

Análise numérica de vigas de CRFA com base na ABNT NBR 16935 (2021)

VINICIUS C. CORREIA - MEST. - <https://orcid.org/0000-0002-2291-9013> (viniciusccorreia@gmail.com);
 ALINE DA SILVA R. BARBOZA - DRA. - <https://orcid.org/0000-0001-6296-927X> | UFAL

RESUMO

AS FIBRAS SÃO CONHECIDAS POR MELHORAREM O DESEMPENHO DO CONCRETO NO COMPORTAMENTO PÓS-FISSURAÇÃO, PARTICULARMENTE EM TERMOS DE PROPRIEDADES MECÂNICAS, COMO RESISTÊNCIA À TRAÇÃO, CAPACIDADE À FLEXÃO E TENACIDADE. OS PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA RESIDUAL À TRAÇÃO NA FLEXÃO (f_{R1} , f_{R2} , f_{R3} E f_{R4}) E O LIMITE DE PROPORCIONALIDADE (f_L) SÃO A BASE DA CARACTERIZAÇÃO E ESPECIFICAÇÃO DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS. NESSE CONTEXTO, ESTE TRABALHO OBJETIVA APRESENTAR UMA ANÁLISE NUMÉRICA VIA MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS DE VIGAS DE CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO (CRFA) A PARTIR DE EQUAÇÕES PROPOSTAS NA LITERATURA PARA PREVISÃO DAS RESISTÊNCIAS RESIDUAIS À TRAÇÃO NA FLEXÃO. A REPRESENTAÇÃO DO CRFA É FEITA POR MEIO DO MODELO DE DANO PLÁSTICO *CONCRETE DAMAGED PLASTICITY* (CDP), UM MODELO QUE É CAPAZ DE REPRODUZIR O COMPORTAMENTO NÃO LINEAR DO COMPÓSITO. DE MODO GERAL, OS RESULTADOS NUMÉRICOS TÊM BOA CORRELAÇÃO COM RESULTADOS EXPERIMENTAIS, VALIDANDO, DESTA FORMA, A MODELAGEM DO CRFA REALIZADA NESTE TRABALHO.

PALAVRAS-CHAVE: CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO, PREVISÃO DAS RESISTÊNCIAS RESIDU-

AS À FLEXÃO, MODELAGEM NUMÉRICA, MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS.

1. INTRODUÇÃO

O concreto apresenta como vantagens a durabilidade, facilidade e rapidez de execução, e alta resistência a esforços de compressão, porém com baixa resistência à tração e baixa ductilidade.

Nesse contexto, o concreto reforçado com fibras (CRF) tem se mostrado uma boa solução. A adição aleatória de fibras curtas ao concreto propicia um comportamento dúctil devido à maior capacidade de absorção de energia proporcionada pelas fibras.

A tendência de crescimento do uso de fibras como material estrutural culminou no surgimento de diversas normas internacionais com recomendações acerca do projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras, como o *fib Model Code* 2010 (2013). No Brasil, a primeira norma técnica relacionada ao projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras foi publicada em 2021. Diante disso, é fundamental que os pesquisadores e a indústria fomentem estudos acerca deste compósito, de forma a dominá-lo e aprimorá-lo.

Este trabalho objetiva apresentar uma

análise numérica via método dos elementos finitos de vigas de concreto reforçado com fibras de aço (CRFA) a partir de equações propostas na literatura para previsão das resistências residuais à tração na flexão. O uso de modelos analíticos para a previsão desses parâmetros

facilita o processo de dimensionamento das estruturas de CRF, uma vez que a realização de ensaios experimentais demanda custo e tempo de execução.

2. PROJETO DE ESTRUTURAS DE CRF DE ACORDO COM A NBR 16935 (2021)

Para determinação dos parâmetros de dimensionamento de estruturas de CRF, a ABNT NBR 16935 (2021) estabelece o ensaio de flexão de vigas, disposto na ABNT NBR 16940 (2021). Determinam-se, então, as resistências à tração indiretas (resistência à tração na flexão) do CRF (f_L , f_{R1} , f_{R2} , f_{R3} e f_{R4}). A curva de força *versus* o CMOD (medida da abertura da face inferior do entalhe) é apresentada na Figura 1.

Dois modelos constitutivos simplificados podem ser usados para representar o comportamento pós-fissuração do CRF tracionado: (a) rígido-plástico e (b) linear (Figura 2). O f_{Fts} representa a resistência à tração direta de serviço do CRF e f_{Ftu} representa a resistência à tração direta última do CRF.

