,47 m de comprimento com diâmetros de 6,3 mm, distanciada de um valor de 0,9 da altura da viga, dessa maneira sendo colocadas a 0,135 m do topo da viga. Utilizando apoios do tipo “Pinned”, que são apoios fixados.

As forças utilizadas em cada caso foram retiradas das forças de rupturas estudadas experimentalmente dadas pelo trabalho de conclusão de curso de 2013 – Análise teórica e experimental da utilização de armaduras não metálicas (GFRP) em elementos estruturais, essas cargas foram distribuídas em uma área de 0,0375 m², para uma melhor análise da estrutura, e sendo variadas de 0 até a força de ruptura, no período de 0 a 1 segundo.

Neste projeto foram consideradas as barras 100% aderentes ao concreto, dessa maneira não sendo necessária a criação de ganchos para auxiliar a ancoragem, consequentemente consideramos a resistência de uma maneira máxima, já que a ACI 440 R6 faz uma relação à redução de resistência de 40 a 50% em comparação com a resistência de uma barra reta.

Resultado e Discussão

Concreto simples

Análise do concreto simples, fora utilizada uma carga simples de 50 kN distribuída em uma área de 0,0375 m², com apoios do tipo “Pinned”.

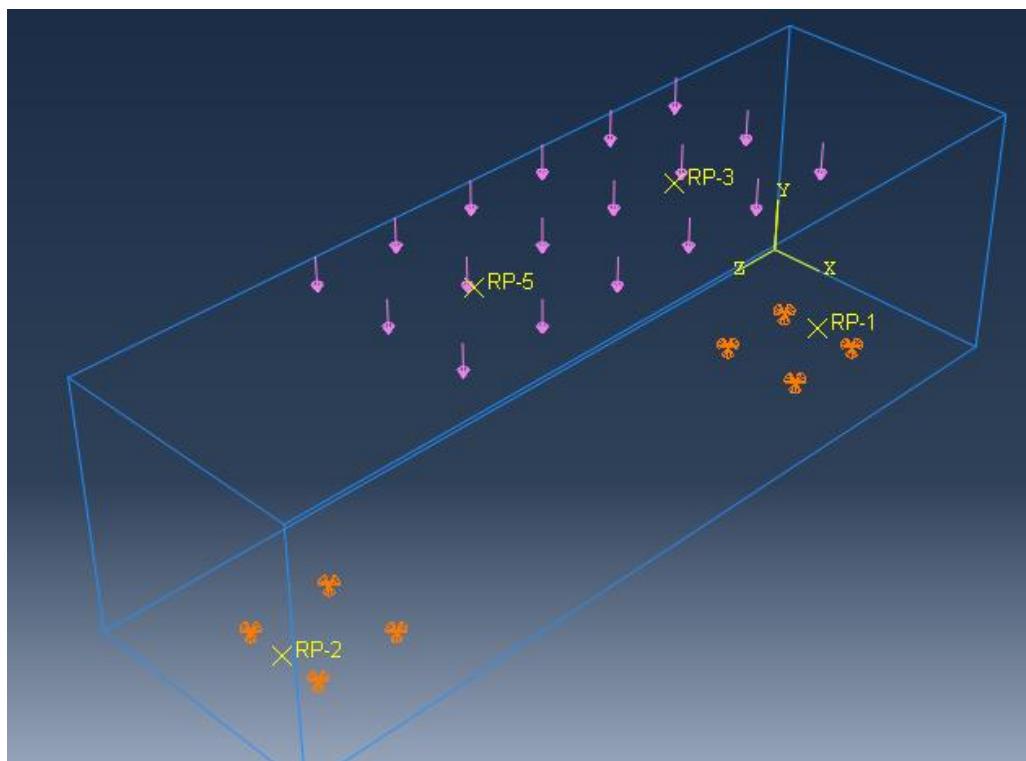


Figura 1 – Vigas de concreto simples com visualização de cargas e apoios.

