

ANÁLISE TEÓRICA E NUMÉRICA DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE COMPOSTOS EPÓXI/FIBRAS VEGETAIS VISANDO REFORÇO ESTRUTURAL

Camila Rodrigues de Souza¹, Jesiel Cunha²

Resumo

Este trabalho tem como objetivo a análise do comportamento de vigas de concreto armado reforçadas com PRFVeg (Polímero Reforçado por Fibra Vegetal), a fim de verificar o quanto a adição deste reforço influencia na redução dos esforços cisalhantes e do momento fletor na estrutura. Como forma de análise foram usadas a modelagem numérica via Método dos Elementos Finitos e o modelo micromecânico. Inicialmente foram feitas simulações numéricas do composto PRFVeg por estes dois métodos para encontrar seu módulo de elasticidade, a partir das características da fibra vegetal e da matriz epóxi. Em seguida, com a modelagem numérica das vigas, foram examinadas diversas possibilidades de distribuição do reforço. Os resultados mostraram que a aplicação do PRFVeg como reforço leva a aumentos na rigidez e na resistência da viga e a comparação com o composto tradicional que usa fibras de carbono mostra que as fibras vegetais são viáveis como elementos de reforço.

Palavras-chave: Concreto armado, elementos finitos, fibra vegetal, reforço estrutural, viga.

Abstract

The objective of the present work is to analyze the behavior of concrete reinforced beam with PRFVeg (Reinforced Vegetable Fiber Polymer), in order to verify the amount of influence of this reinforcement with respect to the shear and bending efforts. To this, both numerical and theoretical modeling using Finite Element Analyses and the micromechanical model were used. At first, numerical simulations of the PRFVeg were made through both methods of analyses for determining its Young Modulus from the characteristics of the vegetal fiber and the epoxy matrix. Several reinforcement distributions were analyzed on the beam numerical modeling. The results showed that the application of the PRFVeg as reinforcement leads to increasing of stiffness and strength of the reinforced structure. When compared to the

1 - FECIV, Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2121 – Campus Santa Mônica, Bloco 1Y, Uberlândia - MG, CEP 38400-902 – camila_rodriguesdesouza@yahoo.com

2 - FECIV, Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2121 – Campus Santa Mônica, Bloco 1Y, Uberlândia - MG, CEP 38400-902 – jecunha@ufu.br

traditional composites, which uses carbon fibers, the vegetal fibers can be considered feasible as reinforcement elements.

Keywords: Reinforced concrete, Finite Element Method, vegetal fiber, structural reinforcement, beam.

1 Introdução

Devido principalmente às boas relações resistência/peso, os materiais compostos são cada vez mais utilizados em estruturas de engenharia civil (HOLLAWAY, 2001; MOSALLAM, 2002). Um material composto clássico é constituído por uma matriz polimérica, reforçada por fibras, onde a resistência e a rigidez são dadas pelo tipo, quantidade, orientação e posição do reforço.

Seja para recuperação ou criação de novas estruturas, os compostos apresentam algumas vantagens, além da alta resistência e da leveza, em relação aos materiais tradicionais (aço, madeira e concreto), como as propriedades anti-corrosão, a estabilidade dimensional, os baixos custos de instalação, de recuperação e a modularidade (JONES, 1975; NETO, 2006).

Uma das principais aplicações dos materiais compostos na construção civil é o reforço de estruturas de concreto armado utilizando PRFC (Polímero Reforçado por Fibras de Carbono), conforme esquematizado na Figura 1. As faixas de reforço são coladas nas faces tracionadas das peças, aumentando sua capacidade de carga. Lajes, pilares, paredes e outros elementos estruturais podem ser reforçados (BEBER, 2003; MACHADO, 2002).

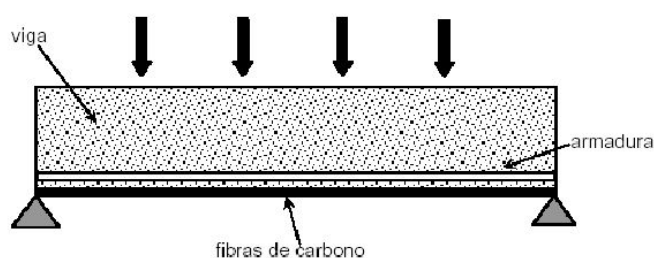


Figura 1 - Exemplo de reforço de viga à flexão.

Devido ao elevado custo da fibra de carbono, uma opção seria o uso da fibra vegetal como elemento de reforço. Do ponto de vista econômico e ambiental a alternativa é promissora. No

entanto, falta a verificação da capacidade estrutural do composto PRFVeg e, por isso, o estudo deste novo material se tornou o foco deste projeto.

2 Propriedades das fibras vegetais

As fibras naturais existem em abundância e têm seu uso motivado por serem renováveis, biodegradáveis, pela sua disponibilidade a baixo custo, muitas vezes como resíduos, sua ductilidade e seu baixo peso específico. Entretanto, elas têm limitações inerentes, tais como baixo módulo de elasticidade, alta absorção de água, susceptibilidade ao ataque de fungos e insetos, falta de durabilidade em meio alcalino (GRAM, 1983), instabilidade dimensional com variação da umidade e variabilidade de propriedades entre fibras do mesmo tipo (SWAMY, 1990).

As principais propriedades de algumas fibras vegetais de origem brasileira, que podem ser utilizadas como reforços em compostos de baixo custo, são dadas pela Tabela 1, sendo que nesta pesquisa foram utilizadas as fibras de rami, por possuírem módulo de elasticidade e resistência à tração em faixas de valores mais elevados que os das demais fibras listadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características físicas e mecânicas de algumas fibras vegetais brasileiras.

	Massa específica real (g/cm ³)	Absorção máxima (%)	Deformação máxima (%)	Resistência à tração (Mpa)	Módulo de elasticidade (GPa)
Coco (<i>Cocos nucifera</i>)	1,18-1,29	93,8	23,9-51,4	95-118	1,9-2,8
Sisal (<i>Agave sisalana</i>)	1,37-1,51	110	4,0-5,4	347-549	15,2
Malva (<i>Urena lobata</i>)	1,41	182,2	5,2	160	17,4
Bagaço de cana de açúcar (<i>Saccharum officinarum</i>)	1,38	---	5,1-9,0	181-212	3,6-5,0
Celulose para papel imprensa (<i>Pinus elliottii</i>)	1,20-1,50	400	---	300-500	10-40
Bambu (<i>Bambusa vulgaris</i>)	1,16	145	3,2	73-505	5,1-24,6
Juta (<i>Corchorus capsularis</i>)	---	214	3,7-6,5	230	---
Piaçava (<i>Attalea funifera</i>)	1,05	108	6	143	5,6
Bananeira (<i>Musa cavendishii</i>)	1,03	407	2,7	384	20-51
Curauá (<i>Ananás erectipholius</i>)	1,35	450	---	437-643	---
Rami (<i>Boehmeria nivea</i>)	---	---	3,6-3,8	400-938	61,4-128

Fonte: AGOPYAN (1991); SAVASTANO (2000); PICANÇO; GHAVAMI (2004); MOTTA et al. (2004), MARINELLI et al. (2008) *apud* MOTTA, SANTOS, CUNHA (2009).