O modelo rígido-plástico utiliza como valor de referência único, f_{Ftu} , o valor baseado no comportamento último dado pela Equação 1.

$$[1] \quad f_{Ftu} = \frac{f_{R3}}{3}$$

O modelo linear utiliza dois valores de referência, obtidos por meio das Equações 2 e 3.

$$[2] \quad f_{Fts} = 0,45 f_{R1}$$

$$[3] \quad f_{Ftu} = f_{Fts} - \frac{w_u}{CMOD_3} \\ (f_{Fts} - 0,5f_{R3} + 0,2f_{R1}) \geq 0$$

Em que:

f_{R1} = resistência residual à tração na flexão do

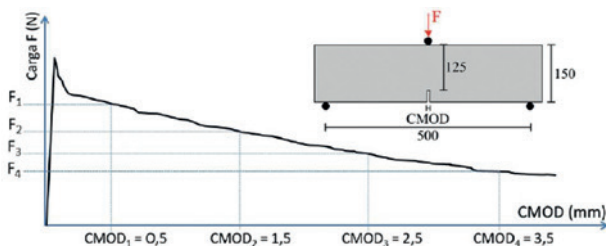


FIGURA 1

DIAGRAMA TÍPICO DE CARGAS *VERSUS* CMOD, IDENTIFICANDO AS CARGAS RESIDUAIS

FONTE: ADAPTADO DA ABNT NBR 16940 (2021)

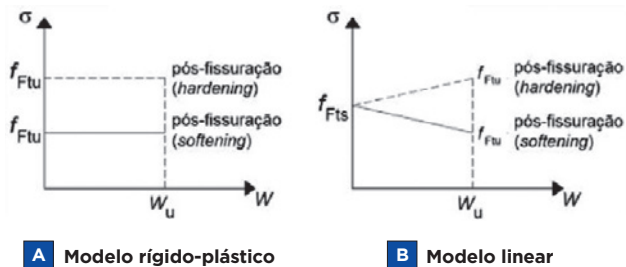


FIGURA 2
MODELOS CONSTITUTIVOS DE PÓS-FISSURAÇÃO DO CRF TRACIONADO
FONTE: ABNT NBR 16935 (2021)

CRF correspondente ao $CMOD_1 = 0,5$ mm; f_{R3} = resistência residual à tração na flexão do CRF correspondente ao $CMOD_3 = 2,5$ mm; w_u = abertura de fissura última para o valor de CMOD considerada no projeto, expressa em milímetros (mm).

A equação para obtenção de f_{Ftu} com $w_u \neq CMOD_3$ é uma reta, definida no intervalo das abscissas entre $CMOD_1$ e $CMOD_3$, como mostra a Figura 3. No modelo linear, os valores-limite de CMOD de f_{Ftu} e f_{Fts} são, respectivamente, 2,5 mm e 1,5 mm.

Conforme visto na Figura 3, a lei constitutiva linear pós-fissuração do CRF é representada por um diagrama tensão versus abertura de fissuras. De acordo com o *fib Model Code* 2010 (2013), ao considerar materiais com amolecimento, a definição do modelo constitutivo tensão versus deformação é baseada na identificação da largura da fissura (w) e no comprimento característico estrutural do elemento (l_{cs}). Assim, a deformação pode ser determinada pela Equação 4:

$$[4] \quad \varepsilon = \frac{w}{l_{cs}}$$

A lei constitutiva linear pós-fissuração do CRF indicada pela ABNT NBR 16935 (2021) não contempla os casos em que a resistência do concreto à tração direta (f_{ct}) é maior que a resistência à tração direta de serviço (f_{Fts}). Para estes casos, o *fib Model Code* 2010 (2013) indica o diagrama tensão-deformação apresentado na Figura 4.

3. ESTRATÉGIA DE MODELAGEM NUMÉRICA

O modelo numérico foi desenvolvido no pacote de elementos finitos ABA-

QUS. Foi utilizado o modelo de Dano Contínuo disponível no ABAQUS, o *Concrete Damaged Plasticity* (CDP). O CDP é um modelo baseado na plasticidade e na mecânica do dano para computar a perda de rigidez elástica do material, a qual é caracterizada por duas variáveis de dano, d_t (dano na

tração) e d_c (dano na compressão).

Além dos parâmetros que identificam a relação tensão-deformação do CRFA, são necessários cinco outros parâmetros para a representação dos efeitos do estado multiaxial de tensões no CDP. O modelo inclui o ângulo de dilatação (ψ), a excentricidade do potencial de fluxo (e), a razão entre as resistências biaxial e uniaxial à compressão (σ_{b0}/σ_{c0}), a invariante de tensões (razão entre a distância do eixo hidrostático ao meridiano de compressão e de tração no plano desviador - K_c) e o parâmetro de viscosidade (μ).

A excentricidade do potencial de fluxo e o parâmetro de viscosidade foram adotados com base na literatura. Os outros parâmetros foram obtidos a partir das equações propostas por Chi *et al.* (2017). Seus valores estão apresentados na Tabela 2.

