

Análise comparativa da capacidade resistente de vigas compostas por concreto reforçado com fibras

MATEUS NUNES BARBOSA VILELA - ENG. - <https://orcid.org/0009-0008-3036-2463> - (mateus.vilela@estudante.ufscar.br) ;

RENATO GRANERO - ENG. ;

MARGOT FABIANA PEREIRA - PROF.^a - <https://orcid.org/0000-0001-6432-3931> – UFSCar

ARTHUR ÁLAX DE ARAÚJO ALBUQUERQUE - PROF. - <https://orcid.org/0009-0008-8622-6962> – UFG

RESUMO

O CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO (CRFA) MELHORA O DESEMPENHO DO CONCRETO, ESPECIALMENTE NO COMPORTAMENTO PÓS-FISSURAÇÃO, AO ATUAR COMO PONTE DE TRANSFERÊNCIA DE TENSÕES. CONTUDO, A DETERMINAÇÃO DE SUA CAPACIDADE RESISTENTE É UM DESAFIO, POIS DIFERENTES NORMATIVAS GERAM RESULTADOS DIVERGENTES. ESTE TRABALHO COMPARA A CAPACIDADE RESISTENTE DE VIGAS DE CRFA USANDO QUATRO MODELOS NORMATIVOS. UTILIZARAM-SE DADOS EXPERIMENTAIS DA LITERATURA (VIGA EM FLEXÃO DE QUATRO PONTOS), COMPARANDO OS MODELOS ACI 544.4R-88, MC2010 E OS MODELOS LINEAR E RÍGIDO-PLÁSTICO (ABNT NBR 16935:2021). OS RESULTADOS INDICARAM QUE OS MODELOS ACI 544.4R-88, MC2010 E RÍGIDO-PLÁSTICO (NBR 16935:2021) SUBESTIMARAM A CAPACIDADE RESISTENTE, ENQUANTO O MODELO

LINEAR (NBR 16935:2021) A SUPERESTIMOU. OBSERVOU-SE AINDA QUE OS MODELOS MC2010 E RÍGIDO-PLÁSTICO (NBR 16935:2021) FORAM SATISFATORIAMENTE PRÓXIMOS.

PALAVRAS-CHAVE: CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS, ACI 544.4R-88, MC2010, MODELOS LINEAR E RÍGIDO PLÁSTICO DA ABNT NBR 16935:2021.

1. INTRODUÇÃO

A baixa resistência à tração do concreto, uma de suas principais limitações, o torna suscetível à fissuração. A introdução de fibras de aço na massa cimentícia, resultando no Concreto Reforçado com Fibras de Aço (CRFA), é uma alternativa eficaz. A ABNT NBR 16935:2021 o define como um compósito com fibras descontínuas que atuam como reforço estrutural.

A adição de fibras melhora a resistência à tração e modifica o comportamento pós-fissuração. Elas agem como “pontes de transferência de tensões”, minimizando o comportamento frágil e melhorando as resistências à flexão, fadiga, impacto e tração (Barros, 2009; Góis, 2010).

Figueiredo (2011) ressalta que a adição de fibras, além de reforçar a matriz, eleva a produtividade executiva, pois pode eliminar a montagem de armaduras convencionais.

Apesar das qualidades do CRFA, o mercado nacional resiste à sua utilização, devido à recente normatização (ABNT NBR 16935:2021) e à carência de estudos aprofundados sobre o tema.

Neste contexto, o artigo compara a capacidade resistente de uma viga de CRFA (dados experimentais) aplicando quatro modelos normativos: ACI 544.4R-88, MC2010 e os modelos Linear e Rígido-Plástico (ABNT NBR 16935:2021), discutindo as diferenças entre as abordagens.

2. MODELOS DE CÁLCULO

O dimensionamento de vigas de CRFA baseia-se em diferentes modelos normativos, destacando-se o ACI 544.4R-88, o MC2010 (item 7.7) e a ABNT NBR 16935:2021. A seguir, descrevem-se os roteiros de cálculo preconizados por essas normas.

2.1 Modelo do ACI 544.4R-88

Este modelo baseia-se no diagrama de esforços de uma viga sob flexão, simplificado na Figura 1.

