

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

LAYS HELENA DOS SANTOS LEITE

**INFLUÊNCIA DO TIPO DE FIBRA PVA NAS PROPRIEDADES DE UM
COMPÓSITO CIMENTÍCIO ENGENHEIRADO**

Uberlândia

2024

LAYS HELENA DOS SANTOS LEITE

**INFLUÊNCIA DO TIPO DE FIBRA PVA NAS PROPRIEDADES DE UM
COMPÓSITO CIMENTÍCIO ENGENHEIRADO**

Trabalho de Conclusão de Curso, em formato de artigo, apresentado à Faculdade Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Materiais de Construção
Orientadora: Profa. Dra. Eliane Betânia C. Costa

Uberlândia

2024

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo
estímulo, carinho e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, devo agradecer a Deus e a minha família, que foram os grandes responsáveis pela minha formação. Sou muito grata aos meus Pais, Alice Margarida dos Santos Leite e Valdivino Bernardino Leite, e também ao meu Irmão Leônidas Adão dos Santos Leite, que foram o meu suporte, e também acalentou os momentos mais difíceis.

A minha orientadora, Eliane Betânia Carvalho Costa, que apesar da intensa rotina de sua vida, aceitou me orientar, assim como pelas valiosas contribuições dadas durante todo o processo que foi essencial para que este trabalho fosse concluído satisfatoriamente.

Aos meus amigos, Nathan Ruas, Waleska Lima, Laura Stevanato e Luana Oliveira por sempre me ajudarem quando preciso, serem peças fundamentais na minha trajetória de aprendizagem e terem tornado essa caminhada mais leve e alegre.

A Universidade Federal de Uberlândia (UFU) que me proporcionou momentos importantíssimos, para a minha formação acadêmica e profissional, proporcionando-me um ensino de excelentíssima qualidade. A Faculdade de Engenharia do Porto (FEUP), pela parceria que me proporcionou uma grande experiência acadêmica internacional.

Por último, mas não menos importante, agradeço a todos os participantes da pesquisa, a Mestranda Marina Melo e a Graduanda Stephanie Cabral cuja colaboração foi fundamental para o desenvolvimento deste estudo.

“Se a educação sozinha não transforma a sociedade, sem ela tampouco a sociedade muda.”

(FREIRE, 2000)

INFLUÊNCIA DO TIPO DE FIBRA PVA NAS PROPRIEDADES DE UM COMPÓSITO CIMENTÍCIO ENGENHEIRADO

LEITE, L. H. S¹.; COSTA, E. B. C².

¹ Graduanda em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil (FECIV/UFU)

² Profa. Dra., Faculdade de Engenharia Civil (FECIV/UFU)

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar a influência do uso combinado de duas fibras de PVA (REC15 e RF400) nas propriedades de um compósito cimentício engenheirado (ECC). Para tanto, foram produzidas quatro misturas de ECC: uma de referência com 100% da fibra REC15 e outras três com substituições de 25%, 50% e 100% da fibra REC15 pela RF400, mantendo-se o teor total de fibras em 2% do volume total de sólidos. A matriz de ECC foi baseada na formulação proposta por Li (2008), mantendo-se constantes o consumo de cimento e cinza volante, a relação água/sólidos e o teor de aditivo superplastificante. Foram realizados ensaios no estado fresco para determinar o índice de consistência, a densidade de massa e o teor de ar incorporado. Aos 56 dias, a resistência à tração na flexão foi determinada por duas metodologias, três e quatro pontos. Os resultados indicaram que a fibra REC15 impacta na trabalhabilidade e nas propriedades mecânicas do ECC. Observou-se que, quanto maior o teor da fibra REC15, menor a fluidez, porém maior a resistência mecânica do ECC.

Palavras-chave: Compósitos Cimentícios Engenheirados; ECC; Fibra de PVA; concreto flexível.