3.1 Elementos finitos utilizados

As vigas de CRFA foram modeladas com o elemento C3D8R (interpolação linear). O elemento sólido quadrangular é um elemento contínuo (C), tridimensional (3D), com oito nós (8) e com integração reduzida (R). O elemento apresenta 3 graus

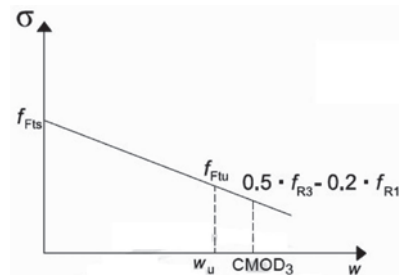


FIGURA 3
LEI CONSTITUTIVA LINEAR PÓS-FISSURAÇÃO DO CRF
FONTE: ABNT NBR 16935 (2021)

de liberdade por nó (translações em x, y e z), sendo capaz de modelar geometria complexa e permitir análises não lineares envolvendo contato, plasticidade e grandes deformações.

As armaduras longitudinais e transversais foram modeladas utilizando elementos de treliça, T3D2, com 2 nós, apresentando 3 graus de liberdade por nó (translações em x, y e z). A Figura 5 apresenta os elementos tipo C3D8R e T3D2.

3.2 Modelos constitutivos empregados

Para representar o CRFA sob compressão uniaxial, foi utilizado o modelo constitutivo para o concreto simples proposto pela ABNT NBR 6118 (2014), não considerando possíveis efeitos favoráveis da incorporação das fibras. A Figura 6 apresenta o diagrama tensão-deformação utilizado.

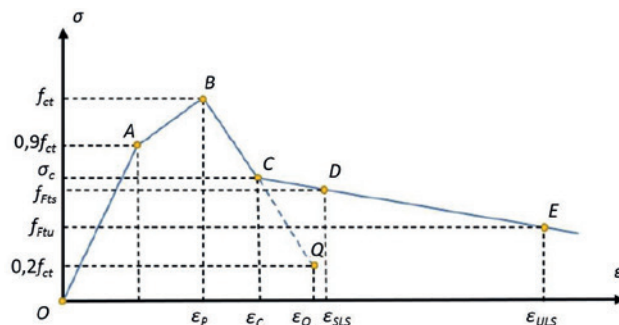


FIGURA 4
DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO PARA O CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS TRACIONADO PARA OS CASOS EM QUE $f_{ct} > f_{Fts}$
FONTE: ADAPTADO DO *fib Model Code* 2010 (2013)

Para representar o comportamento pós-fissuração do CRFA tracionado, foi utilizado o modelo constitutivo linear descrito pela ABNT NBR 16935 (2021) e já apresentado na seção 2. Nos casos em que $f_{ct} > f_{Fts}$, utilizou-se o modelo proposto pelo *fib Model Code 2010* (2013).

Como neste trabalho não foram realizadas análises experimentais, as resistências à tração na flexão do CRFA foram adotadas conforme Venkateshwaran, Tan e Li (2018). Os autores avaliaram os resultados de ensaios de flexão de três pontos em 69 vigas entalhadas reforçadas com fibras de aço. As relações propostas pelos autores para determinação de f_{R1} e f_{R3} são apresentadas nas equações de 5 a 8.

$$[5] \quad f_{R,1} = \psi \left[\frac{0,320(f_{cm})^{0,5} + 6,214(RI) + 0,034N^2}{6,214(RI) + 0,034N^2} \right]$$

$$[6] \quad f_{R,3} = \psi \left[\frac{0,300(f_{cm})^{0,5} + 7,629(RI) + 0,373N^2}{7,629(RI) + 0,373N^2} \right]$$

$$[7] \quad \psi = (1 + l_f/100)^{0,5}$$

$$[8] \quad RI = f \frac{l_f}{d_f}$$

Em que:

f_{cm} = resistência à compressão uniaxial do concreto simples;

f = porcentagem volumétrica de fibra;

l_f = comprimento da fibra;

d_f = diâmetro da fibra;

N = número de ancoragens nas extremidades das fibras.

Para descrever o comportamento das armaduras longitudinais e transversais, foi considerado um aço com modelo elasto-plástico perfeito com módulo de elasticidade único, à tração e à compressão. Foi admitido para o aço um módulo de elasticidade (E_s) igual a 210 GPa, coeficiente de Poisson igual a 0,3 e deformação máxima igual a 10%. A resistência característica do aço à tração (f_{yk}) é igual a 500 MPa para o aço CA-50 e 600 MPa para o aço CA-60.

TABELA 1

PARÂMETROS ADOTADOS PARA A SIMULAÇÃO NUMÉRICA

Concreto				
Resistência média à compressão (f_{cm})	Resistência à tração (f_{ct})	Módulo de Elasticidade (E_{ci})	Coeficiente de Poisson (ν)	
43,6 MPa	1,8 MPa	36976,97 MPa	0,2	
Armadura convencional				
Módulo de Elasticidade (E_s)	Resistência ao escoamento f_y ($\phi = 6$ mm)	Resistência ao escoamento f_y ($\phi = 10$ mm)		
210 GPa	469,4 MPa	562,3 MPa		
Fibra de aço				
Forma	Comprimento (l_f)	Diâmetro (d_f)	Fator de forma (l_f/d_f)	Teor de fibra
Fibra com gancho	50 mm	1 mm	50	25 kg/m ³ (0,32%) e 50 kg/m ³ (0,64%)

FONTE: CONFORTI et al. (2018)

Fonte: CONFORTI et al. (2018)

forme modelagem numérica realizada. Os dados utilizados na análise numérica estão apresentados na Tabela 1.

