XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.9019

Concreto Reforçado com Fibras: Uma Visão Holística no Estado Fresco, das Propriedades Mecânicas e de Durabilidade

Fiber-Reinforced Concrete: A Holistic View of the Fresh State, Mechanical and Durability Properties

Letícia Alves da Silva Soares
Universidade Federal de Goiás | Goiânia | Brasil | silvaleticia@discente.ufg.br
Oswaldo Cascudo
Universidade Federal de Goiás | Goiânia | Brasil | ocascudo@ufg.br
Andrielli Morais de Oliveira
Universidade Federal de Goiás | Goiânia | Brasil | andriellimorais@ufg.br

Resumo

Este artigo apresenta uma revisão sistemática da literatura (RSL) sobre o desempenho de concretos reforçados com fibras metálicas e poliméricas quanto às propriedades no estado fresco, propriedades mecânicas e de durabilidade. A *string* de busca foi "fiber-reinforced concrete" OR "fiber-reinforced cementitious composites") AND ("durability" OR "durability indicator" OR "durability index" OR "durability parameters") AND ("workability" OR "rheology". Observou-se que parte significativa das pesquisas se concentraram na utilização de frações volumétricas de fibras entre 0,1 e 2%. No estado fresco desses concretos fibrosos, a trabalhabilidade foi avaliada por meio dos ensaios de abatimento do tronco de cone, espalhamento e tempo Vebe. No estado endurecido, ensaios de flexão foram bastante citados nas publicações, como esperado. Em termos de durabilidade, destacaram-se os ensaios de absorção de água e de resistência à penetração cloretos, combinados a técnicas analíticas de caracterização microestrutural. Conclui-se que o uso de fibras pode otimizar propriedades de durabilidade nos concretos.
Palavras-chave: Fibras. Concreto. Durabilidade. Trabalhabilidade.

Abstract

This article presents a systematic literature review (SLR) on the performance of steel and polymer fiber-reinforced concretes regarding fresh-state, mechanical, and durability properties. The search string used was ("fiber-reinforced concrete" OR "fiber-reinforced cementitious composites") AND ("durability" OR "durability indicator" OR "durability index" OR "durability parameters") AND ("workability" OR "rheology"). A significant portion of the research was found to focus on fiber volume fractions ranging from 0.1% to 2%. Regarding the fresh state of these fiber-reinforced concretes, workability was assessed using slump, flow, and Vebe time tests. In the hardened state, flexural tests were frequently cited in the publications, as expected. In terms of durability, water absorption and chloride penetration resistance tests stood out, often combined with analytical techniques for microstructural characterization. The study concludes that the use of fibers can optimize the durability properties of concrete.

Keywords: Fibers. Concrete. Durability. Workability.

Como citar:
ALVES. L.; CASCUDO, O.; OLIVEIRA, A.M. Concreto Reforçado com Fibras de Aço e Poliméricas: Uma Visão Holística dos Ensaios no Estado Fresco, das Propriedades Mecânicas e de Durabilidade. ENTAC 2026. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

INTRODUÇÃO

O consumo anual de concreto convencional é de aproximadamente 25 bilhões de toneladas em todo o mundo [1]. Seu consumo se deve ao custo relativamente baixo, alta durabilidade e facilidade de construção. No entanto, fissuras podem ocorrer mesmo antes da aplicação de cargas mecânicas por ações como retração e variações de volume, facilitando a permeabilidade de soluções agressivas e gases [2], [3].

O concreto reforçado com fibras (CRF) é um material composto por fibras tecidas ou não para aumentar a resistência à tração, a ductilidade e o controle da fissuração [4]. Esse CRF pode desempenhar um papel interessante no avanço do 9º objetivo do Desenvolvimento Sustentável – ODS que é a Indústria, Inovação e Infraestrutura e o 11º objetivo de Cidades e Comunidades Sustentáveis, pois com o crescimento das populações urbanas, há uma demanda por moradias e infraestruturas mais sustentáveis. Neste sentido, o CRF pode otimizar volumes e composições de concreto para as construções e pode prolongar o ciclo de vida das estruturas, minimizando os reparos precoces, frequentes e de alto custo.

O uso do CRF inclui lajes sobre o solo, concreto projetado, painéis arquitetônicos, produtos pré-moldados, construções *offshore*, estruturas sísmicas, reparos, barreiras de segurança, fundações, estruturas hidráulicas e outras [4]. Diversos tipos de fibras sintéticas têm sido utilizados no concreto, como basalto, polipropileno, álcool poli vinílico, entre outras [5], [6], [7], [8].

Nesse sentido, a presente revisão da literatura analisa sistematicamente, a influência do tipo e teor de fibras nas propriedades reológicas, mecânicas e de durabilidade do concreto reforçado com fibras, abrangendo várias aplicações, inclusive concreto de ultra alto desempenho e reforçado com mais de um tipo de fibra. Além disso, dados experimentais de relação água/ligante (a/l), relação de aspecto das fibras e adição mineral, fundamentais na mistura de um concreto fibroso, serão discutidas.

METODOLOGIA

O protocolo de pesquisa e de busca de trabalhos científicos incluiu as etapas de planejamento, definição de questão de pesquisa, critérios de inclusão/exclusão de artigo, extração e análise dos dados.