ABSTRACT

This study aims to analyze the combined use of two types of PVA fibers (REC15 and RF400) on the properties of engineered cementitious composite (ECC). To achieve this, four ECC mixtures were prepared: one reference mixture with 100% REC15 fiber and three others with 25%, 50%, and 100% replacement of REC15 fiber by RF400, keeping the total fiber content at 2% of the total solid volume. The ECC matrix formulation was based on the proposal by Li (2008), maintaining constant cement and fly ash consumption, water/solid ratio, and superplasticizer content. Tests were conducted to determine the consistency index, bulk density, and incorporated air content in the fresh state. After 56 days of curing, the flexural tensile strength was measured using both three-point and four-point bending tests. The results showed that REC15 fiber had a significant impact on the workability and mechanical properties of the ECC. It was observed that increasing the REC15 fiber content led to reduced fluidity but improved the mechanical strength of the ECC.

Keywords: Engineered Cementitious Composites; ECC; PVA fibers; flexible concrete.

1 INTRODUÇÃO

Compósitos Cimentícios Engenheirados (ECC - *Engineered Cementitious Composites*), introduzidos inicialmente por Victor Li, representam uma classe inovadora de compósitos cimentícios com comportamento dúctil, resultante do reforço com fibras (Li, 1993). Também conhecido como concreto flexível, o ECC foi desenvolvido para superar as limitações do concreto convencional, que, apesar de sua alta resistência à compressão, apresenta baixa resistência à tração e ruptura frágil (Li, 1993). Devido à maior capacidade de deformação e tenacidade, o ECC é ideal para aplicações em estruturas sujeitas a tensões de impacto e vibrações, como pontes e edifícios em regiões sísmicas (Li *et al.*, 2015; Chen & Li, 2005).

A capacidade de deformação do ECC pode ser 500 vezes superior à do concreto reforçado com fibra (Li, 2003). Além disso, quando submetido a esforços de tração, o ECC apresenta um comportamento de acréscimo ou manutenção de carga após a primeira fissura, enquanto a deformação continua a aumentar (Hu *et al.*, 2024). O enrijecimento sob deformação do ECC é influenciado pela interação entre as fibras dispersas na matriz cimentícia e a interface fibra/matriz (Li e Leung, 1992; Lin *et al.* 1999). Portanto, a escolha adequada de fibras, sua distribuição e orientação são elementos críticos para a eficácia do material.

As fibras utilizadas na composição do ECC podem ser de diferentes materiais, como a fibra de aço (Zhu *et al.*, 2021; Wang, Wang e Zhu, 2022), fibra de polipropileno (PP) (Lin *et al.*, 2019), fibra de álcool polivinílico (PVA) (Phan *et al.*, 2015; Guan *et al.*, 2023), fibra de polietileno (PE) (Long *et al.*, 2024). Segundo Melo *et al.* (2024), a fibra PVA com diâmetro de 40 μm e comprimento de 12 μm é a mais utilizada nas formulações de ECC, seja em uso isolado ou híbrido. A fibra PVA é um material polimérico sintético derivado do álcool polivinílico, conhecida por sua alta resistência, durabilidade, biodegradabilidade, boa compatibilidade com o cimento (Portuguese Herrman, 2024).

O teor de fibra utilizada no ECC geralmente é menor ou igual a 2% em volume do total de sólidos (Li, 2002; Fahad *et al.*, 2019; Lu *et al.*, 2023). A utilização de teores abaixo do crítico pode resultar no comportamento frágil, enquanto valores acima do crítico elevam o custo e podem dificultar a produção do ECC (Li, 2003). O teor de fibras influencia na trabalhabilidade, com o aumento do teor de fibras maior a tendência de aglomeração da mistura (Khan *et al.*, 2023). Além disso, a distribuição inadequada de fibras pode resultar em falhas internas, comprometendo a eficácia do endurecimento por deformação do compósito (Lei *et al.*, 2019).

Dada a importância das fibras nas propriedades do ECC, o presente trabalho tem como objetivo analisar a influência do uso combinado de dois tipos de fibras de PVA nas propriedades

do ECC. Trata-se de um estudo exploratório, que busca entender como dois tipos de fibras de PVA, comercializadas como REC15 e RF400 (Kuraray Kuralon™), afetam a trabalhabilidade e o comportamento mecânico do ECC.