3 Modelagem teórica

Os chamados modelos micromecânicos são formulações que permitem obter o valor das propriedades mecânicas do composto a partir das propriedades e do volume dos materiais constituintes (matriz e reforço), tendo os resultados de ensaios experimentais como meio de ajustar estas formulações, se necessário.

Tal método de modelagem, assim como o numérico, o qual será mencionado no tópico seguinte, foram escolhidos devido à facilidade em obter resultados, mesmo em situações de difícil execução experimental.

Embora seja uma abordagem teórica, a micromecânica pode ser útil na busca da constituição otimizada do composto, pois ela permite uma resposta rápida quando se varia a composição e a geometria dos materiais.

De uma forma geral, a determinação das propriedades elásticas C_{ij} de um composto é função das seguintes propriedades dos elementos constituintes:

$$C_{ij} = f(E_f, E_m, \nu_f, \nu_m, V_f, V_m)$$

sendo:

E_f, E_m : módulos de elasticidade da fibra e da matriz, respectivamente;

ν_f, ν_m : coeficientes de Poisson da fibra e da matriz, respectivamente;

V_f, V_m : volume de fibras e da matriz, respectivamente.

Foi utilizada a Lei das Misturas, uma modelagem micromecânica simples, para a determinação do módulo de elasticidade do composto. Esta propriedade é a mais importante a ser utilizada posteriormente na modelagem numérica da viga via Método dos Elementos Finitos. O modelo é representado pela seguinte equação:

$$E_1 = E_f V_f + E_m V_m \quad (1)$$

sendo:

E_I : módulo de elasticidade do composto (PRFVeg).

4 Modelagem numérica

Para problemas que apresentam estruturas com geometria e condições de contorno e de carregamento complexas, a solução exata do comportamento mecânico (por exemplo, determinação do campo de deslocamentos e de tensões), obtida através de procedimentos tradicionais da matemática, não é evidente ou mesmo não é possível. Para estes casos deve-se usar um método aproximado de análise. Nesta categoria se destacam os métodos numérico-computacionais, dos quais o principal é o Método dos Elementos Finitos (MEF).

O MEF é uma técnica de análise numérica que busca soluções aproximadas para problemas regidos por equações diferenciais. Tal método foi utilizado na modelagem computacional, através do programa ANSYS® (ANSYS, 2009), que possui elementos específicos de materiais compostos.

Para a modelagem da viga e do PRFVeg no programa ANSYS® foram utilizados os elementos BEAM3, SOLID45 e SHELL63, mostrados na Figura 2, sendo o primeiro para a formação das fibras de rami do composto e da armação da viga, o segundo na composição da matriz epóxi e da viga de concreto e o terceiro para formular o composto como um todo, aderido à viga.

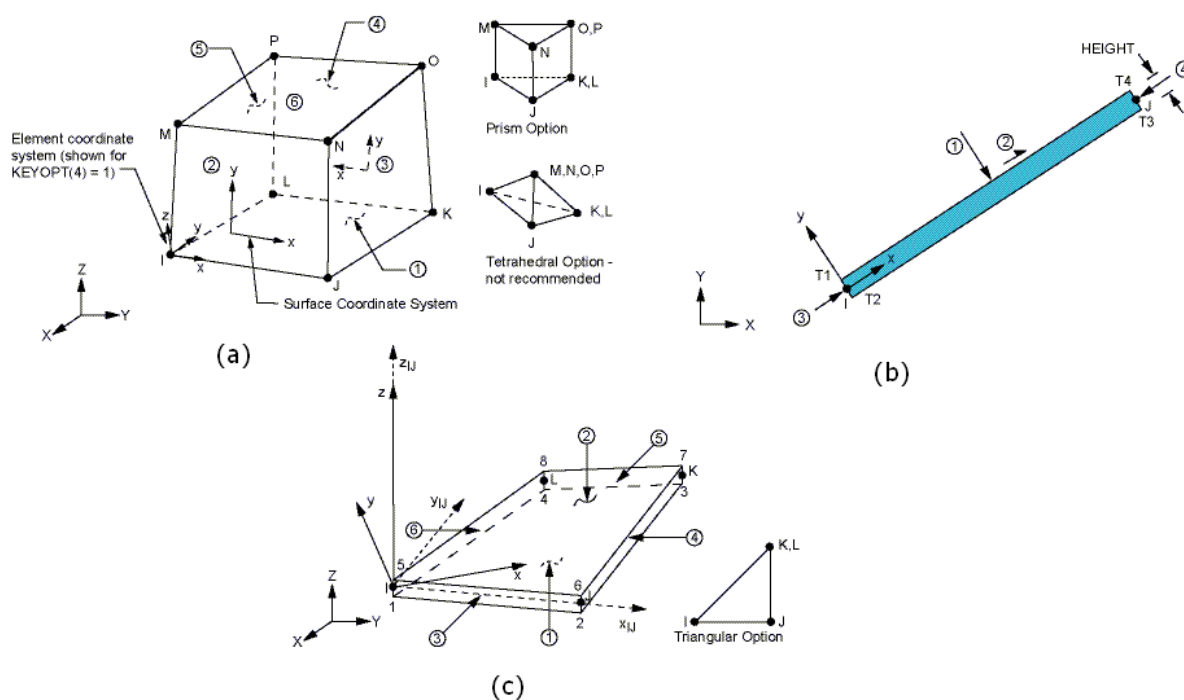


Figura 2 - Elementos do ANSYS® utilizados na modelagem. (a) SOLID45; (b) BEAM3; (c) SHELL63. Fonte: ANSYS (2009).

A viga foi modelada como sendo bi-apoiada, com f_{ck} igual a 25 MPa, vão de 1,50 m e apoios posicionados a 5 cm da extremidade da viga, de forma linear, como mostra a Figura 3. As armaduras possuem 5 mm de diâmetro, sendo a longitudinal composta de duas barras positivas e duas negativas, e os estribos situados a cada 10 cm. Ela foi submetida a um carregamento vertical em duas linhas na sua superfície superior, sendo uma a 50 cm e a outra a 100 cm no seu comprimento. Cada linha de carregamento possui cinco cargas, posicionadas nos nós e com valor igual a 3 kN.