Inicialmente foi definida a questão de pesquisa que norteou a presente revisão sistemática da literatura – RSL, a qual foi: qual o impacto do teor e tipo de fibras na reologia/trabalhabilidade (estado fresco) e na durabilidade de concretos reforçados com fibras? Nessa etapa de planejamento, uma busca exploratória foi realizada para encontrar palavras-chave adequadas e resultou na formulação da seguinte *string* de busca *("fiber-reinforced concrete" OR "fiber-reinforced cementitious composites") AND ("durability" OR "durability indicator" OR "durability index" OR "durability parameters") AND ("workability" OR "rheology")*.

Utilizou-se o *software Parsif.al* e a estratégia PICOC [9] (População, Intervenção, Comparação, Resultado e Desfecho) apresentado no Quadro 1.

Quadro 1: Conceito Método P.I.C.O.C da Revisão Sistemática.

CRITÉRIOS PICO	DEFINIÇÃO
População	Matrizes de concreto
Intervenção	Adição de fibras de reforço (aço e poliméricas)
Comparação	Concreto convencional (sem fibras)
Resultado	Desempenho mecânico (resistência à compressão/tração), tenacidade, controle de fissuração, durabilidade e trabalhabilidade
Contexto	Aplicações estruturais industriais (túneis, pavimentos, edifícios etc) ou o cenário da pesquisa acadêmica experimental e numérica

Fonte: os autores

As bases de dados *Science Direct, Engineering Village, Web of Science e Scopus* possuem impacto e rigor editorial, os artigos são revisados por pares e, por isso, foram utilizadas para captação dos artigos relevantes para esta pesquisa.
Um filtro temporal (anos de 2023 a 2026) foi aplicado para que os resultados mais recentes pudessem ser analisados. Os artigos foram então selecionados, conforme os critérios mencionados. A seleção considerou a relevância do título e a clareza do resumo. Assim, foram aplicados critérios de inclusão e exclusão sistematizados para refinar os estudos selecionados (Quadro 2).

***Quadro 2*: Critérios de inclusão e exclusão aplicados.**

CRITÉRIOS DE INCLUSÃO	**CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO**
Artigos sobre durabilidade e comportamento mecânico de CRF	Artigos sobre CRF geopolimérico
Artigos sobre reologia de CRF	Artigos sobre CRF exposto a sulfatos
Artigos sobre CRF híbridas	Artigos sobre CRF naturais ou recicladas
Artigos de revisão e aprendizado de máquina	Artigos sobre CRF com agregado reciclado ou uso de polímero superabsorvente
Artigos de CRF expostos a cloretos ou carbonatação	Capítulo de livro, artigos não disponíveis para download
Artigos em inglês e português	Artigos em outros idiomas

Fonte: os autores

Após a leitura dos artigos, os dados de interesse foram extraídos e dispostos de forma sistematizada em planilhas, gráficos e tabelas. Realizou- se análise bibliométrica utilizando o *software VOSviewer.* Este *software* cria mapas visuais coloridos e interativos que mostram conexões entre dados de pesquisas dos artigos (autores, instituições, países e palavras-chave).
Os resultados bibliométricos e os dados bibliográficos da RSL realizada foram apresentados de forma separada na seção de resultados.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.9019

RESULTADOS

RESULTADOS BIBLIOMÉTRICOS

A aplicação da *string* resultou em 390 artigos, analisados em títulos, resumos e palavras-chave, conforme ilustra a Tabela 1.

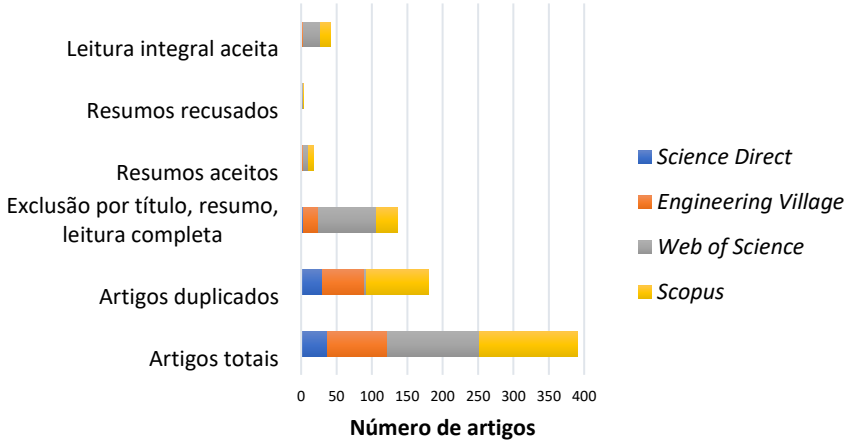
Tabela 1: Quantitativo de artigos por etapas

ETAPA	TOTAL
Aceitos	390
Artigos duplicados	180
Excluídos por título, resumo e leitura integral	135
Texto completo não disponível	16
Artigos de resumo	17
Artigos de aplicação de aprendizado de máquina	2
Artigos aderentes	59
Artigos com extração de dados	41
Snowball	2

Fonte: os autores

Ao todo, 59 trabalhos de pesquisa foram selecionados para leitura integral (entre resumos a artigos completos). Pela técnica *snowball*, foram adicionadas 2 pesquisas auxiliares. Sintetiza-se na Figura 1 o histograma da seleção das pesquisas.