2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Este trabalho teve como objetivo analisar o efeito de duas fibras de PVA na trabalhabilidade e no comportamento mecânico de um compósito cimentício engenheirado. Foram estudadas quatro misturas baseadas no traço proposto por Li (2008), considerando dois tipos de fibras: REC15 e a RF400. O teor total de fibras de PVA foi mantido constante, variando-se o teor da fibra REC15 em: 0%; 25%; 50% e 100%. Foram realizados ensaios para avaliação da consistência e resistência mecânica dos ECCs. Realizou-se no trabalho o ensaio a tração na flexão à três pontos cujo o objetivo é obter a média da resistência e o ensaio de tração na flexão à quatro pontos cujo o objetivo é obter a máxima resistência à tração e a capacidade de deformação.

2.1 MATERIAIS

As misturas de ECC foram produzidas com cimento Portland CPV (ABNT NBR: 16697:2018), cinza volante em conformidade com a ABNT NBR 12653:2014, areia natural quartzosa, aditivo superplastificante, água, e fibras de álcool polivinílico (PVA). A composição química do cimento e da cinza volante, obtida por fluorescência de raios X (FRX) e perda ao fogo (PF), está apresentada na Tabela 1. As propriedades físicas desses materiais, bem como da areia utilizada podem ser verificados na Tabela 2. A curva granulométrica dos materiais está apresentada na Figura 1.

Tabela 1 – Composição química do cimento e cinza volante utilizados.

Material	Óxidos (%)									PF (%)
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Outros*	
Cimento	57,85	17,16	4,34	2,70	1,73	2,62	0,13	0,95	0,50	5,88
Cinza Volante	1,70	58,31	22,71	4,94	0,01	0,83	0,74	2,84	1,19	3,87

*TiO₂+P₂O₅+Mn₂O₃

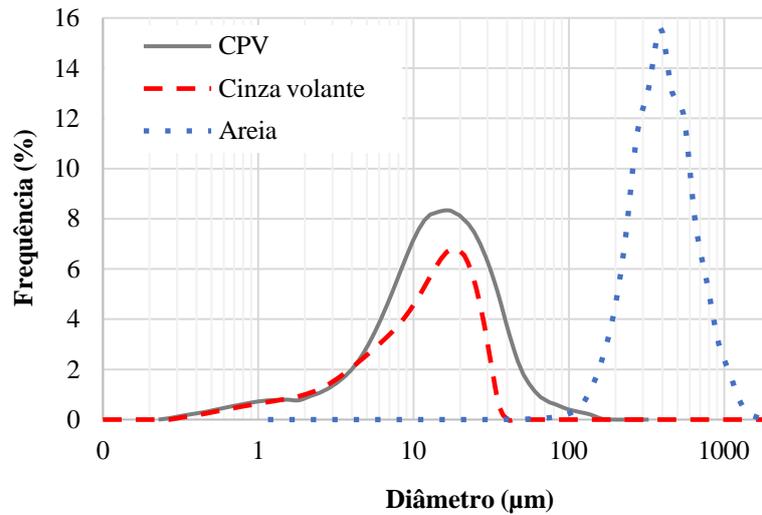
Fonte: COSTA, 2024.

Tabela 2 – Características físicas do cimento e cinza volante utilizados.

Propriedade	Método de ensaio	Cimento	Cinza volante	Areia
Massa específica (g/cm ³)	NBR 16605:2017	3,07	1,98	2,69
Area superficial BET (m ² /g)	Adsorção/dessorção de N ₂	1,49	-	3,06
D10 (µm)	Difração a laser	3,6	2,53	220,9
D50 (µm)		14,3	12,64	401,0
D90 (µm)		36,8	26,15	737,1

Fonte: COSTA, 2024.

Figura 1 – Curva granulométrica do cimento, cinza volante e areia utilizados.



Fonte: COSTA, 2024.