Além do comparativo com os resultados obtidos experimentalmente por Conforti et al. (2018), também foi feita a comparação com os resultados da análise numérica de Trindade (2018).

4. VALIDAÇÃO NUMÉRICA

Nesta seção são utilizadas as vigas de CRFA testadas experimentalmente por Conforti et al. (2018) para um estudo comparativo e de validação das previsões das resistências residuais, do modelo *Concrete Damaged Plasticity* e do comportamento mecânico do CRFA, con-

4.1 Descrição das vigas

A Figura 7 ilustra a geometria e as armaduras convencionais da viga. A modelagem

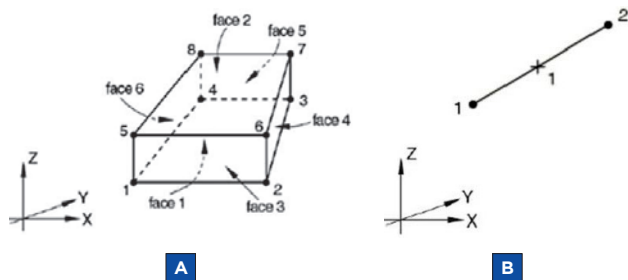


FIGURA 5

ELEMENTO TIPO (A) C3D8R E (B) T3D2

FONTE: HIBBIT, KARLSSON E SORENSEN (2012)

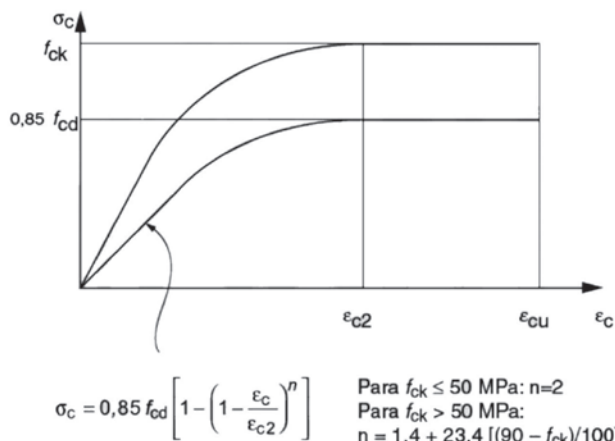


FIGURA 6

DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO IDEALIZADO DO CONCRETO COMPRIMIDO

FONTE: ABNT NBR 6118 (2014)

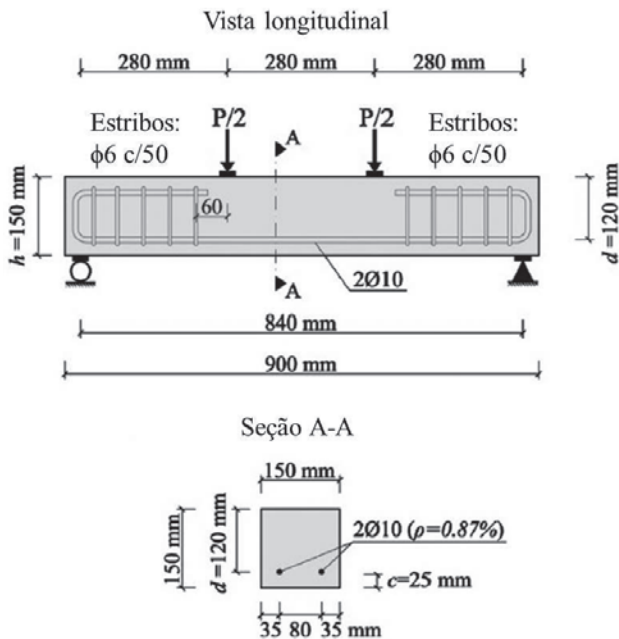


FIGURA 7
GEOMETRIA E DETALHE DAS ARMADURAS DA VIGA
FONTE: ADAPTADO DE CONFORTI *et al.* (2018)

da viga e o esquema do ensaio no ABAQUS são apresentados na Figura 8.

4.2 Obtenção dos parâmetros CDP e das resistências residuais à tração

Os parâmetros CDP foram calculados conforme discutido no item 3 e seus valores estão apresentados na Tabela 2.

Para a determinação do modelo constitutivo do CRFA tracionado, foi necessária a previsão das resistências residuais à tração na flexão f_{R1} e f_{R3} , que foram obtidas por meio das Equações 5 e 6, respectivamente.

A Tabela 3 apresenta um comparativo entre os valores previstos e os obtidos experimentalmente por Conforti *et al.* (2018).