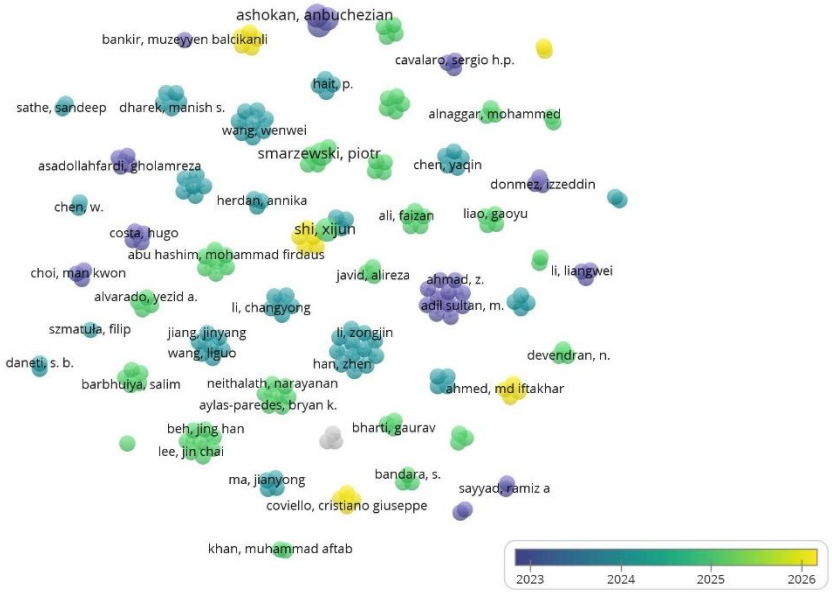
Figura 1: Quantitativo de pesquisas aderentes



Fonte: os autores

As bases que retornaram maior quantidade de artigos foram *Web of Science e Scopus*. Os artigos selecionados foram exportados para o *Mendeley* para adquirir o arquivo de extensão ".ris" e assim conseguir exportar os metadados para o programa *VOSviewer*. Com o *software* foi possível a construção e visualização de redes bibliométricas de relações de citações, acoplamento e coautorias. Obteve-se a recorrência de autores (Figura 2) e palavras-chaves (Figura 3).

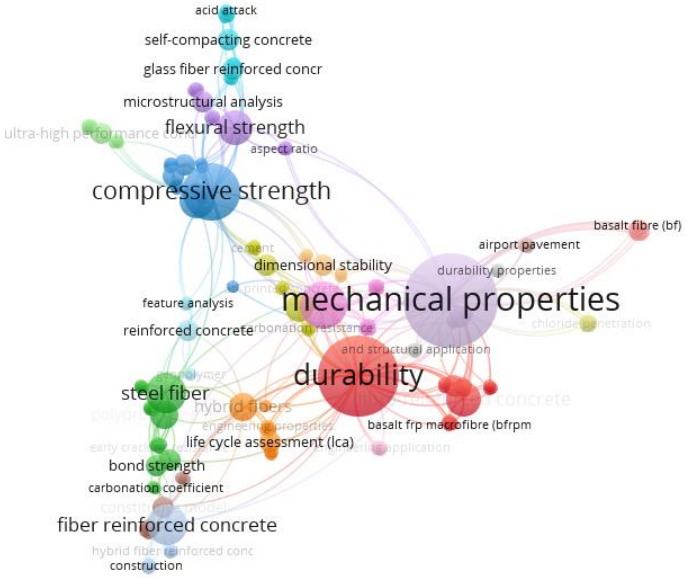
Figura 2: Autores de maior recorrência



Fonte: os autores

Nota-se que a distribuição de autores de maior recorrência por ano de publicação é variável, sendo a maior concentração de artigos aderentes datados do ano de 2025 representado na cor verde.

Figura 3: Palavras-chave de maior recorrência



Fonte: os autores

A imagem gerada no *VOSviewer* apresenta a rede de ocorrência de palavras-chave da pesquisa, evidenciando que os termos *"mechanical properties", "durability"* e *"compressive strength"* funcionam como os principais nós centrais e interconectados da literatura analisada. Percebe-se que as palavras-chave utilizadas na *string* de busca apresentam boa concordância com a recorrência da literatura.

RESULTADOS BIBLIOGRÁFICOS

Assim que obtido os dados bibliométricos, foram extraídos os dados experimentais de interesse das pesquisas. Nesse sentido, pretendeu-se estudar quais os tipos e teores de fibras, relação água/ligante, tipo e teor ideal de adição mineral ou material cimentício suplementar nas pesquisas realizadas experimentalmente entre os anos de 2023-2026. Essas informações são apresentadas na Tabela 2. Além disso, os ensaios referentes a reologia, comportamento mecânico e de durabilidade também foram analisados e são apresentados na Tabela 3.

Tabela 2: Resumo de dados experimentais obtidos.