O aditivo superplastificante utilizado foi o MasterGlenium 3500 (BASF), a base de éter policarboxilato. Segundo o fabricante, a massa específica entre 1,10 e 1,14 g/cm³, pH de 7,9, isento de cloretos, com teor recomendado de 0,2 a 1,2% em relação à massa de cimento. A água foi da rede pública de abastecimento na cidade de Uberlândia, Minas Gerais.

Foram utilizados dois tipos de fibras de PVA, denominadas comercialmente por REC15 e a RF400 (Kuraray Kuralon™), conforme mostrado na Figura 2. A fibra REC15, não oleada, possui diâmetro de 40 μm, resistência à tração de 1560 MPa e alongamento de 12,5%. A fibra RF400, oleada, apresenta diâmetro cinco vezes superior a REC15, resistência à tração de 975 MPa e alongamento de 9%. As propriedades físicas das fibras utilizadas estão apresentadas na Tabela 3.

Figura 2 – Fibras de PVA utilizadas na pesquisa.



Fibra REC 15



Fibra RF400

Fonte: Autor (2024).

Tabela 3 – Propriedades físicas das fibras de PVA: REC15 e RF400.

Fibra	Diâmetro (µm)	Comprimento (mm)	Densidade (g/cm ³)	Resistência à tração (MPa)	Alongamento (%)	Módulo de elasticidade (GPa)
REC15	40	12	1,3	1560	12,5	28
RF400	200	12	1,3	975	9,0	27

Fonte: Dados do fabricante.

2.2 PRODUÇÃO DOS COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS ENGENHEIRADOS

Para a produção dos ECCs foi adotada como mistura de referência o traço proposto por Li (2008): 1:1,2:0,8:0,56: 0,02 (cimento: cinza volante: areia: relação água/cimento: fibra), com uso da fibra REC15. A quantidade total de fibras na mistura equivale a 2% do volume total dos materiais sólidos. Três formulações foram estudadas substituindo a fibra REC15 pela RF400, nos teores de 25%; 50%; e 100%. A relação água/cimento foi mantida constante e igual a 0,56. O teor de aditivo foi constante e igual a 0,35% em relação à massa total de finos (cimento + cinza volante). As formulações de ECC estudadas estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Traço em massa das formulações de ECC produzidas.

Material	REC15_100	REC15_50	REC15_25	REC15_0
Cimento	833,33	833,33	833,33	833,33
Cinza Volante	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00
Areia	666,67	666,67	666,67	666,67
Água	466,67	466,67	466,67	466,67
Aditivo	6,416	6,416	6,416	6,416
REC15	37,40	18,70	9,35	0,0
RF400	0,0	18,70	28,05	37,40

*A massa dos materiais indicadas em gramas.

Fonte: Autor (2024).

Cada mistura foi realizada em argamassadeira de bancada (PAVITEST), utilizando massa total de sólidos de 2,5 kg, segundo as diretrizes da NBR 16541 (ABNT, 2016). Adotou-se a sequência de mistura seguinte: inicialmente, colocou-se todos os materiais sólidos na cuba do misturador, junto com 25% da água e o aditivo superplastificante. Em seguida, acionou-se o misturador na velocidade baixa durante 30 s. Após esse período, os 75% restantes da água foram adicionados e a velocidade do misturador foi alterada para a alta por 60 s, durante os quais as fibras foram incorporadas. Após esse período, a mistura foi paralisada em 90 s, nos quais a pá de mistura foi retirada e toda superfície interna foi raspada. Caso essa etapa fosse concluída em tempo inferior, a mistura permanecia em repouso até completar os 90 s.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS ENGENHEIRADOS

Após o preparo da mistura, foram realizados ensaios para determinar o índice de consistência, conforme ABNT NBR 13276:2016, a densidade de massa e teor de ar incorporado segundo a ABNT NBR 13278:2005. Para avaliação das propriedades dos ECC no estado endurecido, foram moldados corpos de prova prismáticos de dimensões 4 x 4 x 16 cm de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005). Os moldes foram preparados com óleo desmoldante em *spray* para facilitar a desmoldagem dos corpos de prova. A moldagem foi realizada em duas camadas, com adensamento em mesa de queda, com aplicação de trinta golpes por camada. Após 24 horas, os corpos de prova foram desmoldados e imersos em água saturada com cal, onde permaneceram até a data de realização dos ensaios.