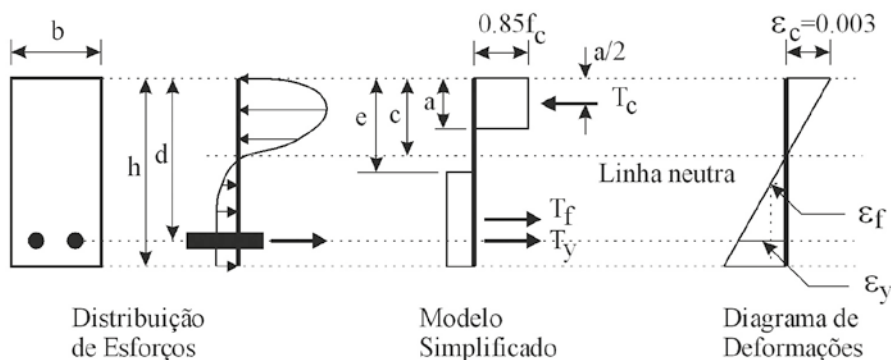


FIGURA 1

MODELO DO ACI 544.4R-88 DA DISTRIBUIÇÃO DE ESFORÇOS E DO DIAGRAMA DE DEFORMAÇÕES DE UMA VIGA SUBMETIDA A ESFORÇOS DE FLEXÃO. ADAPTADO DE ACI, 1988

FONTE: ACI, 1988

Neste modelo, a tensão de tração do concreto com fibras (σ_t) é definida de acordo com a equação (1). Sendo, λ_f o fator de forma das fibras; V_f o volume de fibras (%); η_t a eficiência da aderência das fibras, que depende de suas características e varia de 1,0 a 1,2.

$$[1] \quad \sigma_t = 0,00772 \cdot \lambda_f \cdot V_f \cdot \eta_t$$

A profundidade da linha neutra (c) é calculada em função da altura útil da viga (d) e da deformação nas barras de aço (ϵ_y), conforme mostra a equação (2), que é obtida a partir do diagrama de deformações da Figura 1. A deformação nas barras da armadura principal (ϵ_y) é calculada pela razão entre a tensão de escoamento do aço e o seu respectivo módulo de elasticidade.

$$[2] \quad c = \frac{0,003 \cdot d}{\epsilon_y + 0,003}$$

O valor da profundidade (e), calculada com a equação (3), é obtido em função da profundidade da linha neutra (c) e da deformação das fibras (ϵ_f), que, por sua vez, é determinada com a razão entre a tensão de tração nas fibras, quando estas sofrem o arrancamento, e o módulo de elasticidade das fibras.

$$[3] \quad e = (\epsilon_f + 0,003) \cdot \frac{c}{0,003}$$

Por fim, o momento resistido pela seção da viga (M_R) é calculado com a equação (4). Onde: A_s é a área total de aço; f_y é a tensão de escoamento do aço; e (a) é a altura do diagrama de tensões considerado retangular.

$$[4] \quad M_R = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) + \sigma_t \cdot b \cdot (h - e) \cdot \left(\frac{h + e - a}{2}\right)$$

2.2 Modelo do MC2010 item 7.7

Neste modelo, a capacidade resistente de uma seção transversal de CRF é baseada no equilíbrio de momento na seção. A profundidade da linha neutra é determinada a partir do equilíbrio das forças de tração e compressão e, conseqüentemente, encontra-se a capacidade resistente. As equações de (5) a (8) descrevem este procedimento.

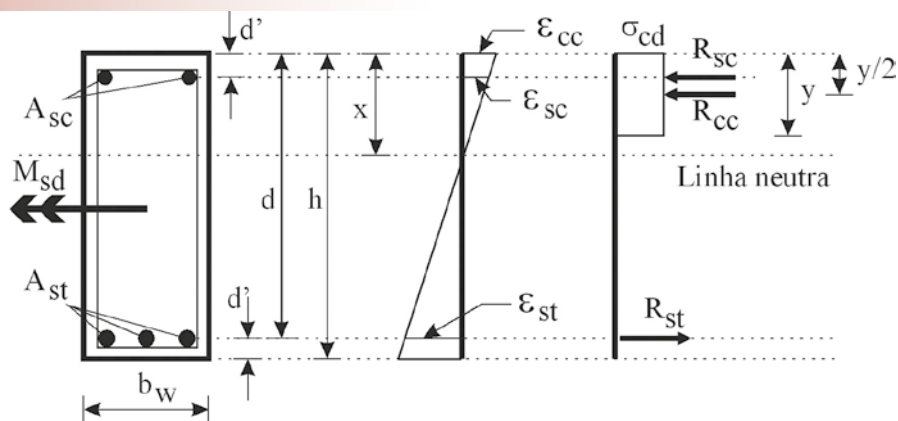


FIGURA 2

SEÇÃO TRANSVERSAL GENÉRICA

FONTE: DOS AUTORES, 2025

$$[5] \quad C_c = \alpha_2 \cdot f'_c \cdot \gamma \cdot d_n \cdot b$$

$$[6] \quad C_s = A_{sc} \cdot E_s \cdot \epsilon_{cu} \cdot \frac{d_n - d_{sc}}{d_n}$$