AUTORES	TIPO E TEOR DE FIBRA	RELAÇÃO DE ASPECTO OU COMPRIMENTO	TEOR IDEAL
[10]	FA =0,5%, 0,85% e 1,0% e FPP = 0,15%, 0,30% e 0,45%	FA= 60 mm e FPP=36 mm	FA = 0,85% FPP = 0,15%
[11]	FV = 3%	-	-
[12]	FA = 2%	FA= 65	-
[8]	FA = 0,40%, 0,80%, 1,2% e FPP = 0,05%, 0,1%, 0,15%	FA= 40, 55, 80 e FPP= 633	FA = 0,8 % FPP = 0,10%
[13]	FA, FPP, FV	-	mistura com FA
[14]	FPP = 0.1%, 0.2%, 0.3%	Micro = 30 Macro= 100, Monofilamento =200	-
[15]	-	FA = 50; FPP= 515	-
[16]	FB = 1; 1,5; 2; 3; 5 e 8,6 kg/m³	6,18,24,30 e 48 mm	1,5 a 2,0 kg/m³ de FA e L= 18 a 24 mm
[17]	FKev= 0.5, 1 e 1.5%	500	FKev = 1%
[18]	FA = 6%	65	-
[19]	FA = 1%	-	-
[6]	FPP = 0,2, 0,4, 0,6 e 0,8% e FA = 0,25, 0,5, 0,75, 1,0 e 1,5%	FA= 63	FPP = 1% e FA = 0,75% de
[20]	FV e FPP = 0,5%, 1,0%, 1,5% e 2,0%	FV = 40 mm e FPP= 12 mm	1% de FV e 1% de FPP
[1]	FA, FPP, FV = 0,5%,1%, 1,5% e 2%	FA = 20-40mm; FPP= 12mm; FV= 16mm	FA = 1,5% a 2% FV = 1% FPP = 0,5% e 1%
[21]	FA de 6 mm e 13 mm = 2,24% a 2,88%	FA = 40 e 65	FA de 13 mm
[22]	FPP e FB = 0,025%, 0,05%, 0,075%, 0,125% e 0,25%	FPP = 12 mm e FB= 12 mm	FPP = 0,05% e 0,125% FB = entre 0,125% e 0,25%
[23]	FV e FA = 0,15%, 0,30%, 0,40%	FV = 769 e FA= 40	-
[24]	FA = 2%	FA = 65	-
[25]	FA = 1,5%	FA = 83,3	-
[4]	FA = 0,75% e 1,5% MacroFPP = 0,5%, 1,0%,1,5% MicroFPP = 0,3%, 0,5%, 0,7%	FA =50 MacroFPP =50 mm MicroFPP = 12 mm	FPP = 0,5%
[26]	FA= 2,0%	FA= 63,4	-

[27]	FA e FPP = 0.5%, 1.0%, 1.5% e 2.0%	FA = 80	FA = 1,5% de FA com FPP = 0,5%
[7]	FP = 0,1% e 0,075% FB = 0,15% e 0,075%	FP= 706 e FA= 425	FB = 0,15%
[28]	0,8% de FA e 0,5%, 0,10% e 0,15% de FPP	-	FPP = 0,10% com FA = 0,8%
[29]	FA = 1,5%	-	-
[30]	FA = 1,5% e 3,0%	70	3% de FA
[5]	microFA = 0,5%; 1,0%, 2,0% e 3,0%	40 e 80	Nanossílica foi de 1% e MFA 2%
[31]	PVA = 0,05%, 0,15% e 0,25%	229, 343, 514	PVA = 0,25% de 12 mm
[3]	FA = 1,0, 1,5 e 2,0%	50, 60 e 70	FA = 1,5%
[32]	20 kg/m³ de FA e 2,5 kg/m³ de FPP	FA=47,6 e FPP=48	-
[33]	FA = 156 kg/m³	FA=65	-
[34]	FA = 1% FV = 0,03% FPP = 0,15%, 0,30% e 0,45%	FA= 64; FV= 428; FPP= 240	FA = 1% FPP = 0,30%
[35]	FA =0,5% e 1,0%	FA=62,5	-
[36]	FA = 1%, 2% e 3% FP = 2% e 4%	-	2% e 3%
[37]	FA = 1% e 2% FV= 1% e 2% FB = 1% e 2%	FP= 25mm; FA= 13mm; FV= 12mm e FB= 13mm	-
[38]	FPP = 0,1%; 0,2%; 0,3%; 0,4% e 0,5%	-	FPP = 0,5%
[39]	FA=60 kg/m³ FA = 20 kg/m³ FPP = 2,36 kg/m³	FA =40 e 65 FPP =240	-
[40]	FB = 0,25%, 0,5%, 0,75%, 1%	32,9; 42,5; 51,8	FB = 0,5%
[41]	FA = 10, 20 e 30 kg/m	FA= 65	-

Nota: FA=fibra de aço; FB= fibra de basalto, FP= fibra de polietileno; FPP= fibra de polipropileno; FV= fibra de vidro; FKev= fibra de kevlar, FPVA= fibra de álcool poli vinílico.
Fonte: os autores

Nota-se que, em geral, parte significativa das pesquisas utilizaram fibras em teores moderado a baixo, normalmente entre 0,1 e 2% [6], [35], [38], [40] de fibras de aço e de polipropileno. Com teores menores de fibras já é possível obter controle de fissuração, ductilidade, resistência ao impacto, tenacidade e comportamento pós-fissuração satisfatórios, a depender da relação de forma, distribuição e material da fibra. Ao ultrapassar o teor ideal, nota-se que teores muito elevados prejudicam a trabalhabilidade [8], [23], [27], [34], [37], a dispersão das fibras e aumentam o consumo de água e de aditivo químico.