Observa-se que a previsão de f_{R1} foi a que mais se aproximou dos resultados experimentais e que as menores diferenças ocorreram para o maior teor de fibra

4.3 Análise comparativa do modelo numérico x experimental

O estudo comparativo foi dividido em duas etapas. No primeiro estudo foram uti-

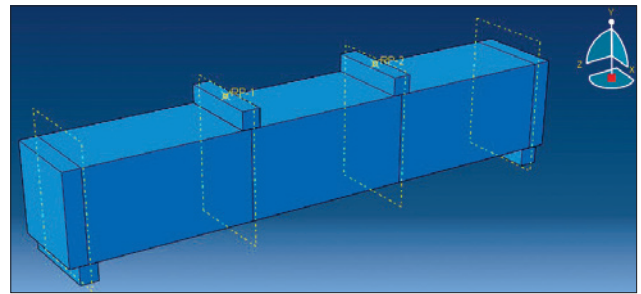


FIGURA 8
MODELAGEM DA VIGA E ESQUEMA DO ENSAIO NO ABAQUS

lizados os valores de f_{R1} e f_{R3} encontrados por Conforti *et al.* (2018), enquanto que no segundo estudo utilizaram-se os valores de f_{R1} e f_{R3} previstos. Em relação aos comprimentos característicos (l_{cs}), foram realizadas duas análises, uma assumindo $l_{cs} = l_f = 50$ mm e outra considerando $l_{cs} = h_{viga} = 150$ mm.

Para atingir a precisão desejada dos resultados numéricos, realizou-se o estudo de convergência de malha de elementos finitos, avaliando os diagramas força-deslocamento de diferentes níveis de

refinamento, considerando tamanhos aproximados das malhas iguais a 0,02 m, 0,03 m, 0,04 m e 0,05 m.

As Figuras 9, 10, 11 e 12 ilustram, respectivamente, os resultados das análises referentes ao 1º estudo para $l_{cs} = 50$ mm e $V_f = 25$ kg/m³, $l_{cs} = 50$ mm e $V_f = 50$ kg/m³, $l_{cs} = 150$ mm e $V_f = 25$ kg/m³, e $l_{cs} = 150$ mm e $V_f = 50$ kg/m³.

As Figuras 13, 14, 15 e 16 ilustram, respectivamente, os resultados das análises referentes ao 2º estudo para $l_{cs} = 50$ mm e $V_f = 25$ kg/m³, $l_{cs} = 50$ mm e $V_f = 50$ kg/m³, $l_{cs} = 150$ mm e $V_f = 25$ kg/m³, e $l_{cs} = 150$ mm e $V_f = 50$ kg/m³.

Os modelos numéricos foram capazes de prever com boa precisão o comportamento experimental. Porém, em todas as configurações, os resultados numéricos apresentam uma rigidez maior que o experimental no ramo pré-pico, fato provavelmente atribuído à definição do módulo de elasticidade do CRFA. Observa-se em todas

TABELA 2
PARÂMETROS CDP ADOTADOS PARA A SIMULAÇÃO NUMÉRICA

Parâmetro	Teor de fibra	
	25 kg/m ³	50 kg/m ³
Ângulo de dilatação	32,11° (Chi <i>et al.</i> , 2017)	26,98° (Chi <i>et al.</i> , 2017)
Excentricidade	0,1	0,1
f_{b0}/f_{c0}	1,23 (Chi <i>et al.</i> , 2017)	1,30 (Chi <i>et al.</i> , 2017)
k	0,669 (Chi <i>et al.</i> , 2017)	0,672 (Chi <i>et al.</i> , 2017)
Parâmetro de viscosidade	0,0001	0,0001

TABELA 3
VALORES DE f_{R1} E f_{R3} PREVISTOS E OBTIDOS EXPERIMENTALMENTE

Teor de fibra (kg/m ³)	f_{R1} (MPa)			f_{R3} (MPa)		
	Conforti <i>et al.</i> (2018)	Valor previsto	Δ (%)	Conforti <i>et al.</i> (2018)	Valor previsto	Δ (%)
25	3,22	3,84	19,25	2,90	4,37	50,69
50	5,08	5,05	-0,59	4,53	5,86	29,36

as malhas um comportamento semelhante ao modelo numérico de Trindade (2018), principalmente para as malhas mais refinadas.

Ao comparar as curvas força-deslocamento para cada um dos comprimentos característicos, conclui-se que o aumen-

to de l_{cs} de 50 mm para 150 mm provocou uma redução de força. O aumento do comprimento característico reduz a