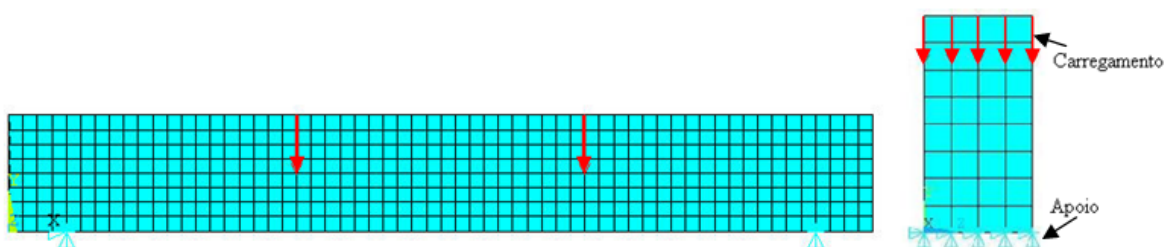
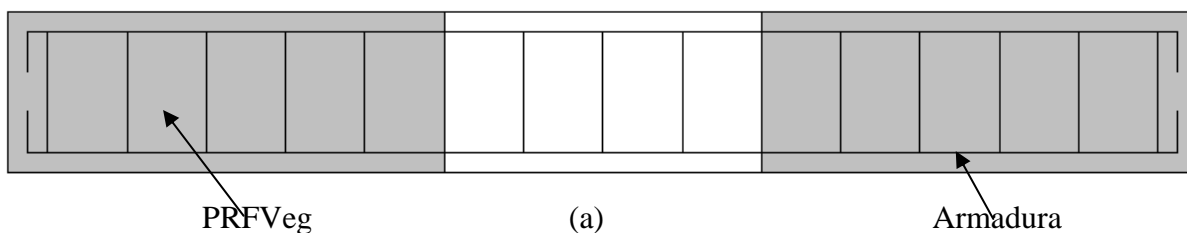
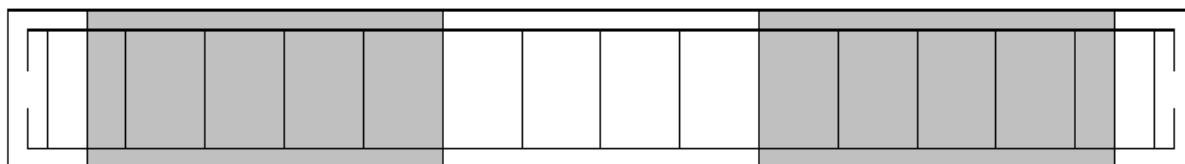


Figura 3 - Viga bi-apoiada reforçada e sua seção transversal.

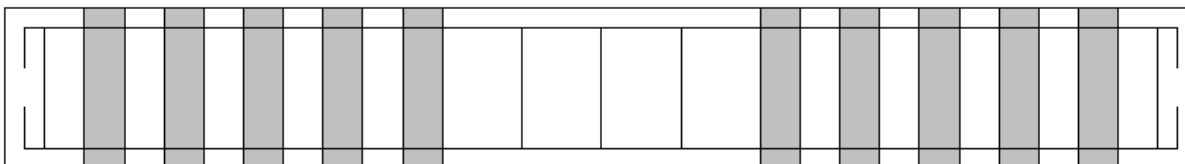
Na análise do combate ao momento fletor, o reforço foi posicionado no centro da superfície inferior da viga (região onde as tensões normais são maiores) no formato de uma faixa de 5 x 130 cm. Neste caso, assim como no estudo do cortante, o composto foi modelado como sendo um único tipo de material (elemento SHELL63), tendo a sua espessura inicial baseada na dos reforços de PRFC já existentes no mercado.

As regiões mais afetadas pelos efeitos cisalhantes são as próximas aos apoios, e por isso, para o estudo do combate a estas tensões, o PRFVeg foi posicionado nos terços da viga que compreendiam estas áreas, como mostra a Figura 4.





(b)



(c)

Figura 4 - Posicionamento do PRFVeg nos terços extremos da viga. (a) Modelo A, reforço desde a extremidade; (b) Modelo B, reforço desde o apoio; (c) Modelo C, reforço em faixa descontínua.

Para a determinação do módulo de elasticidade do PRFVeg através da modelagem numérica via elementos finitos, foi utilizado um composto de 0,3 x 2,56 x 15 cm, com fibras de rami, tendo comprimento de 14,7 cm e diâmetro igual a 0,15 cm, posicionadas no centro de forma unidirecional e contínua, como mostra a Figura 5, e com espaçamento de 0,08 cm.

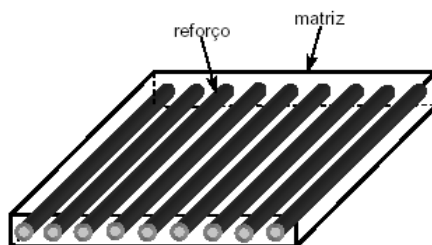


Figura 5 - Distribuição das fibras vegetais. Fonte: Cunha (2006).

5 Determinação analítica do módulo de elasticidade do PRFVeg

Para uma análise numérica é necessário conhecer certas características dos materiais estudados. No caso de vigas, o módulo de elasticidade (E) é a principal propriedade elástica a ser determinada.

Neste trabalho utilizou-se da modelagem micromecânica para estimar o módulo de elasticidade do PRFVeg. Considerando 70% de fibra com E_f igual a 50 GPa e 30% de matriz

epóxi com E_m igual a 4,5 GPa, obteve-se a partir da Lei das Misturas (equação 1) o módulo de elasticidade do composto E_l , que vale 3.635 kN/cm².

Posteriormente, para promover uma comparação de resultados, foi desenvolvido um modelo numérico do composto com os elementos BEAM3 (fibras) e SOLID45 (matriz epóxi) adotando as mesmas considerações de volume e propriedade elástica do modelo micromecânico.

O resultado foi um composto de 0,3 x 2,56 x 15 cm, engastado em uma extremidade e submetido a um carregamento uniforme de tração na outra como mostra a Figura 6, sendo que as dimensões do composto foram assim adotadas apenas para facilitar a modelagem do PRFVeg. Esta situação simula um ensaio de tração, utilizado para determinar o módulo de elasticidade.