Aos 56 dias, foram realizados os ensaios de resistência à tração na flexão a três e quatro pontos para a avaliação da resistência e capacidade de deformação dos ECC. Os ensaios foram executados utilizando a máquina universal de ensaios (INSTRON, série 3400 – 100 kN).

O ensaio de resistência à tração na flexão a três pontos seguiu as recomendações da ABNT NBR 13279:2005. Os dois corpos de prova ensaiados, foram posicionados nos dispositivos de apoio do equipamento de modo que a face rasada não ficasse em contato nem com os apoios nem com o dispositivo de carga. A carga foi aplicada a uma taxa de 50 ± 10 N/s até a ruptura do corpo-de-prova.

Para a realização do ensaio de resistência à tração na flexão à quatro pontos, o procedimento é análogo ao utilizado no ensaio de resistência à tração na flexão à três pontos. Os três corpos de provas ensaiados, foram posicionados nos dispositivos, tendo dois pontos de apoio e dois pontos de aplicação da carga. A deformação foi medida por meio de *clip gage* posicionado na face inferior do corpo de prova. A capacidade máxima de deformação do *clip gage* é igual a 25mm. A carga foi aplicada a uma taxa de 50 ± 10 N/s até a ruptura do corpo- de-prova.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

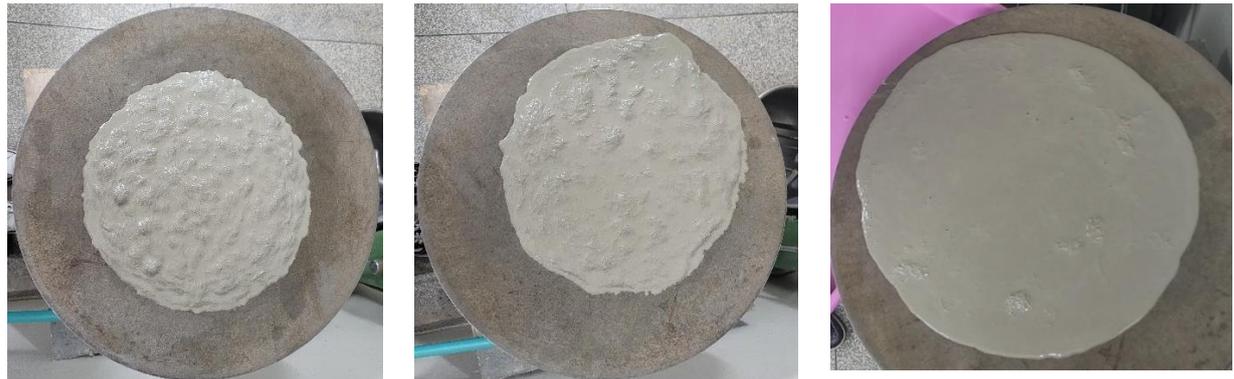
Na tabela 5 estão apresentados os resultados obtidos nos ensaios do estado fresco, sendo estes: índice de consistência, densidade de massa e teor de ar incorporado. Nota-se que a mistura REC15_50 apresentou maior espalhamento em relação à REC15_100, enquanto a mistura RED15_100 apresentou menor espalhamento de massa e grumos (matéria aglomerada). Não foi possível determinar o índice de consistência das misturas REC15_25 e REC15_0, pois ultrapassaram o limite da mesa de ensaio devido a elevada fluidez das misturas. A partir dos resultados, pode-se concluir que à medida que o teor de fibra REC15 diminui, há um aumento do espalhamento das misturas de ECC, tal como indicado na Figura 3.