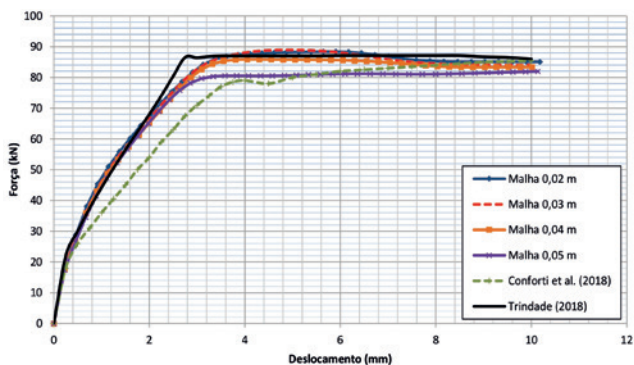


FIGURA 9
CONVERGÊNCIA DE MALHA: 1º ESTUDO PARA $l_{cs} = 50$ MM
E $V_f = 25$ KG/M³

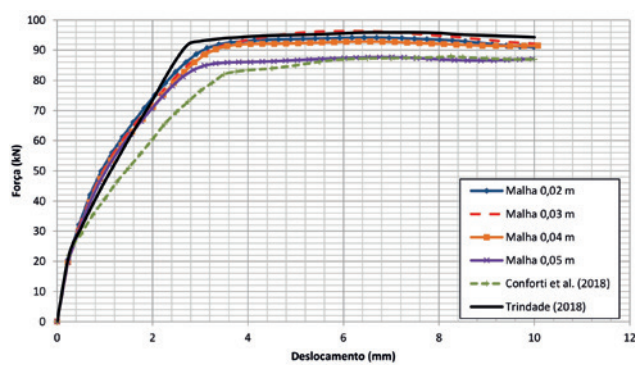


FIGURA 10
CONVERGÊNCIA DE MALHA: 1º ESTUDO PARA $l_{cs} = 50$ MM
E $V_f = 50$ KG/M³

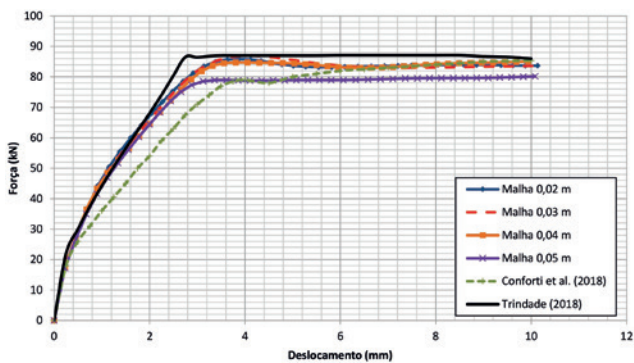


FIGURA 11
CONVERGÊNCIA DE MALHA: 1º ESTUDO PARA $l_{cs} = 150$ MM
E $V_f = 25$ KG/M³

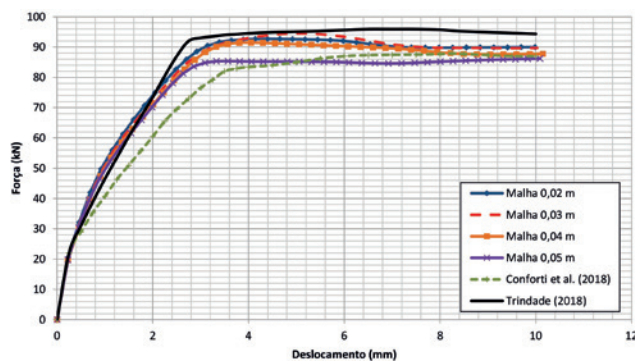


FIGURA 12
CONVERGÊNCIA DE MALHA: 1º ESTUDO PARA $l_{cs} = 150$ MM
E $V_f = 50$ KG/M³

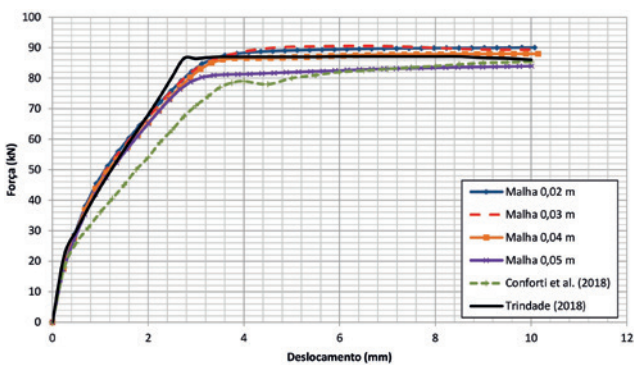


FIGURA 13
CONVERGÊNCIA DE MALHA: 2º ESTUDO PARA $l_{cs} = 50$ MM
E $V_f = 25$ KG/M³

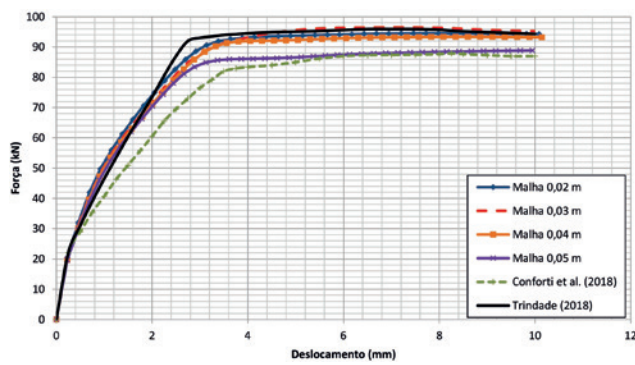


FIGURA 14
CONVERGÊNCIA DE MALHA: 2º ESTUDO PARA $l_{cs} = 50$ MM
E $V_f = 50$ KG/M³

TABELA 4

COMPARATIVO ENTRE AS FORÇAS MÁXIMAS RESISTIDAS PELA VIGA

Teor de fibra (kg/m ³)	Estudo analisado	P _{máx} (kN)			
		Conforti et al. (2018)	Trindade (2018)	Numérico	
				I _{cs} = 50 mm	I _{cs} = 150 mm
25	1º estudo	85,40	87,10	81,87	80,17
	2º estudo			84	83,66
50	1º estudo	87,90	95,90	87,72	86,2
	2º estudo			88,85	88,11

deformação máxima e, assim, reduz a capacidade resistente no regime fissurado.