$$[7] \quad T_s = A_{st} \cdot f_s$$

$$[8] \quad T_f = (D - D_n) \cdot b \cdot f'_{1.5}$$

Onde: C_c representa a contribuição do concreto à compressão; C_s corresponde à parte absorvida pelo concreto reforçado com fibras (CRF); T_s é a fração suportada pelas barras de aço; T_f a porção associada às fibras metálicas. As dimensões da seção são indicadas por (b) e (D); (d_n ou D_n) é profundidade da linha neutra; o coeficiente (α_2) define a forma do bloco de tensões no concreto; (f'_c) a resistência característica à compressão; o fator (γ) introduz a redução aplicada aos esforços de compressão; as áreas de armadura em compressão e em tração são representadas por (A_{sc}) e (A_{st}), respectivamente; o módulo de elasticidade do aço é dado por (E_s); a deformação última do concreto comprimido é expressa por (ϵ_{cu}); a tensão atuante nas barras é designada por (f_s); ao passo que a resistência residual do compósito reforçado com fibras, associada à abertura de fissura de 1,5 mm, é indicada por ($f'_{1.5}$ ou $f_{R1.5}$).

O equilíbrio global é expresso pela equação (9).

$$[9] \quad C_c + C_s = T_s + T_f$$

O momento resistente último (M_{rd}), da equação (10), resulta do somatório das forças internas multiplicadas por seus braços de alavanca. A equação considera a parcela resistente à compressão do con-

creto (C_c), multiplicada pelo seu braço de alavanca (distância entre a resultante do bloco retangular e a armadura tracionada); a parcela da armadura comprimida (C_s), com braço definido pela diferença de posição entre a armadura de compressão e a tracionada; e a parcela de tração das fibras (T_f), multiplicada pela distância entre o centroide da região tracionada e a armadura tracionada.

$$[10] \quad M_{rd} = C_c(d - 0,5\lambda_0,001d_n) + C_s(d - d'') - T_f \left[\frac{0,001(h - d_n)}{2 - d'} \right]$$

Onde: (d) é a altura útil da seção, (d_n) a profundidade da linha neutra, (λ) o coeficiente do bloco de tensões, (d'') a posição da armadura comprimida e (d') a posição da armadura tracionada, com a coerência dimensional garantida pela conversão de milímetros em metros (0,001).

2.3 Modelo da ABNT NBR 16935:2021

O modelo da norma brasileira é dividido em dois: Modelo Rígido Plástico e Modelo Linear, cujo resumo dos equacionamentos são apresentados a seguir.

2.3.1 MODELO RÍGIDO PLÁSTICO

No modelo rígido plástico a profundidade da linha neutra é determinada através do equilíbrio da seção transversal, apresentada na Figura 2.

Onde: x é a profundidade da linha neutra; A_{st} é a área de aço tracionada; A_{sc} é a área de aço comprimida; d é a altura útil da seção; d' é a distância entre o CG da