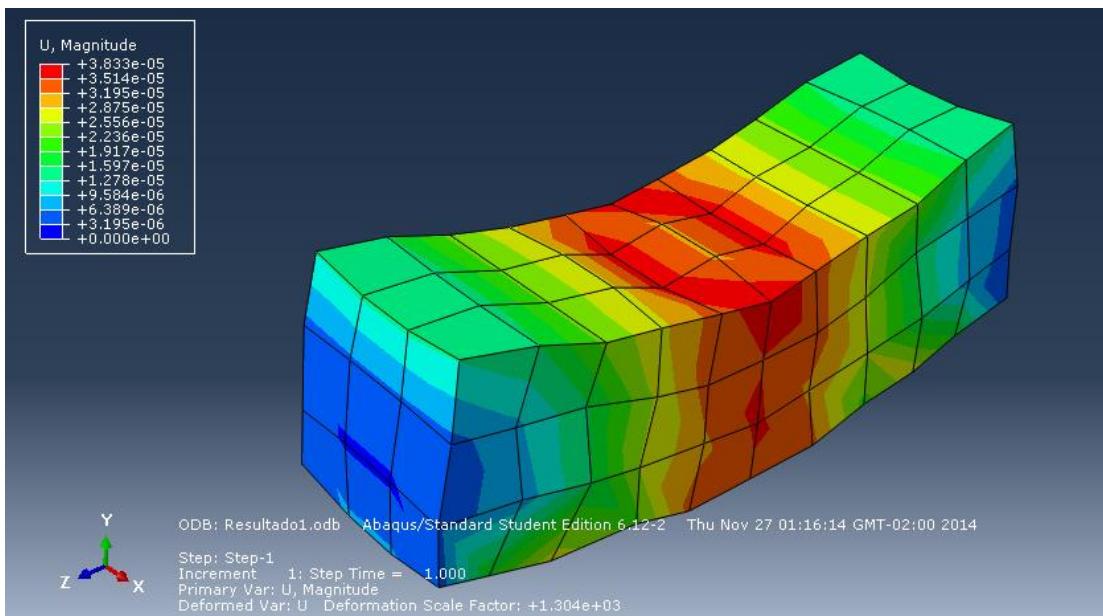


Figura 2 – Deslocamento no concreto simples.

Pode-se visualizar o deslocamento causado pela força de 50 kN, variando de 0 a 50 kN em 1 segundo, a escala para a visualização dessa imagem é de 1304:1.

A legenda a esquerda da imagem nos resulta os valores das tensões, como se pode observar o deslocamento máximo causado é de $3,833 \times 10^{-5}$ mm. Essa viga não fora utilizada a curva tensão-deformação idealizada.

Concreto Armado com aço (CA50)

Utilizando-se de uma carga de ruptura, obtida experimentalmente, de 170,7 kN distribuída em uma área de 0,0375 m², com apoios do tipo “Pinned”.