Essa redução de força pode ser vista na Tabela 4, onde é feito um comparativo entre as forças máximas obtidas por Conforti et al. (2018), Trindade (2018) e pelo modelo numérico com malha de 0,05 m, para os teores de fibra de 25 kg/m³ e 50 kg/m³, I_{cs} = 50 mm e I_{cs} = 150 mm, para o 1º e 2º estudo.

Os resultados mostrados na Tabela 4 e nas Figuras 17 e 18 também demonstram um aumento da força máxima resistida pela viga em função do aumento da quantidade de fibras adicionadas ao concreto. Destaca-se também que com o aumento da quantidade de fibras, houve um aumento da rigidez no ramo pré-pico. Esse aumento ocorre, pois as fibras retardam a propagação das fissuras, aumentando a resistência, a ductilidade e a rigidez do CRFA.

Por fim, nota-se que o 2º estudo apresentou forças maiores que o 1º estudo. Esse aumento pode ser justificado pelo fato de as resistências residuais previstas terem sido maiores que as obtidas experimentalmente. As Figuras 17 e 18 ilustram as diferenças entre as curvas força-deslocamento do 1º e 2º estudo para comprimentos característicos iguais a 50 e 150 mm, respectivamente, considerando também os teores de fibras de 25 e 50 kg/m³, e malha de 0,05 m.

Para comparar o 1º e o 2º estudo, observa-se uma diferença maior para teores de fibras de 25 kg/m³, pois para este teor ocorreram as maiores diferenças entre as resistências residuais previstas e as obtidas experimentalmente.

5. CONCLUSÕES

Neste artigo foi apresentada uma análise numérica via método dos elementos finitos de vigas de concreto reforçado com fibras de aço (CRFA) a partir de equações