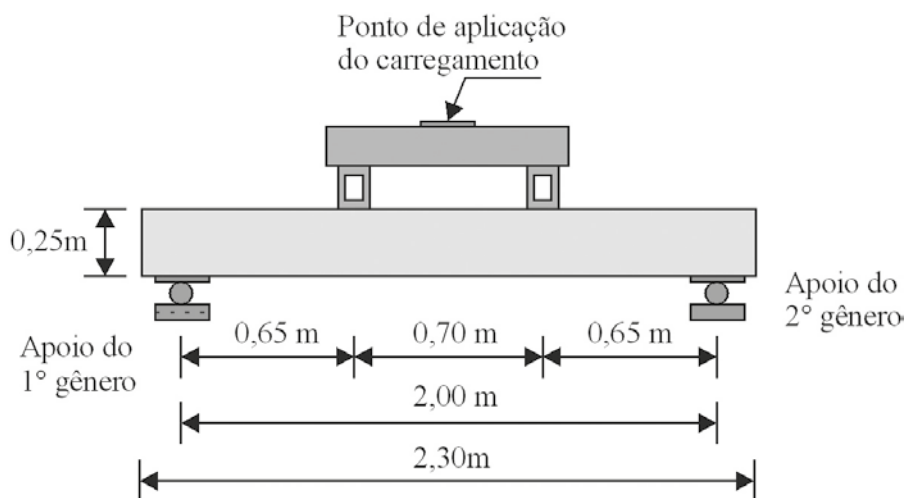


FIGURA 3

ENSAIO DE FLEXÃO EM QUATRO PONTOS

FONTE: ADAPTADO DE SILVA NETO, 2017

armadura longitudinal comprimida e a face mais próxima do elemento estrutural; M_{sd} é o momento fletor resistente de cálculo; b_w é a largura da viga; R_{cc} é a resultante no concreto comprimido; R_{st} é a resultante no aço tracionado; e h é a altura total da seção transversal.

O momento resistente da seção (M_R), equação (13), é dado pela soma do momento resistente da armadura longitudinal (M_A) e das fibras (M_u) que, por sua vez, são determinados através das equações (11) e (12). Sendo: f_{yk} resistência característica do aço; f_{ck} a resistência característica do concreto; b_w é a largura da viga; α_c igual a 0,85 para concretos com $f_{ck} \leq 50$ MPa; λ igual a 0,80 para concretos com $f_{ck} > 50$ MPa; f_{R3} representa a resistência residual à tração na flexão do CRFA correspondente ao $CMOD_3 = 2,5$ mm.

$$[11] \quad M_u = \frac{f_{R3} \cdot b_w \cdot h^2}{6}$$

$$[12] \quad M_A = \alpha_c \cdot \lambda \cdot \left(\frac{f_{ck}}{\gamma_c} \right) \cdot b_w \cdot x \cdot \left(d - \frac{\lambda \cdot x}{2} \right)$$

$$[13] \quad M_R = M_u + M_A$$

2.3.2 MODELO LINEAR

Diferentemente do modelo rígido-plástico, o modelo linear utiliza o equilíbrio da seção transversal que considera as parcelas resistentes à compressão e à tração localizadas acima e abaixo da linha neutra, respectivamente.

Com a equação (11) determina-se a profundidade da linha neutra e, conseqüentemente, define-se o domínio de deformação que a seção transversal se encontra. Para isso, utilizam-se também as equações (14)

e (15). Onde: ϵ_{su} é a deformação no aço; e ϵ_{cu} é a deformação no concreto.

$$[14] \quad \epsilon_{su} = \frac{d - x}{x} \cdot \epsilon_{cu}$$

$$[15] \quad \epsilon_{fu} = \frac{h - x}{x} \cdot \epsilon_{cu}$$

Determinam-se, então, mais dois fatores (w_u e f_{Ftuk}), usados para quantificar a contribuição residual das fibras na fase pós-fissuração do CRFA. O parâmetro w_u , a abertura efetiva de trinca, estimada da deformação última das fibras (limite 2,5 mm), e f_{Ftuk} é a resistência residual à tração ajustada por essa abertura. Estes parâmetros representam a degradação gradual da resistência das fibras com o aumento da trinca, e são descritos nas equações (16) e (17). Sabendo que $CMOD_3$ é igual a 2,5 mm; ϵ_{Fu} descreve a deformação última do CRFA; f_{R1} representa a resistência residual à tração na flexão do CRFA correspondente ao $CMDOD1 = 0,5$ mm.

$$[16] \quad w_u = \min \left\{ \frac{2,5 \text{ mm}}{\epsilon_{Fu} \cdot (h - x)} \right\}$$

$$[17] \quad f_{Ftuk} = 0,45 \cdot f_{R1} - \frac{w_u}{CMOD_3} \cdot (0,65 \cdot f_{R1} - 0,5 \cdot f_{R3})$$

Por fim, o momento resistente de cálculo (M_R) é determinado com a equação (20), que, por sua vez, é obtida se considerar o equilíbrio da seção transversal entre a força de compressão atuante (R_{cc}), dada pela equação (18), e a força de tração do concreto (R_{ct}), equação (19).