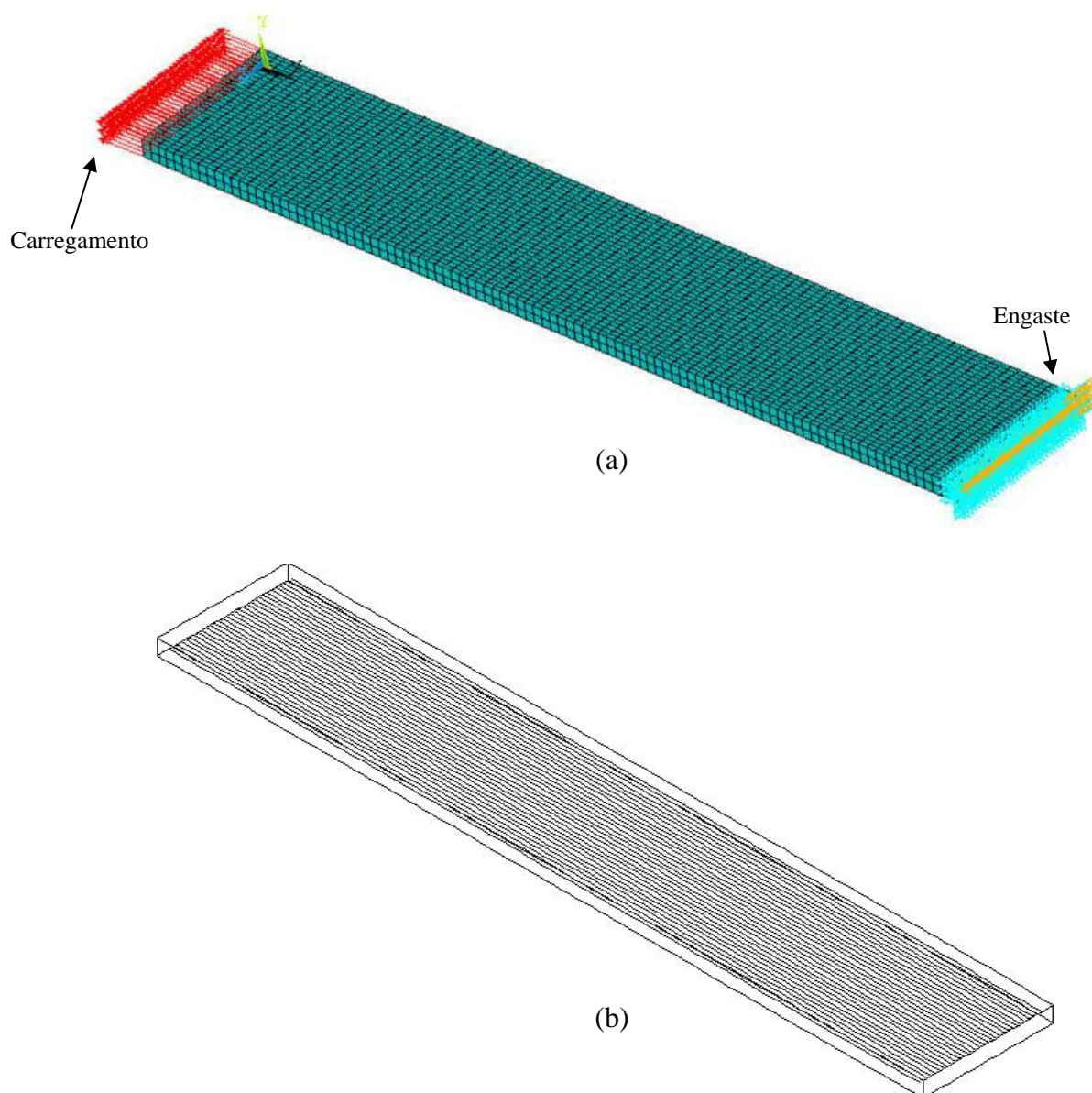


Figura 6 - Modelo numérico do PRFVeg, simulando um ensaio de tração.

(a) Condições de contorno e de carregamento; (b) Posição das fibras.

Para cada variação da carga o programa forneceu o deslocamento do PRFVeg e, a partir destes dados, apresentados na Figura 7, obteve-se um módulo de elasticidade igual a 3.000 kN/cm^2 , valor similar ao gerado pelo modelo micromecânico, demonstrando que este método é adequado para se obter o valor aproximado desta propriedade elástica do PRFVeg.

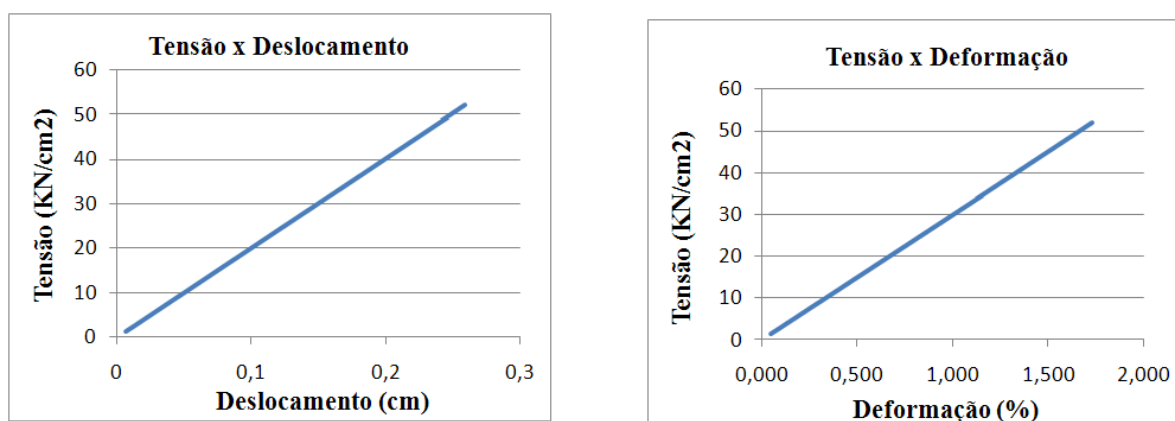


Figura 7 - Diagramas tensão x deslocamento e tensão x deformação do ensaio de tração do PRFVeg.

6 Reforço para momento fletor

Após a obtenção do módulo de elasticidade do composto, foi feito o modelo numérico de uma viga bi-apoiada de 10 x 20 x 150 cm, reforçada com uma faixa de PRFVeg de 5 x 130 cm e módulo de elasticidade E_l igual a 3.635 kN/cm^2 (Figura 8).