A adição de fibras no geral, altera a trabalhabilidade, devido ao aumento da área superficial e aos efeitos de intertravamento [14]. [31] observaram que o comprimento da fibra influencia a resistência à flexão de forma mais acentuada do que a dosagem de fibras (volume de fibras) e que fibras mais longas (12 e 18 mm) influenciam mais na redução na trabalhabilidade em comparação as fibras curtas (8 mm), como esperado.

Observou-se que a maioria dos estudos misturou os componentes secos da mistura, cuidadosamente antes da inclusão das fibras, para garantir uma distribuição uniforme delas, como esperado [14], [26]. Eles constataram que concretos com fibras alinhadas

demonstraram resistência à tração superior com variabilidade reduzida, em comparação a concretos com fibras distribuídas de forma aleatória.

As informações de ensaios reológicos, de durabilidade e de comportamento mecânico está exposto na Tabela 3.

Tabela 3: Resumo de ensaios experimentais de reológicos, de durabilidade e de comportamento mecânico.

AUTORES	ENSAIO REOLÓGICO	ENSAIO DE COMPORTAMENTO MECÂNICO	ENSAIO DE DURABILIDADE
[11]	-	RC, RF, RTCD	-
[12]	TE	RC, RTF, RF	-
[8]	-	RC, RTCD, RT	INSV, PT
[13]	-	RC, RTCD, RF	-
[14]	TA e TV	RC, RTCD, RF	VPU, MEV
[15]	D	RC, RTF	AA, E
[16]	TA, TE	RC, RTCD, RF, ME	MEV
[17]	TA, D	RC, RCTD	-
[18]	V, TC, MS, TCA	-	-
[19]	TE, D	RC, RF	AA, D, IV
[6]	-	RC, RTCD	RX, MEV
[20]	TA	RC, RTCD, RF	S, RCPT
[1]	TA	RC, RTCD	-
[21]	TA	RC, RF	PIM, MO
[22]	TE, caixa L	RC, RTCD, RF, T	-
[23]	TA	RC, RF	PC, RA
[24]	TE, mini funil V	RC	-
[25]	-	RC, RF	TCRX
[4]	TA	RC, RTCD	AVA, AA, MEV
[26]	-	RC, RF, RTD	-
[27]	TA, D	RC	AA
[7]	TA, TE	RC, RTCD	RA, RS
[28]	TA, TE, TESC, V, B	RC, RF, RTCD, RI	PPA
[29]	TA	RC, RTCD	MEV E DRX
[30]	TE, V, TC, B, I	RC, RT	-
[5]	-	RC, RF, ME, EF	-
[31]	TA	RF (3 pontos), RT	RMN, MEV, PPC
[3]	TA	RC, RTCD	-
[32]	-	RC, RT, ME	PC, CGD, CTRCQ
[33]	V, TC, TE, T500, funil V, anel J	RC, RF	CMC, DRX, GT, GTF, CI
[34]	TA	RTCD, ME, RC, RF	MEV
[35]	TE	RC, ME	-
[36]	TA	RC	TED, TTVM, ATD

[37]	TA, MS	RC, RF	C, RCPT, AA, RE
[38]	TA	RC, RF, ME, RTCD, D	RS
[39]	TA, T500, anel J, funil V	RC, RTCD, RF (4 pontos)	-
[40]	TE, funil V, anel J	RC, RTCD, TDU	VVP, RE, CMC
[41]	-	EPD, EFV, TPC	-

Nota: TA= teste de abatimento; TE= teste de espalhamento TV= tempo vebe.
RTCD= resistência à tração por compressão diametral, ME= módulo de elasticidade, RC=resistência à compressão, RF= resistência à flexão, RT= resistência à tração, CMC= coeficiente de migração de cloretos, VVP= volume de vazios permeáveis, RE= resistividade elétrica, EPD= TPC ensaio de punção dupla, EFV= ensaio de flexão em viga, TPC= teste de painel circular, TD= tração direta uniaxial, D= ductilidade, C= carbonatação, AA= absorção de água, TED= teste de estabilidade dimensional, TTVM= teste da taxa de variação da massa. ATD= análise termogravimétrica diferencial, E= estanqueidade, VPU= velocidade de pulso ultrassônico, INSV= inspeção visual, IV= índice de vazios, D= densidade, MEV= microscopia eletrônica de varredura, RCPT= teste de permeabilidade de cloretos, RS= retração por secagem, PC= profundidade de carbonatação, CTCQ= ciclo térmico de regiões de clima quente, RMN= ressonância magnética nuclear, PPC= profundidade de penetração de cloretos, EF= energia de fratura, V= viscosidade, TC= tensão de cisalhamento, B= bombeabilidade, I= imprimibilidade, RX= radiografia de raios X, MS= mini-slump, TCA=teste de cone de Abrams, S= sorptividade, PIM= porosimetria por intrusão de mercúrio, MO= microscopia óptica, T= tenacidade, TCRX= tomografia computadorizada de raios x, AVA= absorção volumétrica de água, RA= retração autógena, RS= retração por secagem, TESC= tensão de escoamento, GT= gravidade térmica e diferencial, CI= calorimetria isotérmica

Os resultados apresentados demonstraram que os concretos reforçados com fibras e adições pozolânicas (sílica ativa, cinza volante e escória de alto forno) possuem comportamento muito influenciado pelos parâmetros reológicos. Sabe-se que as adições minerais são partículas extremamente finas e de alta área superficial, demandando mais água na mistura e as fibras dispersas na matriz criam uma "rede" interna que aumenta a viscosidade e a tensão de escoamento. Além disso, as adições costumam refinar a matriz e a zona de transição interfacial agregado matriz e as fibras distribuir tensões da matriz.