$$[18] \quad R_{cc} = \alpha_c \cdot \lambda \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot b_w \cdot x$$

$$[19] \quad R_{ct} = \frac{f_{Ftuk}}{\gamma_c} \cdot b_w \cdot (h - x)$$

$$[20] \quad M_R = R_{cc} \cdot \left(d - \frac{\lambda \cdot x}{2} \right) - R_{ct} \cdot \left[\left(\frac{h \cdot x}{2} \right) - d' \right]$$

TABELA 1

DADOS EXPERIMENTAIS DAS VIGAS ENSAIADAS POR SILVA NETO (2017)

Viga	Quantidade de armadura de flexão	Taxa de armadura de flexão (%)	Volume de fibras (%)
T1F000	4 ϕ 16 mm	1,287	0,00
T2F050	2 ϕ 16 mm	0,643	0,50
T3F075	2 ϕ 16 mm	0,643	0,75
T4F100	2 ϕ 16 mm	0,643	1,00

FONTE: SILVA NETO, 2017

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para as análises comparativas entre

TABELA 2

RESULTADOS DAS CARGAS RESISTIDAS POR CADA VIGA

Viga	Momento fletor resistente (kNm)				
	Valores experimentais	ACI 544.4R-88	MC2010	NBR 16935:2021 rígido-plástico	NBR 16935:2021 linear
T2F050	62,930	41,500	49,41	50,30	78,10
T3F075	62,780	43,100	50,28	51,37	81,80
T4F100	67,729	44,800	52,98	55,02	94,80

FONTE: DOS AUTORES, 2025

os quatro modelos já descritos, utilizaram-se os resultados experimentais de Silva Neto (2017) em ensaios de vigas submetidas à flexão em quatro pontos. A Figura 3 apresenta o esquema do ensaio, as dimensões das vigas e os pontos de aplicação da carga. A Tabela 1 mostra a quantidade e taxa da armadura de flexão e o volume de fibras das quatro vigas ensaiadas. Este trabalho discute apenas o momento resistente das vigas ensaiadas com os modelos já discutidos, calculados segundo as equações (4), (10), (13) e (20).

A Tabela 2 compara os momentos resistentes experimentais das três vigas com fibras (Silva Neto, 2017) com os calculados pelos quatro modelos. A viga T1F000 foi excluída por não conter fibras. O modelo linear da NBR 16935:2021 e o ACI 544.4R-88 geram os maiores e menores momentos resistentes, respectivamente. Os resultados dos modelos MC2010 e rígido plástico (NBR 16935:2021) aproximam-se mais do ACI 544.4R-88 do que do linear (NBR 16935:2021). Finalmente, apenas o modelo linear da NBR 16935:2021 supera os valores experimentais.

Segundo a Figura 4, os modelos rígido-plástico da NBR 16935:2021 e MC2010 são os mais próximos dos experimentais (diferenças relativas de -21% a -12%). Valores negativos indicam subestimação da resistência (momentos calculados < experimentais). Apenas o modelo linear (NBR 16935:2021) foi contrário à segurança, com uma diferença positiva. A Figura 4 aponta ainda que, para os demais modelos, a diferença relativa diminui com o aumento do volume de fibras. No modelo rígido-plás-

tico (NBR 16935:2021), por exemplo, a diferença cai de -20% (T2F050) para -18% (T3F075) e -12% (T4F100). Isso sugere que os modelos ACI 544.4R-88, MC2010 e NBR 16935:2021 (Rígido Plástico) ganham precisão com o aumento de fibras.

A Figura 5 compara os modelos teóricos com o ACI 544.4R-88. O mo-

delo linear (NBR 16935:2021) apresentou as maiores diferenças relativas: 88% (T2F050), 90% (T3F075) e 112% (T4F100), aumentando com o volume de fibras. Os demais modelos, MC2010 e Rígido-Plástico (NBR 16935:2021), não mostraram essa tendência de aumento com o volume de fibras. As diferenças destes para o ACI 544.4R-88 ficaram na faixa de 17% a 23% superiores.