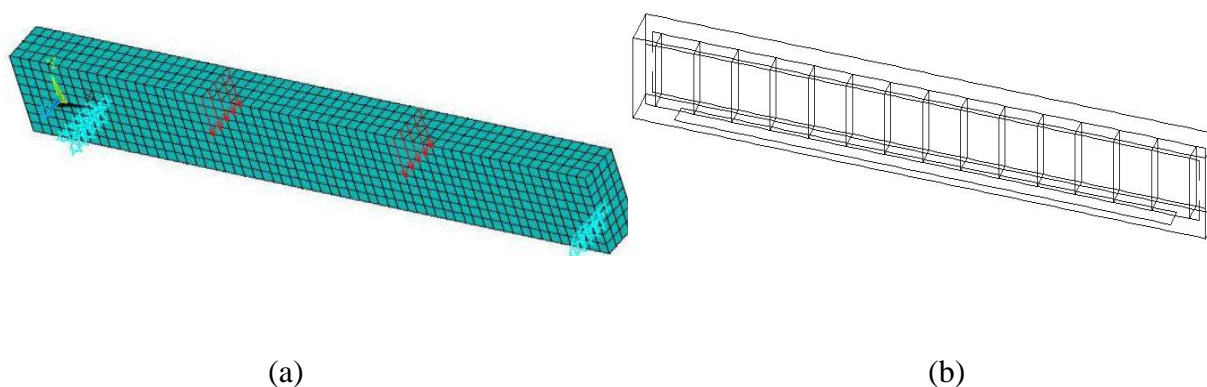


Figura 8 - Modelo numérico da viga reforçada com PRFVeg. (a) Condições de contorno e de carregamento; (b) Detalhes da armadura e da posição do reforço.

Para a análise do desempenho do composto foram aplicadas cargas verticais na estrutura reforçada com PRFVeg, o qual sofreu variações na espessura. Além disso, os resultados foram comparados com os da viga sem reforço e da viga reforçada com PRFC (Tabela 2).

A rigidez e a resistência da Tabela 2 foram calculadas da seguinte forma:

$$R_{ix} = \frac{(d_0 - d_x)}{d_0} \times 100 \quad R_{ex} = \frac{(\sigma_0 - \sigma_x)}{\sigma_0} \times 100 \quad (2)$$

sendo:

R_{ix} : rigidez da viga com reforço de espessura x [%];

d_0 : módulo do deslocamento máximo da viga sem reforço [cm];

d_x : módulo do deslocamento máximo da viga com reforço de espessura x [cm];

R_{ex} : resistência da viga com reforço de espessura x [%];

σ_0 : módulo da tensão normal na região central inferior ou superior da viga sem reforço [kN/cm²];

σ_x : módulo da tensão normal na região central inferior ou superior da viga com reforço de espessura x [kN/cm²].

Tabela 2 - Resultados das diferentes modelagens do reforço no combate ao momento fletor.

	Espessura do Reforço (cm)	Módulo do Deslocamento Máximo (cm)	Rigidez (%)	Módulo da Tensão (KN/cm ²)		Resistência (%)
				Superior	Inferior	
Sem Reforço	—	0,070308	—	Superior	0,8584	
				Inferior	0,86002	
Com Reforço-Fibra de Carbono	0,13	0,066344	5,64	Superior	0,82683	3,68
				Inferior	0,7977	7,25
Com Reforço-Fibra de Carbono	0,26	0,063169	10,15	Superior	0,79966	6,84
				Inferior	0,74305	13,60
Com Reforço-Fibra de Carbono	0,39	0,06041	14,08	Superior	0,77602	9,60
				Inferior	0,69517	19,17
Com Reforço-Fibra de Carbono	0,52	0,057991	17,52	Superior	0,75524	12,02
				Inferior	0,65296	24,08
Com Reforço-Fibra Vegetal	0,13	0,06912	1,69	Superior	0,85054	0,92
				Inferior	0,84472	1,78
Com Reforço-Fibra Vegetal	0,26	0,068234	2,95	Superior	0,84297	1,80
				Inferior	0,82982	3,51
Com Reforço-Fibra Vegetal	0,39	0,067379	4,17	Superior	0,83567	2,65
				Inferior	0,81535	5,19
Com Reforço-Fibra Vegetal	0,52	0,066555	5,34	Superior	0,82863	3,47
				Inferior	0,80132	6,83

A Figura 9 é um exemplo da distribuição das tensões σ_x geradas pelo carregamento da viga.

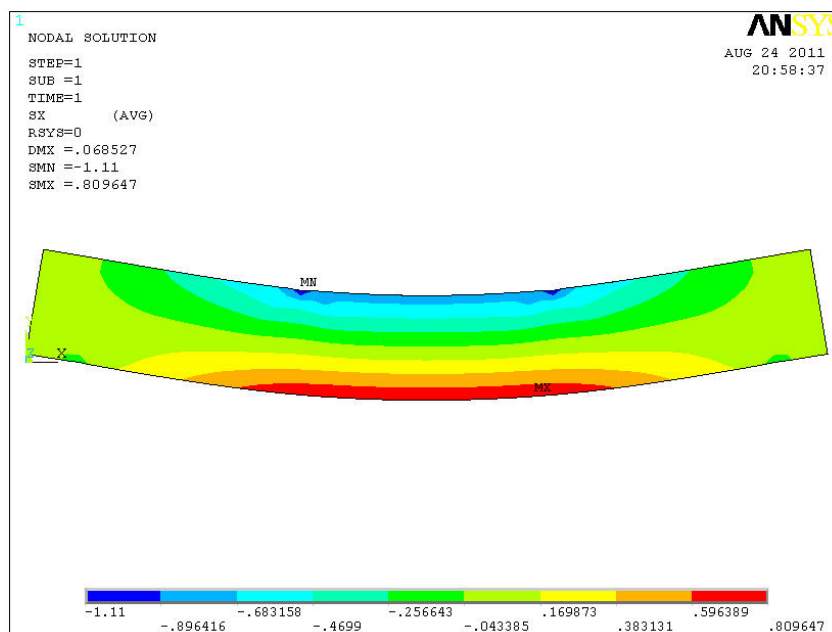


Figura 9 - Exemplo de distribuição das tensões σ_x da viga reforçada com PRFVeg.

Com os dados da Tabela 2 foram feitos os gráficos das Figuras de 10 a 13, os quais comprovam que, com o incremento da espessura do reforço, seu desempenho também é crescente, e que o PRFVeg é eficaz no combate à flexão (momento fletor), mesmo que em uma proporção menor que o PRFC.