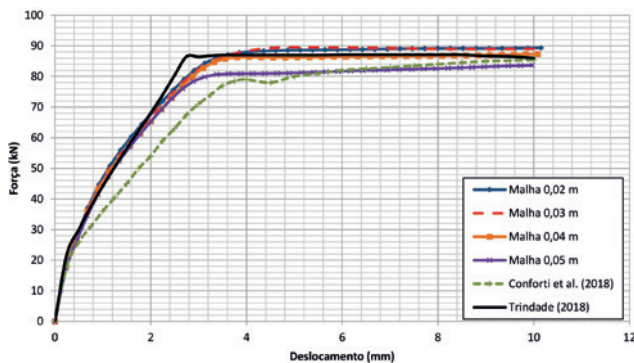


FIGURA 15

CONVERGÊNCIA DE MALHA: 2º ESTUDO PARA I_{cs} = 150 MM E V_f = 25

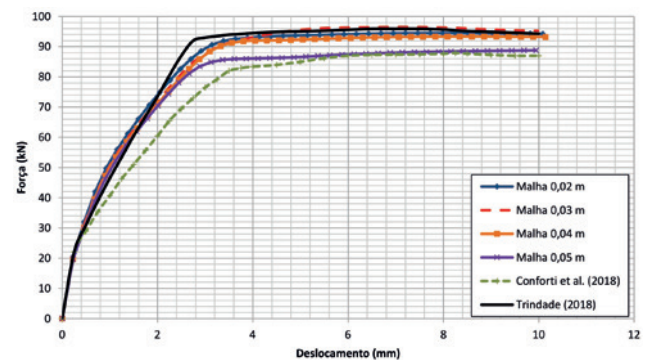


FIGURA 16

CONVERGÊNCIA DE MALHA: 2º ESTUDO PARA I_{cs} = 150 MM E V_f = 50 KG/M³

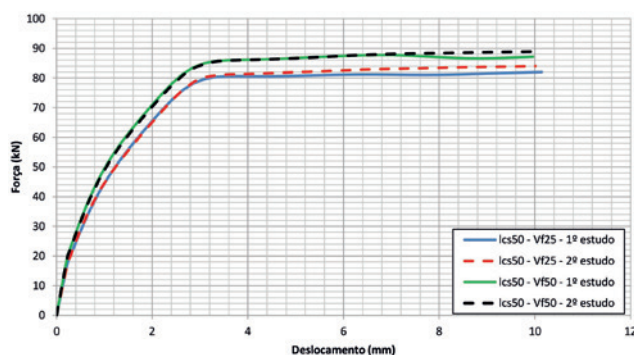


FIGURA 17

CURVA FORÇA-DESLOCAMENTO: COMPARATIVO ENTRE O 1º E 2º ESTUDO PARA I_{cs} = 50 MM

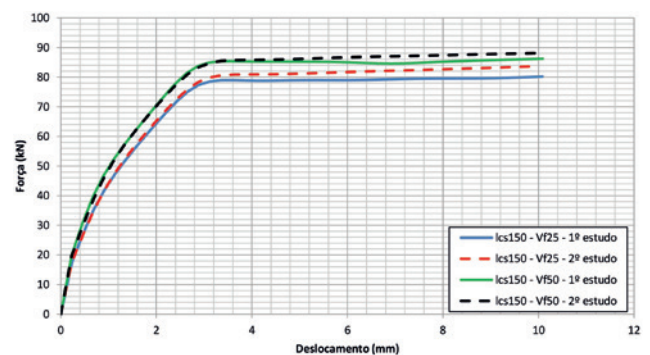


FIGURA 18

CURVA FORÇA-DESLOCAMENTO: COMPARATIVO ENTRE O 1º E 2º ESTUDO PARA I_{cs} = 150 MM

propostas na literatura para previsão das resistências residuais à flexão.

A partir das análises realizadas, pode-se afirmar que os modelos numéricos com as resistências residuais previstas por meio das equações propostas por Venkateshwaran, Tan e Li (2018) foram capazes de representar o comportamento do CRFA.

Os modelos numéricos com o uso do CDP foram capazes de prever com boa precisão o comportamento experimental, indicando que o modelo é adequado e possui potencial para simular o comportamento mecânico de vigas de CRFA.

Para representação do comportamento pós-fissuração do CRF tracionado, foi

utilizado o modelo constitutivo linear descrito pela ABNT NBR 16935 (2021). No entanto, a norma brasileira não menciona os casos em que $f_{ct} > f_{Fts}$, que podem ocorrer, por exemplo, em concretos com baixos teores de fibras. Portanto, nestes casos foi utilizado o modelo proposto pelo *fib Model Code* 2010 (2013). ☹

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16935: Projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16940: Concreto reforçado com fibras – Determinação das resistências à tração na flexão (limite de proporcionalidade e resistências residuais) – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- [4] CHI, Y.; YU, M.; HUANG, L.; XU, L. Finite element modeling of steel-polypropylene hybrid fiber reinforced concrete using modified concrete damaged plasticity. *Engineering Structures*, p. 23-35, 2017.
- [5] CONFORTI, A.; ZERBINO, R.; PLIZZARI, G. A. Influence of steel, glass and polymer fibers on the cracking behavior of reinforced concrete beams under flexure. *Structural Concrete*, p. 1-11, 2018.
- [6] HIBBIT, H.; KARLSSON, B.; SORENSEN, E. *ABAQUS/CAE User's Manual*. USA, 6.12, 2012.
- [7] INTERNATIONAL FEDERATION FOR STRUCTURAL CONCRETE. FIB MODEL CODE 2010: Fib Model Code for Concrete Structures 2010. Switzerland, 436 p, 2013.
- [8] TRINDADE, Y. T. Numerical modeling of the post-cracking behavior of SFRC and its application on design of beams according to fib Model Code 2010. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2018.
- [9] VENKATESHWARAN, A.; TAN, K. H.; LI, Y. Residual flexural strengths of steel fiber reinforced concrete with multiple hooked-end fibers. *Structural Concrete*, Wiley Online Library, v. 19, n. 2, p. 352-365, 2018.

PRÁTICA RECOMENDADA IBRACON/ABECE

Macrofibras poliméricas para concreto destinado a aplicações estruturais: definições, especificações e conformidade

Elaborada pelo CT 303 – Comitê Técnico IBRACON/ABECE sobre *Uso de Materiais não Convencionais para Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras*, a Prática Recomendada especifica os requisitos técnicos das macrofibras poliméricas para uso em concreto estrutural.

A Prática Recomendada abrange macrofibras para uso em todos os tipos de concreto, incluindo concreto projetado, para pavimentos, pré-moldados, moldados no local e concretos de reparo.

AQUISIÇÃO

www.ibracon.org.br (Loja Virtual)

DADOS TÉCNICOS

ISBN: 978-85-98576-29-9

Edição: 1ª edição

Formato: eletrônico

Páginas: 37

Acabamento: digital

Ano da publicação: 2017

Coordenador: Eng. Marco Antonio Carnio

PRÁTICA RECOMENDADA IBRACON/ABECE

MACROFIBRAS POLIMÉRICAS PARA CONCRETO
DESTINADO A APLICAÇÕES ESTRUTURAIS



COMITÊ 303: Materiais não convencionais para Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras

GT4: Caracterização de materiais não convencionais e fibras para reforço estrutural

Coordenador: Eng. Marco Antonio Carnio
Representante CTA: Sofia Maria Carrato Dinis

Patrocínio