A Figura 6 compara a diferença relativa do MC2010 com os outros três modelos. O modelo rígido-plástico (NBR 16935:2021) é o mais próximo do MC2010 (diferenças de 2% a 4%). Essa proximidade é esperada, pois ambos se baseiam no mesmo princípio de equilíbrio da seção transversal. Em contraste, o ACI 544.4R-88 e, principalmente, o linear (NBR 16935:2021) mostram diferenças significativamente maiores do MC2010. O modelo linear, por exemplo, mostra divergência

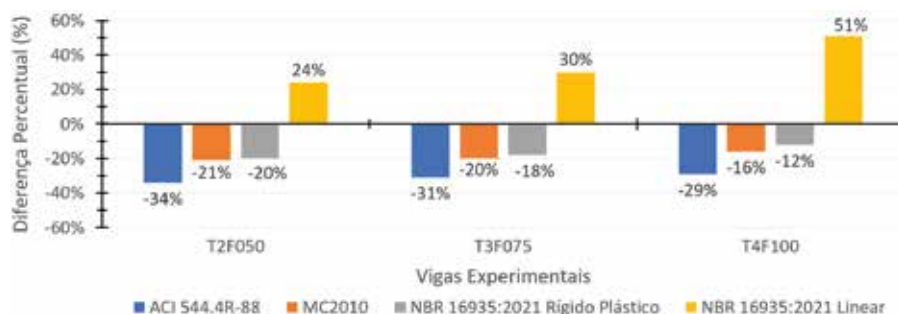


FIGURA 4

DIFERENÇA RELATIVA DOS MODELOS DE CÁLCULO TEÓRICO E O EXPERIMENTAL

FONTE: DOS AUTORES, 2025

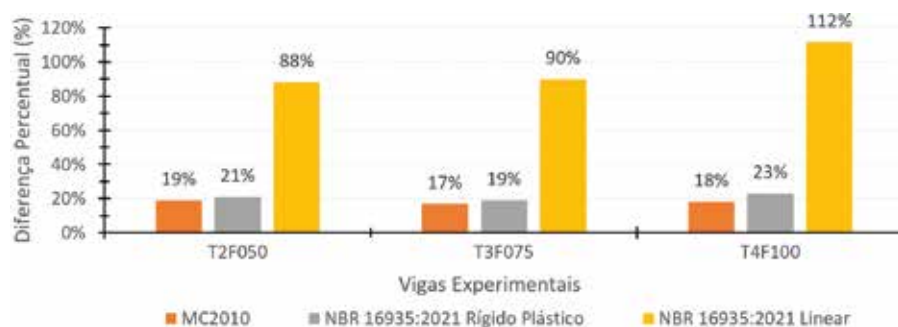


FIGURA 5

DIFERENÇA RELATIVA ENTRE O MODELO ACI 544.4R-88 E DEMAIS MODELOS TEÓRICOS

FONTE: DOS AUTORES, 2025

considerável, com a diferença aumentando com as fibras: de 58% (T2F050) para 79% (T4F100). A diferença do

ACI 544.4R-88 ficou entre -15% e -16%, sem grande variação com o volume de fibras.