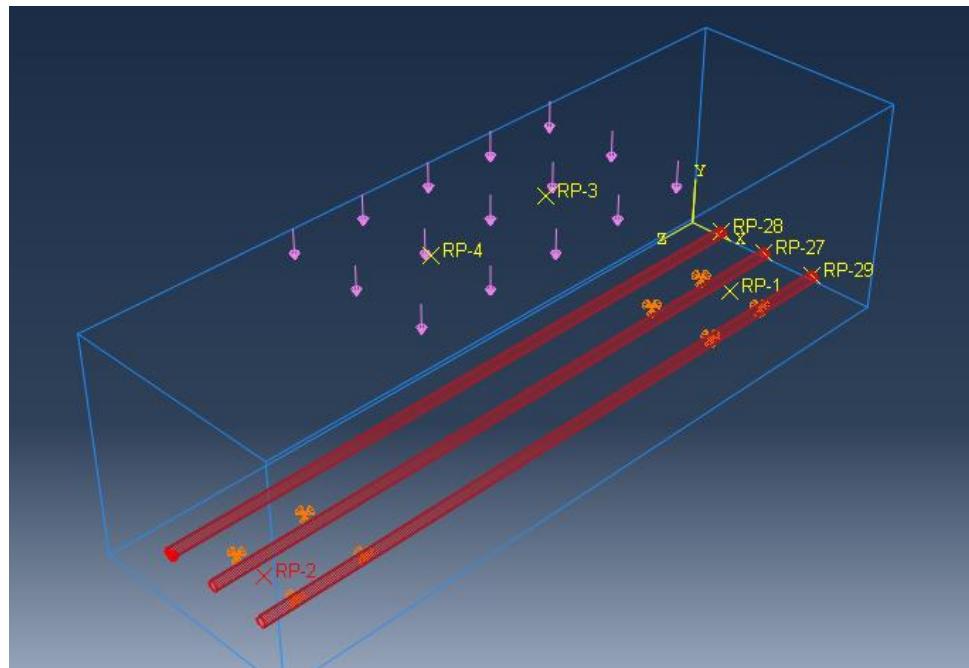


Figura 3 – Viga de concreto armado com aço

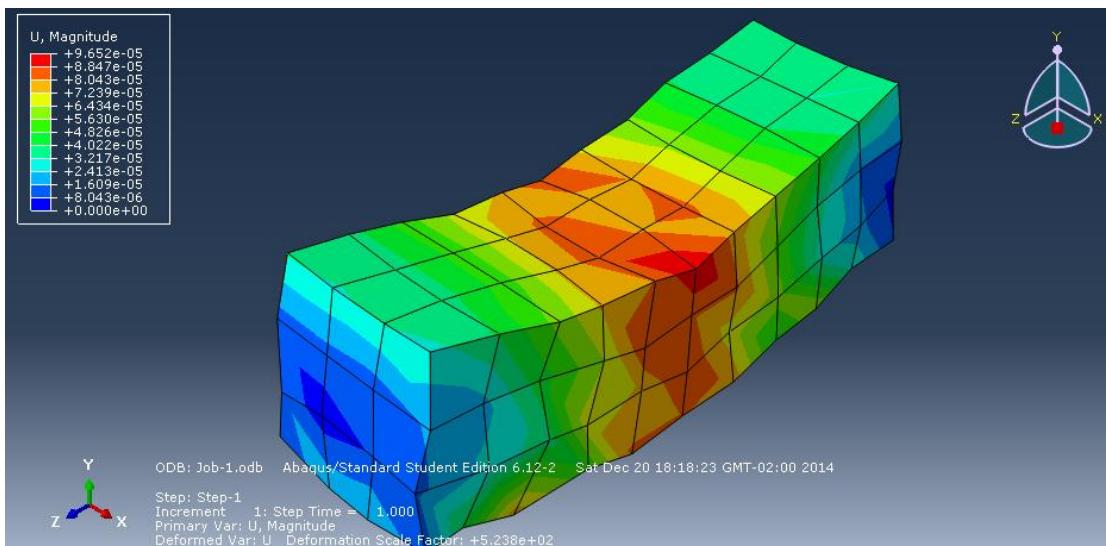


Figura 4 – Deslocamento do concreto armado com aço.

Pode-se observar o deslocamento causado pela força de 170,7 kN, a imagem está em uma escala de 523,8:1.

O deslocamento máximo ocorrido no meio da viga fora de $9,652 \times 10^{-5}$ mm, abaixo do esperado, porém essa variação fora dada pela simplificação do diagrama tensão-deformação. Porém é possível fazer uma comparação desejável com estruturas armadas com GFRP, o que é o objetivo do projeto.

Concreto Armado com fibra de vidro (GFRP)

A partir de uma carga de ruptura, obtida experimentalmente de barras retas sem ancoragem, de 118,3 kN distribuídas em uma área de $0,0375 \text{ m}^2$.