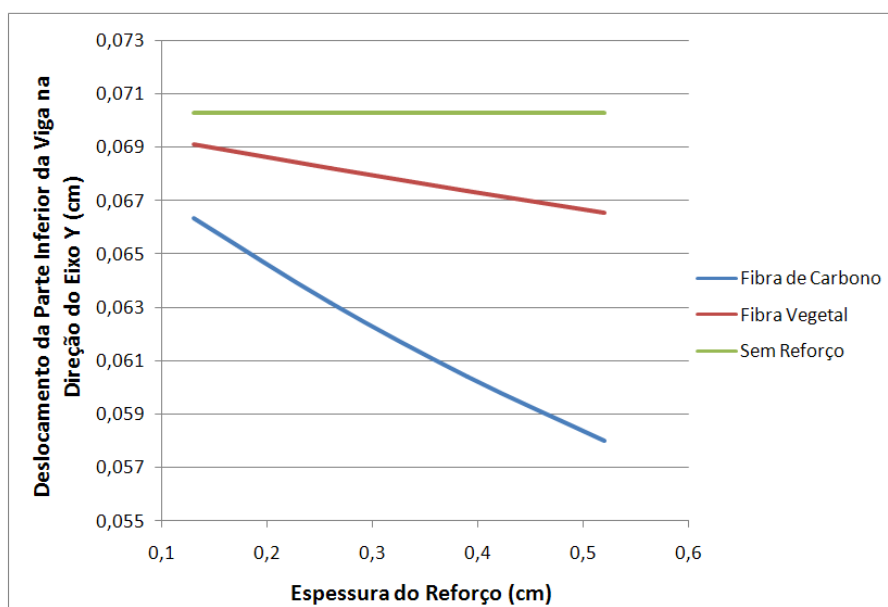
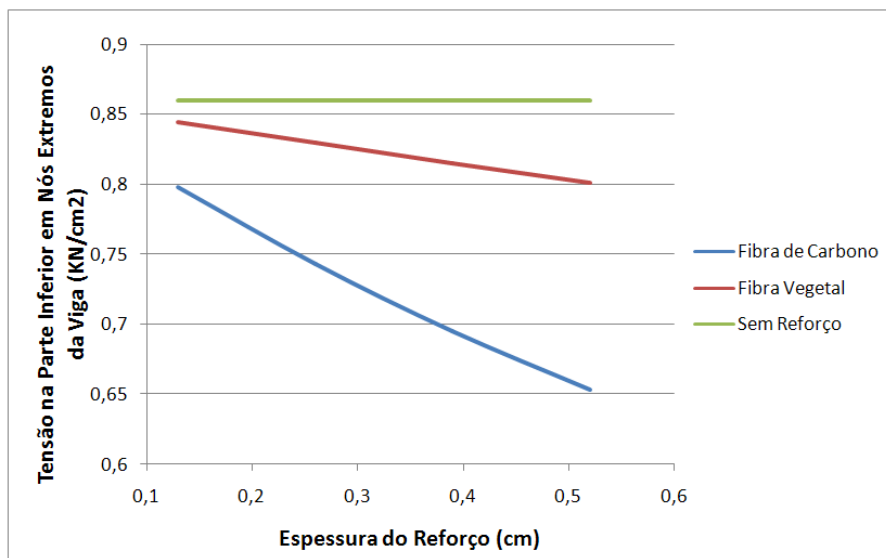
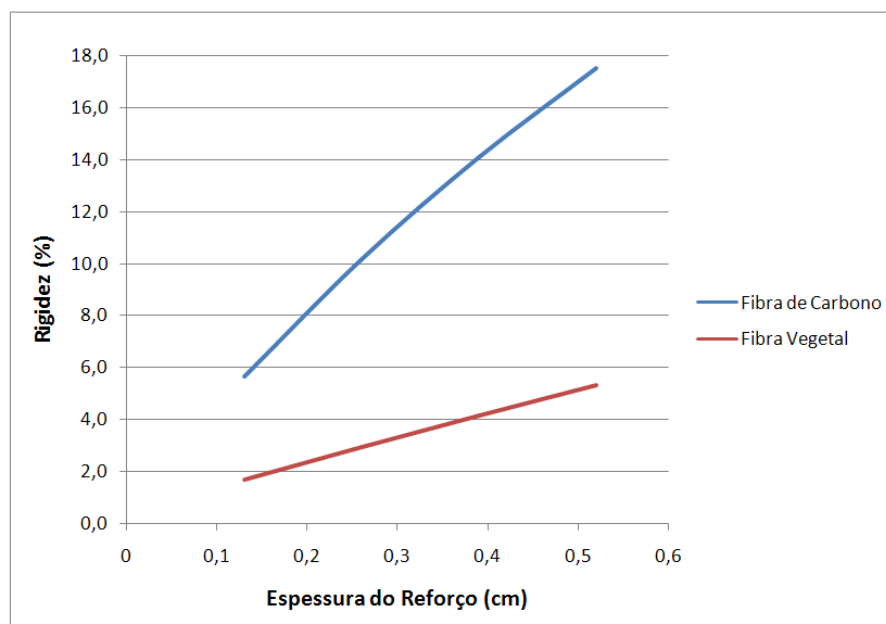


Figura 10 - Deslocamento máximo x espessura do reforço.

Figura 11 - Tensão máxima x espessura do reforço.Figura 12 - Rigidez x espessura do reforço.

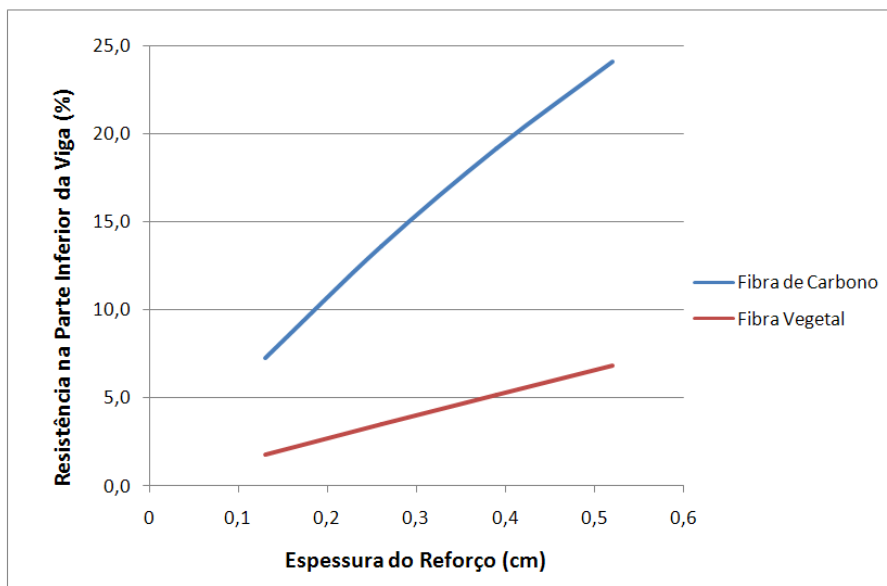


Figura 13 - Resistência \times espessura do reforço.

7 Reforço para esforço cortante

Para completar o estudo do PRFVeg foi analisado seu desempenho no combate aos esforços cortantes atuantes na viga. Para isso foram testados dois modelos de reforço indicados pelo American Concrete Institute (ACI 440, 2003): U e L (Figura 14), com variações de espessura e de posição.