Tabela 5 – Propriedades dos ECCS no estado fresco

Propriedades	REC15_100	REC15_50	REC15_25	REC15_0
Espalhamento (mm)	313	338	*	*
Densidade (kg/m ³)	1930	1932	1893	1931
Densidade teórica (kg/m ³)	1973	1973	1973	1973
Teor de ar Incorporado (%)	2,20	2,09	4,07	2,14

* Não foi possível determinar o espalhamento no tempo estabelecido, devido a elevada fluidez.
Fonte: Autor (2024).

Figura 3 – Espalhamento em função do teor de fibras do ECC



REC15_100 - 313 mm

REC15_50 – 338 mm

REC15_0 – Elevada fluidez.

Fonte: Autor (2024).

Em relação à densidade de massa das misturas, nota-se que elas apresentaram valores próximos, variando entre 1893 e 1932 kg/m³. A mistura REC15_25, que apresentou menor densidade, também exibiu maior teor de ar comparada às outras misturas, tal resultado deve-se ao processo de mistura, no qual obteve maior incorporação de ar.

Na tabela 6 são apresentados os resultados médios da resistência à tração na flexão, determinada pelo método três pontos, bem como a resistência máxima à tração e a deformação neste ponto, obtidos a partir das curvas tensão x deformação no ensaio a quatro pontos (Figura 4).

Tabela 6 – Resultados obtidos nos ensaios aos 56 dias para as misturas de ECC analisadas

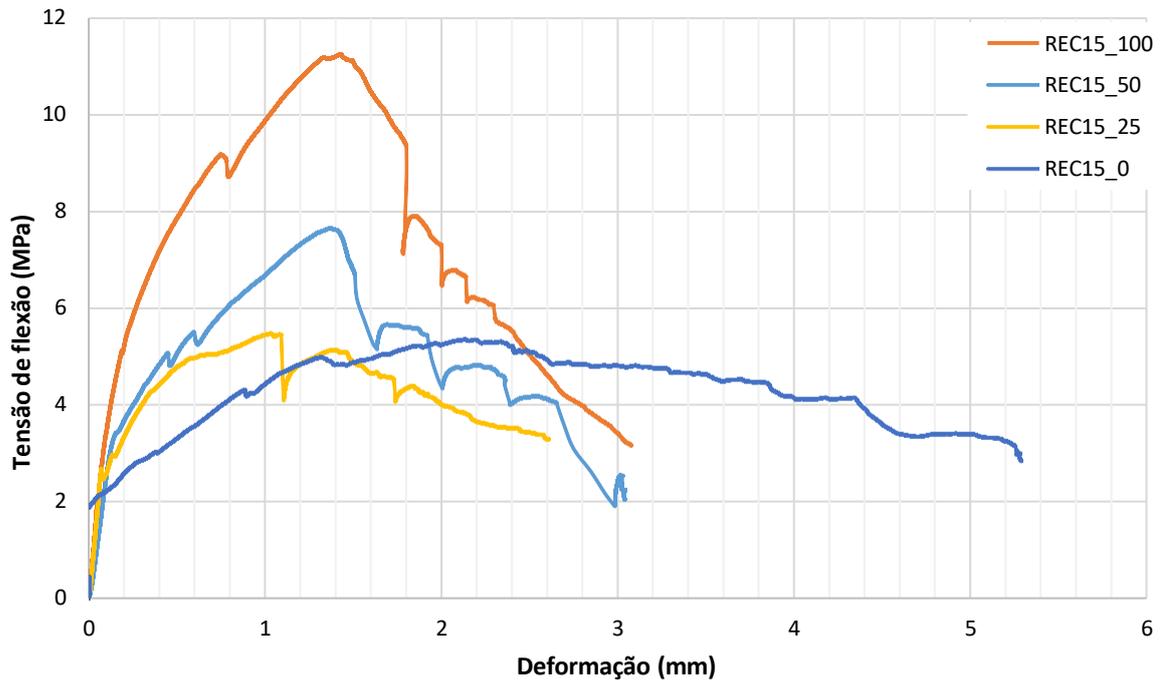
Propriedades	REC15_100	REC15_50	REC15_25	REC15_0
R_{tf} *(MPa) – três pontos	17,8 ± 2,04	10,9 ± 0,51	6,7 ± 0,07	7,2 ± 0,02
$R_{máx}$ *(MPa) – quatro pontos	11,3	7,6	5,5	5,4
$D_{Rmáx}$ *(mm) – quatro pontos	2,44	1,37	1,03	2,14

* R_{tf} – Resistência à tração à três pontos; * $R_{máx}$ – Resistência à tração à quatro pontos;

* $D_{Rmáx}$ – Deformação em mm no ponto de tensão máxima.