Estudos [8], [10], [12] evidenciaram incrementos na resistência à flexão e à tração, indicando que a incorporação de fibras contribui para o aumento da capacidade resistente e do controle de fissuração, como esperado. Além disso, pesquisadores [5], [13] observaram melhorias no módulo de elasticidade e na energia de fratura, demonstrando maior ductilidade do material.

No estado fresco, parâmetros como abatimento, espalhamento e tempo Vebe foram amplamente utilizados para avaliar a trabalhabilidade, conforme relatado por [1], [14], [17]. Em relação à durabilidade, diferentes metodologias foram empregadas, incluindo absorção de água, coeficiente de migração de cloretos e resistência à penetração de íons, destacando-se os trabalhos de [20], [37], [40].

Técnicas microestruturais, como microscopia eletrônica de varredura (MEV), difração de raios x e porosimetria por intrusão de mercúrio também foram frequentemente utilizadas para explicar o desempenho mecânico e a redução da porosidade das matrizes cimentícias, conforme observado por [21], [31], [33].

CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- as fibras a depender do material, fator de forma, teor e dispersão reduzem a trabalhabilidade do concreto, sendo necessário ajuste da relação a/l e/ou uso de aditivos;
- a adição de materiais suplementares (cinza volante, sílica ativa e escória de alto forno) em CRF potencializa a resistência da matriz cimentícia ao garantir um refinamento microestrutural, enquanto as fibras poliméricas absorvem as tensões e minimizam as microfissuras;
- entre as fibras comerciais, destaca-se a utilização de fibras de polipropileno e de fibras de aço em teores no intervalo entre 0,1 e 2% de substituição em massa;
- o estudo da durabilidade do CRF, inclusive com uso de técnicas não destrutivas foi encontrada em 23 dos 41 trabalhos analisados. São técnicas úteis que poderiam ser mais exploradas pois as fibras podem aumentar os vazios, criar zonas de interface e aumentar permeabilidade se mal dispersas na matriz;
- em relação ao estado fresco do CRF , parâmetros como abatimento de tronco de cone, espalhamento e tempo Vebe utilizados, mostraram que a trabalhabilidade é reduzida, uma vez que as fibras formam uma rede tridimensional, aumentam a fricção interna e absorvem água, reduzindo a fluidez;
- o uso de fibras pode otimizar propriedades de durabilidade nos concretos e
- ensaios de absorção de água e resistência à penetração de íons cloreto revelaram a resistência de passagem da água e íons cloreto no CRF em comparação a concretos sem fibras.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

DECLARAÇÃO

Os autores declaram que não utilizaram inteligência artificial – IA, nem tecnologias assistidas por IA no processo de preparação do manuscrito.

REFERÊNCIAS

[1] M. Ahsan *et al.*, “Influence of Fibers on Fresh and Mechanical Properties of (FRC) Fiber Reinforced Concrete, A Step Towards Sustainability”, *Journal of Applied Engineering Sciences*, v. 13, n. 1, p. 17–22, abr. 2023, doi: 10.2478/jaes-2023-0003.

[2] J. Ma, H. Yuan, J. Zhang, e P. Zhang, “Enhancing concrete performance: A comprehensive review of hybrid fiber reinforced concrete”, *Structures*, v. 64, p. 106560, jun. 2024, doi: 10.1016/j.istruc.2024.106560.

[3] A. P. Das, A. Hasan, Md. A. H. Chowdhury, e Md. I. Ahmed, “Experimental Investigation of Steel Fiber Diameter, Volume Fraction, and Aspect Ratio on Concrete Mechanical Behavior”, *J. civil eng. forum*, p. 217–228, mar. 2026, doi: 10.22146/jcef.22407.

[4] H. Hosseinzadeh, A. Masoud Salehi, M. Mehraein, e G. Asadollahfardi, “The effects of steel, polypropylene, and high-performance macro polypropylene fibers on mechanical properties and durability of high-strength concrete”, *Construction and Building Materials*, v. 386, p. 131589, jul. 2023, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.131589.

[5] A. Ashokan, S. Rajendran, e R. Dhairiyasamy, “A comprehensive study on enhancing of the mechanical properties of steel fiber-reinforced concrete through nano-silica integration”, *Sci Rep*, v. 13, n. 1, p. 20092, nov. 2023, doi: 10.1038/s41598-023-47475-0.

[6] M. A. Khan e Q. U. Z. Khan, “Optimizing hybrid fiber concrete: an experimental analysis of steel and polypropylene fiber composites using RSM”, *Mater. Res. Express*, v. 12, n. 2, p. 025304, fev. 2025, doi: 10.1088/2053-1591/adb37d.

[7] S. Lu *et al.*, “Deterioration mechanisms and strength prediction of hybrid fiber-reinforced concrete under coupled sulfate attack and dry-wet cycles”, *Construction and Building Materials*, v. 493, p. 143243, set. 2025, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2025.143243.