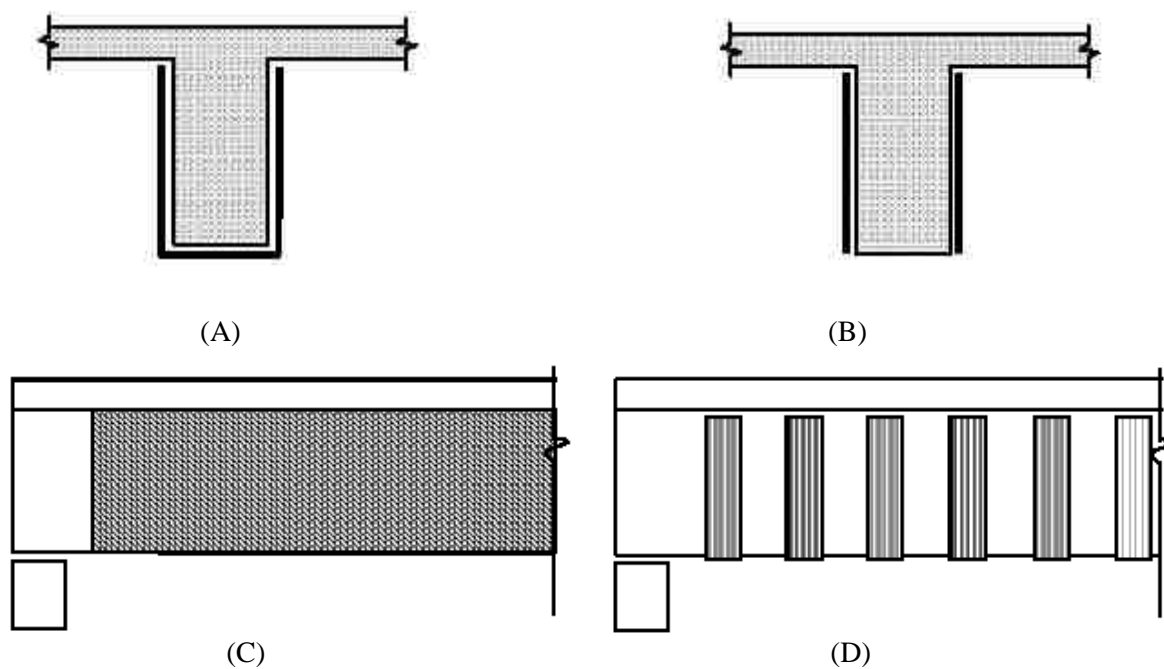


Figura 14 - Modelos de arranjo do reforço ao cortante. (A) Modelo em U; (B) Modelo em L; (C) Modelo em faixa contínua; (D) Modelo em faixa segmentada. Fonte: Wabo (2002).

Foram feitos sete tipos de modelagem numérica da viga reforçada com o PRFVeg. A partir da tensão principal σ_1 , obtida na posição de coordenada (50;10;10 cm), foi feita a análise da redução do efeito cisalhante na viga. A Figura 15 exemplifica a distribuição das tensões σ_1 na viga.

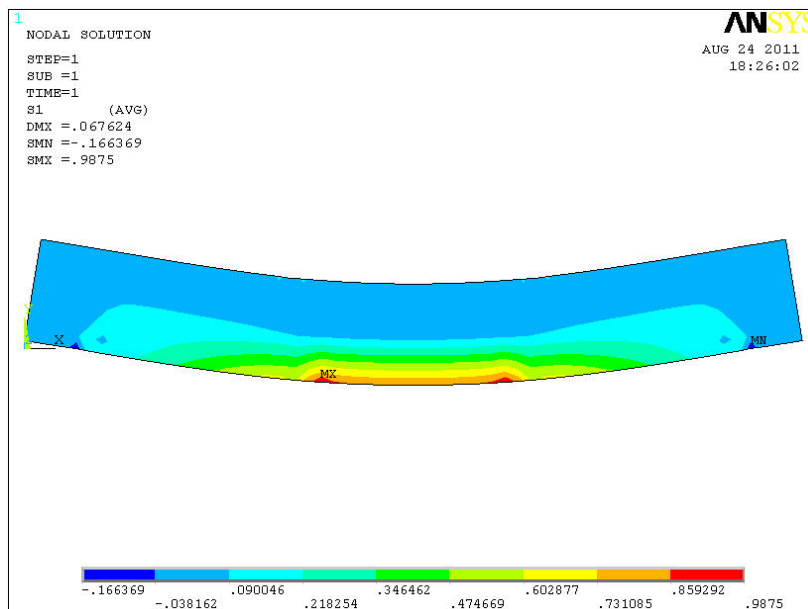


Figura 15 - Exemplo de distribuição das tensões principais σ_1 na viga reforçada.

Os resultados obtidos para os sete tipos de modelagem (criados a partir da Figura 14) foram comparados com os da viga sem reforço (Tabela 3). Esta comparação foi feita também para o PRFC (Tabela 4), permitindo concluir (Figura 16) que o desempenho do PRFVeg no combate ao cortante é da mesma ordem de grandeza do PRFC, porém, inferior, chegando a ser 21% menos eficaz.

Tabela 3 - Resultados das diferentes modelagens do PRFVeg no combate ao cortante.

Nome	Especificação	Área (cm ²)	σ_1 (KN/cm ²)	Redução da σ_1 [%]	(Redução da σ_1 [%] / Área[cm ²])x1000
cortante 1	Reforço tipo U (Modelo B)	4500	0,040370	9,62	2,137794992
cortante 2	Reforço tipo U (Modelo A)	5000	0,040370	9,62	1,924015492
cortante 3	Reforço tipo L (Modelo A)	4000	0,042494	4,86	1,216222267
cortante 4	Reforço tipo L (Modelo B)	3600	0,042494	4,86	1,351358074
cortante 5	Reforço tipo L (Modelo C), em faixas de 5 cm	2000	0,047472	-6,28	-3,139901941
cortante 6	Reforço tipo U (Modelo C), em faixas de 5 cm	2500	0,045393	-1,63	-0,650144402
cortante 7	Reforço tipo U (Modelo C), em faixas de 2,5 cm	1250	0,045125	-1,03	-0,820292386
sem reforço	Sem reforço	0	0,044667		

Tabela 4 - Resultados das diferentes modelagens do PRFC no combate ao cortante.