Fonte: Autor (2024).

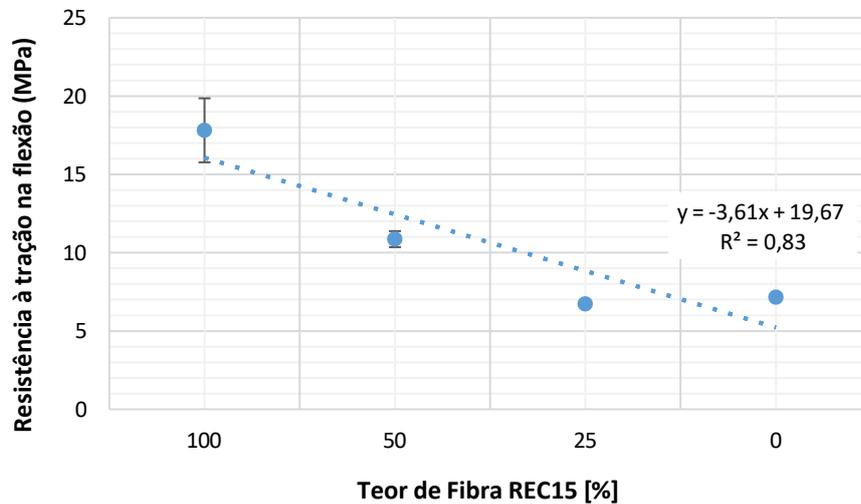
Figura 4 – Gráfico Tensão vs Deformação para as misturas de ECC estudadas



Fonte: Autor (2024)

Os resultados do ensaio de resistência à tração por flexão (três pontos) indicam que o teor da fibra REC15 influencia o comportamento do ECC. A mistura REC15_100 apresentou a maior resistência à tração na flexão, enquanto a menor resistência foi observada na mistura REC15_25, com um valor de 6,70 MPa. Notou-se uma relação proporcional entre o teor da fibra REC15 e a resistência à tração na flexão: à medida que o teor de REC15 aumenta, maior a resistência do compósito, como mostrado na Figura 5.

Figura 5 – Resistência à tração na flexão método três pontos em função do teor de fibra REC15



Fonte: Autor (2024).

Quanto aos resultados do ensaio de resistência à tração na flexão (método de quatro pontos), observa-se que, à medida que o teor de fibras REC15 aumenta, há um incremento na resistência à tração, acompanhado de uma redução na deformação do ECC. A mistura REC15_100 apresentou a maior resistência à tração (11,3 MPa) e a menor deformação antes da ruptura, evidenciando um desempenho superior sob tensão. Por outro lado, a mistura REC15_0, embora tenha registrado uma deformação maior, demonstrou uma capacidade de absorção de energia inferior. A mistura REC15_50 apresentou resistência máxima de 7,6 MPa e uma deformação de 1,37 mm, enquanto a mistura REC15_25 obteve resistência equivalente a mistura REC15_0, porém com menor capacidade de deformação. Esses resultados indicam que a presença da fibra REC400 contribui para o aumento da ductilidade do ECC, embora com uma redução da resistência à tração.

Alguns autores destacam que uma das principais características do ECC é o enrijecimento por deformação, no qual a partir da primeira fissura, o material continua a se deformar mantendo ou aumentando a resistência (Li e Leung, 1992; Lin *et al.* 1999; Li, 2007; Hu *et al.*, 2024). Esse comportamento foi mais efetivo nas compósitos com a fibra REC15, como pode ser evidenciado na Figura 4. Na matriz com a fibra REC15_0, observou-se maior deformação, porém com menor endurecimento por deformação.