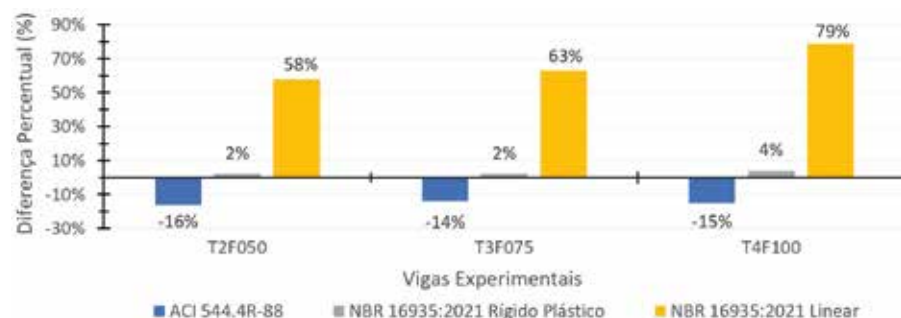


FIGURA 6

DIFERENÇA RELATIVA ENTRE O MODELO MC2010 E DEMAIS MODELOS TEÓRICOS

FONTE: DOS AUTORES, 2025

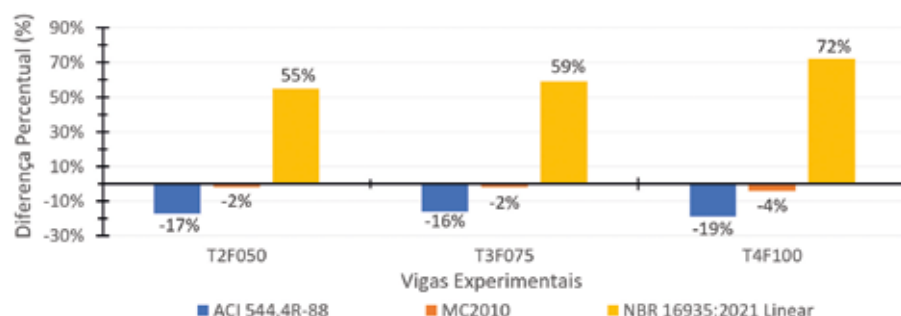


FIGURA 7

DIFERENÇA RELATIVA ENTRE O MODELO RÍGIDO PLÁSTICO DA NBR 16935:2021 E DEMAIS MODELOS TEÓRICOS

FONTE: DOS AUTORES, 2025

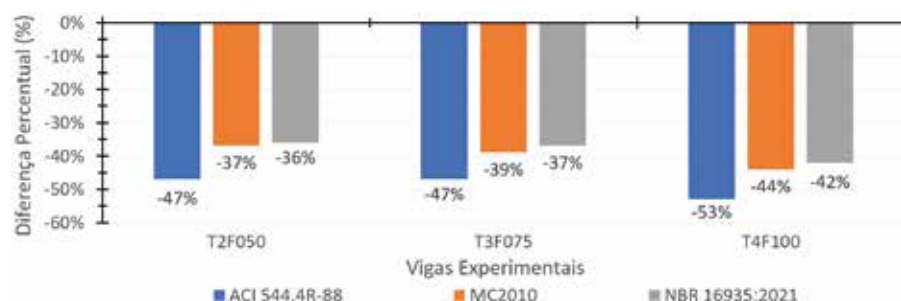


FIGURA 8

DIFERENÇA RELATIVA ENTRE O MODELO RÍGIDO LINEAR DA NBR 16935:2021 E DEMAIS MODELOS TEÓRICOS

FONTE: DOS AUTORES, 2025

A Figura 7, que compara o modelo Rígido-Plástico (NBR 16935:2021) com os demais, apresenta diferenças semelhantes às da Figura 6. Isso ocorre porque os modelos Rígido-Plástico e MC2010 são muito próximos. Por isso, ao trocar a referência entre eles, o comportamento dos demais modelos (ACI 544.4R-88 e Linear NBR 16935:2021) se mantém, apresentando apenas pequenas variações percentuais.

Finalmente, a Figura 8 compara os modelos ao Linear (NBR 16935:2021), e todos apresentam diferenças relativas negativas. Isso indica que o modelo linear superestima o momento resistente, sendo o único com resultados superiores aos demais. As diferenças significativas (de -36% a -53%) devem-se às abordagens de cálculo. Os modelos Rígido (NBR 16935:2021) e MC2010 dependem da resistência residual (possível causa da discrepância), enquanto o ACI 544.4R-88 considera uma contribuição de tensão menor. A diferença relativa negativa também aumenta com o volume de fibras, sugerindo que a superestimação do modelo linear cresce com o reforço.

3.1 Análise de sensibilidade da Resistência Residual (f_R)

As diferenças relativas anteriores indicam que os modelos de equilíbrio da seção transversal (NBR 16935:2021 Rígido-Plástico e MC2010) subestimam a resistência experimental do CRFA. Essa subestimação é significativa (-21% a -12% no modelo Rígido-Plástico NBR 16935:2021). Isso sugere que a resistência residual à flexão (f_R) é o parâmetro-chave para o cálculo das fibras, sendo a principal fonte de incerteza.

Para avaliar o impacto de f_R , fez-se uma análise de sensibilidade paramétrica, variando seus valores médios f_R em $\pm 25\%$. Esse intervalo é o limite máximo de variação aceito pela ABNT NBR 16935:2021 para a resistência residual. A Tabela 3 apresenta os momentos resistentes recalculados para o modelo NBR 16935:2021 Rígido-Plástico.

A Tabela 3 mostra que uma variação de 25% em altera o calculado. Na viga com menos fibras (T2F050), a variação de foi de -1.5%, enquanto na com mais fibras (T4F100) foi de -3.2%. Ou seja, mudanças em (no intervalo considerado) provocam pequenas variações em , e, assim, não alteram muito as diferenças relativas aos valores experimentais.