Nome	Especificação	Área (cm ²)	σ_1 (KN/cm ²)	Redução da σ_1 [%]	(Redução da σ_1 [%] / Área[cm ²])x1000
cortante 1	Reforço tipo U (Modelo B)	4500	0,03067	31,3	6,96
cortante 2	Reforço tipo U (Modelo A)	5000	0,030668	31,3	6,27
cortante 3	Reforço tipo L (Modelo A)	4000	0,036134	19,1	4,78
cortante 4	Reforço tipo L (Modelo B)	3600	0,036135	19,1	5,31
cortante 5	Reforço tipo L (Modelo C), em faixas de 5 cm	2000	0,053443	-19,6	-9,82
cortante 6	Reforço tipo U (Modelo C), em faixas de 5 cm	2500	0,046743	-4,6	-1,86
cortante 7	Reforço tipo U (Modelo C), em faixas de 2,5 cm	1250	0,045533	-1,9	-1,55
sem reforço	Sem reforço	0	0,044667		

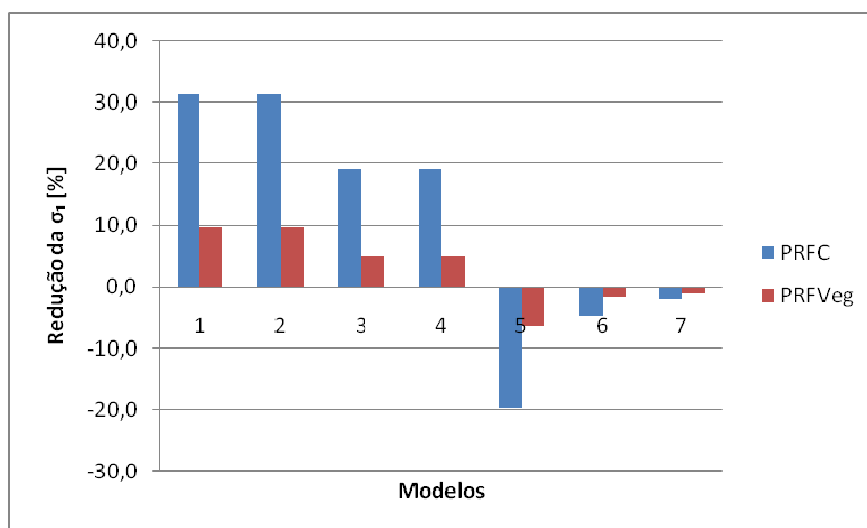


Figura 16 - Desempenho do reforço com PRFC e com PRFVeg no combate ao cisalhamento.

Efetuada incrementos na espessura do PRFVeg do modelo *cortante 1*, o mais eficiente, verifica-se (Tabela 5) que este reforço apresenta desempenho no combate ao esforço cortante similar ao do composto reforçado com fibra de carbono, que apresenta redução de 31,3%, (conforme Tabela 4). Isto ocorre a partir de uma espessura de 0,48 cm do PRFVeg.

Tabela 5 - Resultados da variação da espessura do PRFVeg no combate ao cortante.

Nome	Especificação	Espessura (cm)	σ_1 (KN/cm ²)	Redução da σ_1 [%]
cortante 1	Reforço tipo U (Modelo B)	0,12	0,04037	9,62
cortante 1	Reforço tipo U (Modelo B)	0,24	0,03681	17,59
cortante 1	Reforço tipo U (Modelo B)	0,36	0,03382	24,29
cortante 1	Reforço tipo U (Modelo B)	0,48	0,03128	29,97

8 Conclusão

Os modelos micromecânico e numérico via Método dos Elementos Finitos fornecem estimativas próximas do módulo de elasticidade do PRFVeg. Seriam necessários ensaios experimentais, os quais não foram objetivo deste trabalho, para analisar a coerência dos dados obtidos teoricamente com o comportamento real do composto.

Com base na metodologia de análise adotada (simulação numérica), pode-se concluir que o Polímero Reforçado com Fibra Vegetal (PRVeg) apresenta bom desempenho como reforço estrutural, mesmo que inferior ao do PRFC, para redução dos efeitos do momento fletor e do esforço cortante em vigas de concreto armado. Vale ressaltar que quanto maior a espessura do PRFVeg, maior é a sua eficiência no combate às tensões atuantes.

9 Referências Bibliográficas

AGOPYAN, V. Materiais reforçados com fibras para a construção civil nos países em desenvolvimento: o uso das fibras vegetais. 204 p. Tese (Livre-Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 440.2R-02. Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures, 2003.

ANSYS 11.0. Computational Applications and System Integration Inc, 2009.

BEBER, A.J. Comportamento estrutural de vigas de concreto armado reforçadas com compósito de fibra de carbono. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado, 2003.

CUNHA, J. Materiais Compostos. Apostila. Uberlândia: UFU, 2006.

GRAM, H.E. Durability of natural fibres in concrete. Stockholm, 1983.

HOLLAWAY, L.C.; HEAD, P.R. Advanced polymer composites and polymers in the civil infrastructure. Oxford: Elsevier, 2001.

JONES, R.M. Mechanics of composite materials. Washington: Mcgraw-Hill Kogakusha, 1975.

MACHADO, A.P. Reforço de estruturas de concreto armado com fibras de carbono. São Paulo: Pini, 2002.

MARINELLI, A.L. MONTEIRO M.R., AMBRÓSIO J.D., BRANCIFORTI M.C., KOBAYASHI M., NOBRE A.D. Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: Uma Contribuição para a Sustentabilidade Amazônica. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 18, nº 2, p. 92-99, 2008.

MOSALLAM, A.S. Polymer composites: architectural and civil construction materials for the 21st century. Anais da Conferência Internacional de Compósitos na Arquitetura e Construção Civil - Arquimacom 2002, São Paulo, 2002.

MOTTA, L.A.C.; JOHN, V.M.; AGOPYAN, V. Estudo das propriedades de fibras poliméricas e vegetais para reforço de matrizes de cimento. In Conferência Brasileira de Materiais e Tecnologias Não-Convencionais: Habitações e Infra-Estrutura de Interesse Social - Brasil NOCMAT 2004. Publicado em CD-ROM. São Paulo, Brasil, 2004.

MOTTA, L.A.C.; SANTOS, A.C; CUNHA, J. Avaliação de polímeros reforçados com fibras vegetais para fins de recuperação e reforço estrutural, 2009.

NETO, F.L.; PARDINI, L.C. Compósitos estruturais: ciência e tecnologia. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

SAVASTANO JÚNIOR, H.; WARDEN, P. G.; COUTTS, R. S. P. Brazilian waste fibres as reinforcement for cement-based composites. *Cement & Concrete Composites*, v. 22, p. 379-384, 2000.

SWAMY, R.N. Vegetable fibre reinforced cement composites - a false dream or a potencial reality? In: *International Symposium on Vegetable Plants and their Fibres as Buildings Materials*, 2, Salvador. Proceedings. London, Chapman and Hall, p.3-8, (Rilem Proceedings, 7), 1990.

WABO[®]MBrace. Composite Strengthening System Design Guide, 2002.