6 CONCLUSÃO

Este estudo investigou a influência do uso de dois tipos de fibras de PVA nas propriedades de um compósito cimentício engenheirado (ECC). A partir dos ensaios realizados, pode-se concluir que:

- O tipo de fibra de PVA influencia a trabalhabilidade, a resistência à tração e a capacidade de deformação do ECC.
- O aumento no teor de fibra REC15 reduz a fluidez do ECC para misturas com mesma relação água/finos e aditivo superplastificante.
- Há uma relação linear entre o teor da fibra REC15 com a resistência à tração do ECC: à medida que o teor de REC15 diminui, a resistência à tração também diminui.
- A fibra RF400 contribuiu para o aumento da ductilidade do ECC, embora resulte em uma redução da resistência à tração.

- O comportamento de enrijecimento por deformação foi mais pronunciado nas misturas com maior teor de fibra REC15.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13278: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15279: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16541: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização de ensaios**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na à flexão e à compressão**. Rio de Janeiro, 2015.

FAHAD, Arain et al., **Study on PVA fiber surface modification for strain-hardening cementitious composites (PVA-SHCC)**, *Constr. Build. Mater.* 197 (2019) 107–116.

CHEN, Bing., e Li, Victor. **Influence of Fiber Characteristics on the Performance of Engineered Cementitious Composites**. *Cement and Concrete Research*. 2005

COSTA, Eliane Betânia Carvalho. **Caracterização de materiais para produção de matrizes e compósitos cimentícios**. Relatório interno. 2024.

HU, Zhiheng *et al.* **Engineered cementitious composites (ECC) strengthening of reinforced concrete Structures: A state-of-the-art-review**. *Journal of Building Engineering*, v. 86, 2024.

LEI, Dong-Yi et al., **The connection between microscopic and macroscopic properties of ultra-high strength and ultra-high ductility cementitious composites (UHS-UHDCC)**. *Compos. B Eng.* 164, 2019, 144–157.

LI, Victor, **On Engineered Cementitious Composites (ECC) A Review of the Material and Its Applications**, *J. Adv. Concr. Technol.*, vol. 1, no 3, p. 215–230, 2003.

LI, Victor. **High-Performance Fiber Reinforced Cement Composites**. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2003

LI, Victor., & Wang, S. **Engineered Cementitious Composites (ECC) with High Volume Fly Ash**. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2007

LIN, Zhong, KANDA, T. e LI, Victor. **On interface property characterization and performance of fiber reinforced cementitious composites**. *RILEM J. Concrete Science and Engineering*, 1999, 1, 173-184

LIN, Jia-Xiang et al., **Static and dynamic mechanical behavior of engineered cementitious composites with PP and PVA fibers**, J. Build. Eng. 29, 2019, 101097.

LONG, Xiong et al., **Effect of freeze-thaw cycles and chloride salt erosion coupling conditions on fatigue properties of PE-ECC**, Case Studies in Construction Materials, 2024. Xi

MELO, Marina Prata *et al.* **Uso de fibras em Compósitos Cimentícios Engenheirados: Levantamento Bibliográfico (2018 – 2024)**. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 65, 2024, Maceió. Anais [...] São Paulo: IBRACON, 2017, 16 p.

PORTUGUESE HERRMAN. **Micro fibra de PVA para a fibra concreta do álcool Polyvinyl do cimento**. Disponível em: <<https://portuguese.herrman.com/sale-36286091-micro-pva-fiber-for-cement-concrete-polyvinyl-alcohol-fiber.html>>. Acesso em: 19 abr. 2024.

PAN, Zuanfeng et al., **Study on mechanical properties of cost-effective polyvinyl alcohol engineered cementitious composites (PVA-ECC)**, Constr. Build. Mater. 78, 2015, 397–404

WANG, Zhenbo, WANG, Pengyu e ZHU, Fengqiang, **Synergy effect of hybrid steel-polyvinyl alcohol fibers in engineered cementitious composites: fiber distribution and mechanical performance**, J. Build. Eng. 62, 2022, 105348.