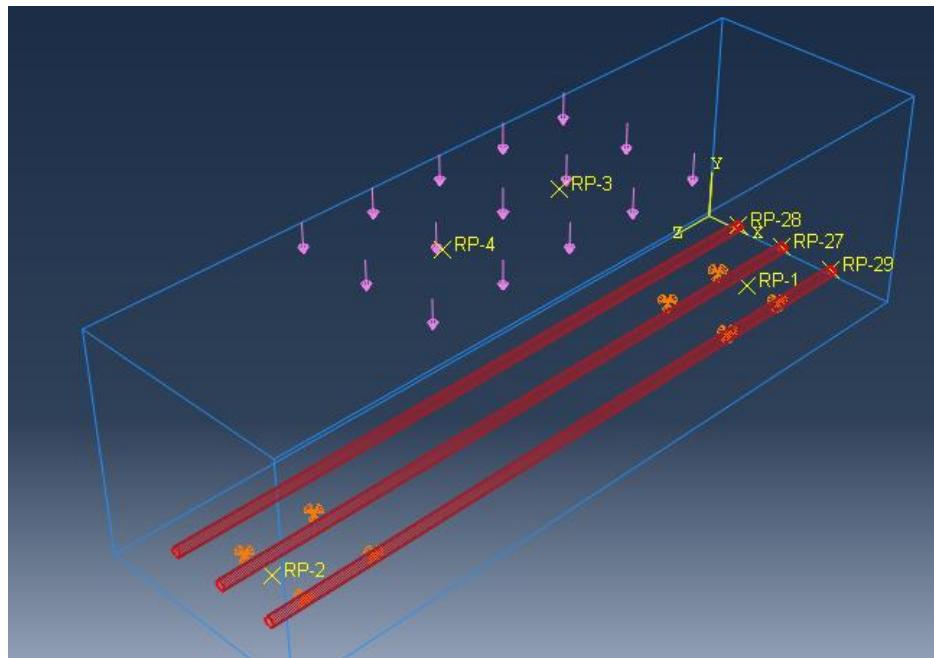


Figura 5 – Viga de concreto armado com GFRP.

Como é possível observar não há diferenças no esquema estrutural entre as vigas armadas com aço e com GFRP, apenas as características dos materiais foram variadas para a comparação posterior da diferença dos deslocamentos.

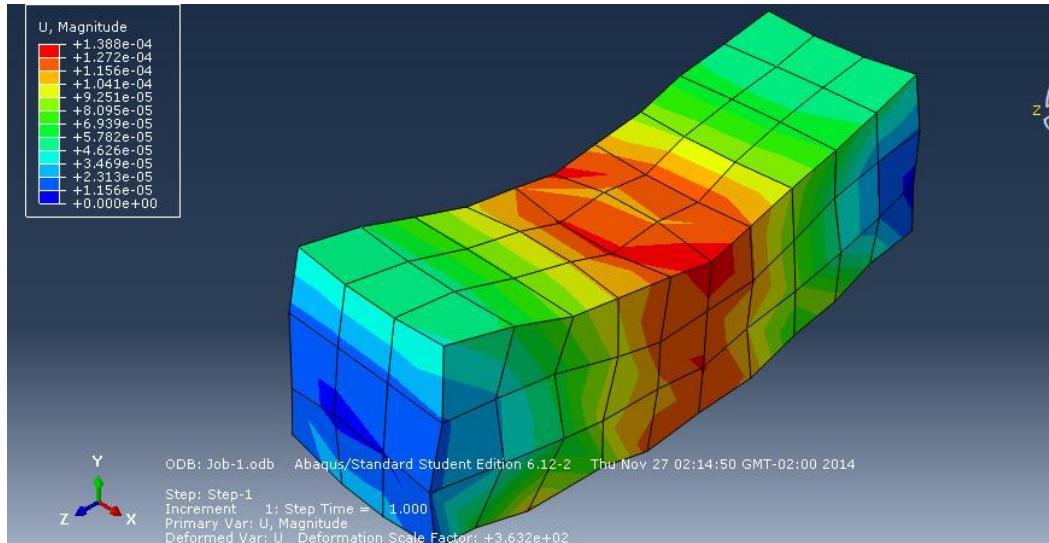


Figura 6 – Deformação do concreto armado com GFRP.

O deslocamento causado pela carga de 118,3 kN pode ser observada na Figura 6. A escala da imagem encontra-se em 363,2:1. O deslocamento máxima é de $1,388 \times 10^{-5}$ mm.

Verifica-se o que era esperado, um deslocamento maior do que a encontrada na viga de concreto armado com aço.

Dessa maneira uma análise utilizando-se da mesma carga se torna primordial para a comparação das estruturas armadas. A partir da carga de 170,7 kN pode-se obter uma visualização mais apurada da diferença entre as resistências das armaduras.