4. CONCLUSÃO

O Concreto Reforçado com Fibras de Aço (CRFA) tem vantagens sobre o concreto armado tradicional, como o comportamento pós-fissuração e maior capacidade resistente. A relevância do CRFA e a nova ABNT NBR 16935:2021 justificam a validação de seus modelos de cálculo.

Este estudo comparou a capacidade resistente à flexão de vigas de CRFA usando quatro modelos normativos: ACI 544.4R-88, MC2010 e ABNT NBR 16935:2021 (Rígido-Plástico e Linear). As análises usaram os dados experimentais de ensaios de flexão em quatro pontos de Silva Neto (2017).

Constatou-se que os modelos ACI 544.4R-88, MC2010 e Rígido-Plástico (NBR 16935:2021) subestimaram a capacidade resistente, enquanto o Linear a superestimou, em relação aos dados experimentais. Dos que subestimaram,

TABELA 3

MOMENTO RESISTENTE CALCULADO PELO MODELO RÍGIDO-PLÁSTICO DA NBR16935:2021, VARIANDO A RESISTÊNCIA RESIDUAL (f_R) EM $\pm 25\%$

Traço	M_R Médio (kN.m)	$M_R + 25\% f_R$ (kN.m)	$M_R - 25\% f_R$ (kN.m)	M_{exp} (kN.m)
T2F050	50,30	51,03	49,57	62,93
T3F075	51,37	52,30	50,44	62,78
T4F100	55,02	56,79	53,26	101,54

FONTE: DOS AUTORES, 2025

o ACI 544.4R-88 foi o mais distante e o Rígido-Plástico o mais próximo dos ensaios. Para estes três modelos, a precisão aumenta com o volume de fibras.

Em contrapartida, o Modelo Linear apresentou comportamento divergente: a superestimação da resistência intensificou-se com o aumento do volume de fibras, variando de 24% (T2F050) a 51% (T4F100). Embora o modelo apresente maior acurácia para vigas com baixas dosagens de reforço, classifica-se como não conservativo, uma vez que superestima sistematicamente a capacidade resistente experimental.

Verificou-se também que os modelos MC2010 e Rígido-Plástico são muito próximos (diferenças de 2% a 4%), o que se justifica por ambos usarem o mesmo princípio de equilíbrio da

seção. Ambos apresentaram diferenças maiores (17% a 23%) em relação ao ACI 544.4R-88.

A análise de sensibilidade da resistência residual à flexão (f_R), com variação de $\pm 25\%$ no modelo Rígido-Plástico (NBR 16935:2021), mostrou variações pouco significativas na capacidade resistente (entre -1,5% e -3,2%).

O cálculo da capacidade resistente do CRFA envolve aproximações que impactam a previsão de cada modelo. No geral, os modelos testados apresentaram discordâncias com os resultados experimentais. Este estudo reforça a necessidade de modelos analíticos mais precisos e confiáveis para o CRFA. Ressalta-se a necessidade de comparar estes modelos com outros dados experimentais, para verificar as previsões e se estas conclusões se mantêm. ☺

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABNT NBR 15530:2019. Fibras de aço para concreto - Especificação. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2019, Rio de Janeiro, Brasil.
- [2] ABNT NBR 16935:2021. Projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras - Procedimento. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2021, Rio de Janeiro, Brasil.
- [3] ACI - AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Committee 544: Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete (ACI 544.4R-88 Reapproved 1999). Farmington Hills, 18p, 1988.
- [4] BARROS, A. R. Avaliação do comportamento de vigas de concreto auto-adensável reforçado com fibras de aço. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2009.
- [5] FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON. fib Model Code for Concrete Structures 2010. Berlin: Ernst & Sohn, 2013. 434 p. ISBN 978-3433030613.
- [6] FIGUEIREDO, A. D. Concreto reforçado com fibras. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- [7] GÓIS, F. A. P. Avaliação experimental do comportamento de concreto fluido reforçado com fibras de aço: Influência do fator forma da fração volumétrica das fibras nas propriedades mecânicas do concreto. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2009.
- [8] NATAJARA, M. C. e DHANG, N. Stress-strain curves for steel-fiber reinforced concrete under compression. Cement and Concrete Composites, v. 21, n. 5-6, p. 383-390, 1999.
- [9] SILVA NETO, A. P. Análise numérico-experimental de vigas de concreto reforçado com fibras de aço. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.