[8] L. Zhang e X. Shao, “Experimental study on the crack resistance of concrete reinforced with hybrid steel-polypropylene fibers”, *J. Phys.: Conf. Ser.*, v. 3202, n. 1, p. 012047, mar. 2026, doi: 10.1088/1742-6596/3202/1/012047.

[9] M. J. Grant e A. Booth, “A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies”, *Health Info Libraries J*, v. 26, n. 2, p. 91–108, jun. 2009, doi: 10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x.

[10] S. K. Mahto, S. Sinha, V. Venkataramana, e H. Chakravarty, “Investigations on mechanical and durability properties for pavement quality concrete using hybrid fibres”, *Eng. Res. Express*, v. 5, n. 2, p. 025025, jun. 2023, doi: 10.1088/2631-8695/accfe7.

[11] N. Devendran, T. S. Lakshmi, e A. Kandasamy, “Performance Evaluation of Self-compacting Concrete Incorporating Glass Fibers and Nanomaterials”, *J. Environ. Nanotechnol.*, v. 14, n. 3, p. 623–634, set. 2025, doi: 10.13074/jent.2025.09.2531664.

[12] G. Bharti, B. K. Shukla, e P. K. Sharma, “Experimental Assessment of Ultra-High-Performance Fiber-Reinforced Concrete for Bridge Applications”, em *Intelligent Infrastructure and Smart Materials*, S. Pathak, A. K. Shukla, S. Sharma, e V. P. Singh, Org., Cham: Springer Nature Switzerland, 2025, p. 289–306. doi: 10.1007/978-3-031-92421-7_17.

[13] M. Vadivel, G. Selina Ruby, K. Sundar Santhana, e S. Stella Mary, “Experimental research on steel-polymeric hybrid fiber concrete composites”, *Matéria (Rio J.)*, 2024, doi: 10.1590/1517-7076-RMAT-2024-0548.

[14] C. T. Tan *et al.*, “Mechanical property enhancement in concrete composites with hybrid polypropylene fibre reinforcement”, *Sci Rep*, v. 15, n. 1, p. 24986, jul. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-04219-6.

[15] F. Szmatuła, “Shaping a decorative concrete face for the renovation and modernization of buildings”, *CONSTRUCTION MATERIALS*, v. 1, n. 11, p. 153–160, nov. 2024, doi: 10.15199/33.2024.11.18.

[16] S. Qin e L. Wu, “Study on mechanical properties and mechanism of new basalt fiber reinforced concrete”, *Case Studies in Construction Materials*, v. 22, p. e04290, jul. 2025, doi: 10.1016/j.cscm.2025.e04290.

[17] M. Al-Daraji e N. Aljalawi, “The Effect of Kevlar Fibers on the Mechanical Properties of Lightweight Perlite Concrete”, *Eng. Technol. Appl. Sci. Res.*, v. 14, n. 1, p. 12906–12910, fev. 2024, doi: 10.48084/etasr.6665.

[18] H. Vacca, Y. A. Alvarado, D. M. Ruiz, e A. M. Nuñez, “Rheological Evaluation of Ultra-High-Performance Concrete as a Rehabilitation Alternative for Pavement Overlays”, *Materials*, v. 18, n. 15, p. 3700, ago. 2025, doi: 10.3390/ma18153700.

[19] Memis; Ramroom (2023), Org., “Investigation of the use of waste mineral additives in ultra-high-performance concrete”, *JCE*, v. 75, n. 06, p. 539–553, jul. 2023, doi: 10.14256/JCE.3305.2021.

[20] M. S. Dharek, M. M, B. S, J. Vengala, e R. B. Tangadagi, “Performance evaluation of hybrid fiber reinforced concrete on engineering properties and life cycle assessment: A

sustainable approach", *Journal of Cleaner Production*, v. 458, p. 142498, jun. 2024, doi: 10.1016/j.jclepro.2024.142498.

[21] J. D. Ruiz Martinez, J. D. Rios, E. M. Perez Soriano, H. Cifuentes Bulte, e C. Leiva Fernández, "The Impact of Steel Fiber Length and Dosage on Microstructure and Mechanical Performance in UHPFRC: A Hybrid Approach.", *hya*, maio 2025, doi: 10.33586/hya.2025.4089.

[22] P. Smarzewski e A. Jancy, "Comparative Study on Mechanical Performance and Toughness of High-Performance Self-Compacting Concrete with Polypropylene and Basalt Fibres", *Materials*, v. 18, n. 16, p. 3833, ago. 2025, doi: 10.3390/ma18163833.

[23] M. B. Bankir, "Statistical Investigation of the Effects of w/c, Cement Dosage and Fibers on Bond Strength and Carbonation Coefficient of Hybrid Fiber Concretes", *KSCE Journal of Civil Engineering*, v. 27, n. 11, p. 4812–4822, nov. 2023, doi: 10.1007/s12205-023-2025-5.

[24] L. Wang, Y. Ma, e L. Li, "Uncovering the role of superplasticizer in developing nano-engineered ultra-high-performance concrete", *Front. Mater.*, v. 10, p. 1177189, mar. 2023, doi: 10.3389/fmats.2023.1177189.