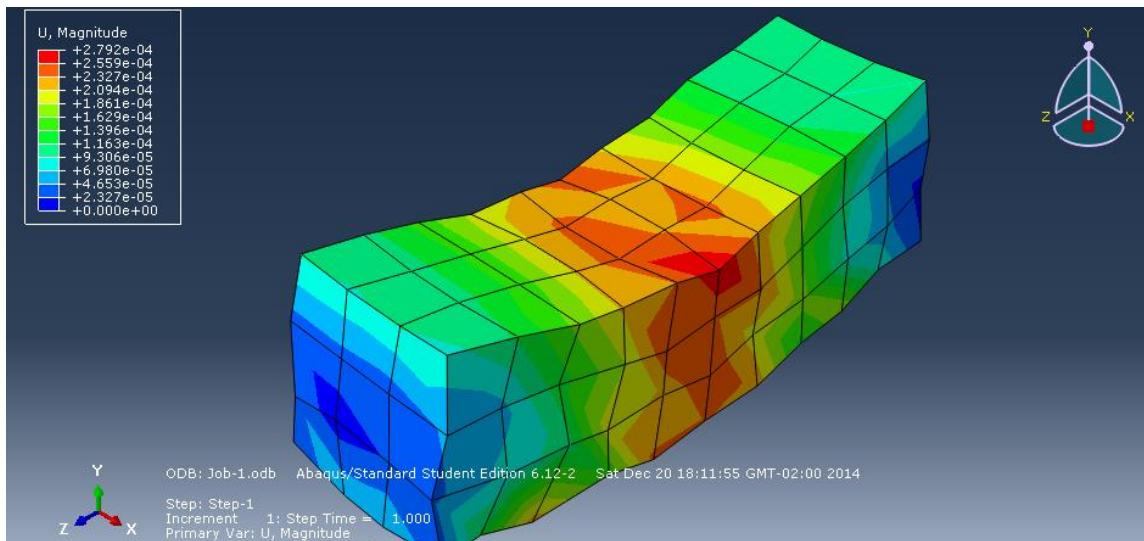


Figura 7 – Deslocamento do concreto armado com GFRP com carga de 170,7 kN.

O deslocamento causado na viga de concreto armado com GFRP pela força de ruptura do aço de 170,7 kN foi de $2,792 \times 10^{-4}$ mm.

Conclusões

Através da comparação entre o concreto armado com GFRP e com armadura de aço, e utilizando a consideração de uma força de ruptura do aço de 170,7 kN. Pode-se observar um deslocamento da estrutura armada de GFRP de aproximadamente 3 vezes maior do que a do aço. Sendo $9,652 \cdot 10^{-5} \cdot 3 [mm] = 2,8 \cdot 10^{-4}[mm]$. E sabendo que o módulo de elasticidade do GFRP é aproximadamente 30% do valor do módulo de elasticidade do aço. O resultado está dentro do esperado.

A utilização desse material na engenharia civil ainda é limitada, por não haver um processo de controle de qualidade, padronização de suas características. Sendo necessários novos estudos como estudo econômico, estudos de normas que rege a empregabilidade da fibra GFRP.

Com isso entrega-se esse trabalho para que novos alunos possam dar continuidade no trabalho, seja no estudo econômico, ou até mesmo em um estudo mais aprofundado do comportamento do material.

Referências Bibliográficas

De, Suvrano. Introduction to Finite Elements: Abaqus Handout. Rensselaer Polytechnic Institute, New York. Disponível em: <<http://sig.ias.edu/files/Abaqus%20tutorial.pdf>> Acesso em: 12 mai. 2014.

Thiagarajan, G.; Roy, S. Finite Element Modeling of Reinforced Concrete Bridge Decks with ABAQUS. Univeristy of Missouri-Rolla, 2005.

SILVA, Anselmo Paulucci da; GONZALEZ, Bruna Cristiano; MARTINS, Ricardo Dorigon. *Análise teórica e experimental da utilização de armaduras não metálicas (GFRP) em elementos estruturais*. 2013. 109 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2013.

CERIONI, Roberto; IORI, Ivo; MIGNOSA, Paolo. *Three-Dimensional Numerical Modeling of Reinforced Concrete behavior*. 2009. 228 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, University Of Parma- Doctorate In Civil Engineering, Parma, 2009.