[25] Y. Li *et al.*, "Ultra-high performance concrete with high strength, workability, loading durability and low curing maintenance for applications in airport pavement", *Case Studies in Construction Materials*, v. 21, p. e03982, dez. 2024, doi: 10.1016/j.cscm.2024.e03982.

[26] T. Bhaduri, S. Gomaa, e M. Alnaggar, "Prediction of flow-induced fiber orientation and its effects on hardened behavior of ultra-high performance concrete: An experimental and numerical study", *Journal of Building Engineering*, v. 108, p. 112738, ago. 2025, doi: 10.1016/j.jobe.2025.112738.

[27] M. A. Faris, "Physical and Mechanical Properties of Steel-Polypropylene Composites Reinforced OPC Concrete", apresentado em Composite Materials, 2025, p. 101–107. doi: 10.21741/9781644903636-11.

[28] M. Zhu, M. Zhao, C. Li, K. Wang, Y. Zhu, e F. Li, "Effects of binder paste-to-aggregate ratio and polypropylene fiber content on the performance of high-flowability steel fiber-reinforced concrete for slab/deck overlays", *Science and Engineering of Composite Materials*, v. 31, n. 1, p. 20240030, ago. 2024, doi: 10.1515/secm-2024-0030.

[29] W. Zhang *et al.*, "Investigation of basic properties, microscopic characteristics, and optimized ratio prediction model of ultra-high steel fiber reinforced concrete", *Case Studies in Construction Materials*, v. 20, p. e03297, jul. 2024, doi: 10.1016/j.cscm.2024.e03297.

[30] F. Altheoy, O. Zaid, B. Ahmed, e K. M. Elhadi, "Impact of double hooked steel fibers and nano-kaolin clay on fresh properties of 3D-Printable ultra-high-performance fiber-reinforced concrete", *Journal of Building Engineering*, v. 97, p. 110917, nov. 2024, doi: 10.1016/j.jobe.2024.110917.

[31] W. Chen e Y. Wen, "Experimental study on mechanical and durability properties of concrete incorporating various polyvinyl alcohol fiber lengths and dosages", *Mater. constr.*, v. 74, n. 355, p. e349, out. 2024, doi: 10.3989/mc.2024.368923.

[32] C. G. Coviello, P. Lassandro, D. Foti, e P. Serna, "Comparison at the short and long term of the mechanical performance of FRCs with recycled, natural and commercial fibers", *Journal of Building Engineering*, v. 119, p. 115304, fev. 2026, doi: 10.1016/j.jobe.2026.115304.

[33] J. Wang, F. Jiang, e R. Wang, "Study on the interaction between limestone filler and rice husk ash on the rheological properties of cement composite pastes", *Construction and Building Materials*, v. 456, p. 139247, dez. 2024, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.139247.

[34] M. Vadivel, G. Selinaruby, R. Padmapriya, e B. Perumal, "Experimental research on mechanical and microstructural characteristics of hybrid fiber reinforced concrete (HFRC)", *Sci Rep*, v. 15, n. 1, p. 43189, dez. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-23963-3.

[35] S. Reißig, A. Herdan, e V. Mechtcherine, "Rheological Behavior of Steel-Fiber-Reinforced Concrete in the Context of Additive Manufacturing", em *Transforming Construction: Advances in Fiber Reinforced Concrete*, v. 54, V. Mechtcherine, C. Signorini, e D. Junger,

Org., em RILEM Bookseries, vol. 54. , Cham: Springer Nature Switzerland, 2024, p. 467–474. doi: 10.1007/978-3-031-70145-0_57.

[36] G. Liao, Y. Xu, D. Wang, e L. Wu, “Influence of Steel Fiber Content on the Long-Term Stability of Slag-Containing UHPC Under Different Environments”, *Materials*, v. 18, n. 5, p. 1068, fev. 2025, doi: 10.3390/ma18051068.

[37] K. Robalo, H. Costa, R. Carmo, e E. Júlio, “Development and Characterization of Eco-Efficient Ultra-High Durability Concrete”, *Sustainability*, v. 15, n. 3, p. 2381, jan. 2023, doi: 10.3390/su15032381.

[38] M. R. Latifi, Ö. Biricik, e A. Mardani, “Mechanical and Durability Performance of Macro Polypropylene Fibrous Concrete”, *Iran Polym J*, v. 32, n. 9, p. 1149–1164, set. 2023, doi: 10.1007/s13726-023-01193-6.

[39] I. Donmez, M. Katlav, e K. Turk, “Improvement of fresh and hardened properties of a sustainable HFRSCC using various powders as multi-blended binders”, *Construction and Building Materials*, v. 371, p. 130773, mar. 2023, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.130773.

[40] M. Pedram, S. Taylor, M. Sonebi, J. Kwasny, e P. Crossett, “Development of Optimised Basalt FRP Macrofibre-Reinforced Concrete with Evaluation of Fresh, Mechanical and Durability Performance”, *Int J Civ Eng*, v. 24, n. 2, p. 281–306, fev. 2026, doi: 10.1007/s40999-025-01187-w.

[41] A. R. E. Cáceres, S. H. P. Cavalaro, e A. D. De Figueiredo, “Integrated approach for quality control of fibre-reinforced sprayed concrete for tunnel lining”, *Tunnelling and Underground Space Technology*, v. 140, p. 105260, out. 2023, doi: 10.1016/j.tust.2023.105260.