



CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS: VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL DE MODELO MATEMÁTICO DO ENSAIO DEWS

Matheus Chernichenco Rodrigues e Lúgia Vitória Real

Apoio: PIBIC Mackenzie

RESUMO

A adição de fibras no concreto vem se tornando uma técnica consolidada na engenharia civil. Esta é utilizada para aprimorar as qualidades mecânicas e a durabilidade do material. Por ser um tema novo no campo, normas para essa categoria de concreto ainda estão sendo desenvolvidas e aprimoradas. Entre os avanços na regularização do concreto reforçado com fibras há normas técnicas definindo os ensaios que podem ser utilizados para a classificação e a análise da qualidade para uma implementação apropriada desse material. O ensaio DEWS vem crescendo em popularidade por apresentar um potencial para se tornar um ensaio regular no estudo de concreto reforçado com fibra. Tal ensaio vem crescendo em popularidade mundialmente tendo origem de autores europeus (DI PRISCO e BORGES, 2014) e hoje existem estudos computacionais e práticos feitos no Brasil demonstrando a efetividade do ensaio no estudo CRF. Este trabalho teve como objetivo validar o uso do ensaio DEWS para concretos reforçados com fibras poliméricas. Os resultados obtidos demonstram que o ensaio DEWS é viável e eficiente para a análise da resistência à tração pós fissuração do concreto reforçado com fibras, sugerindo que ele pode ser amplamente adotado como um método padrão devido à sua execução economicamente acessível e simples execução.

Palavras-chave: Concreto reforçado com fibra, ensaio DEWS, propriedades mecânicas do concreto, fibras poliméricas

ABSTRACT

The addition of fibers to concrete has become an established technique in civil engineering, aimed at enhancing the mechanical properties and durability of the material. As this is a new topic in the field, standards for fiber-reinforced concrete are still being developed and refined. Among the advancements in the standardization of this material are technical norms that define the tests used for classifying and analyzing quality, durability, ease of execution, and other critical factors for its appropriate implementation. The DEWS test has been gaining popularity due to its potential to become a standard method in the study of fiber-reinforced concrete. Originating from European authors (DI PRISCO and BORGES, 2014), the DEWS test is recognized globally, with both computational and practical studies conducted in Brazil demonstrating its effectiveness in the study of fiber-reinforced concrete. This study aims to validate the use of the DEWS test for concrete reinforced with polymer fibers, comparing its results with those obtained from tests using metallic fibers. The findings indicate that the DEWS test is both feasible and efficient for analyzing fiber-reinforced concrete, suggesting that it could be adopted as a standard method due to its cost-effective and straightforward execution.

Keywords: Fiber-reinforced concrete, DEWS test, mechanical properties, polymer fibers.

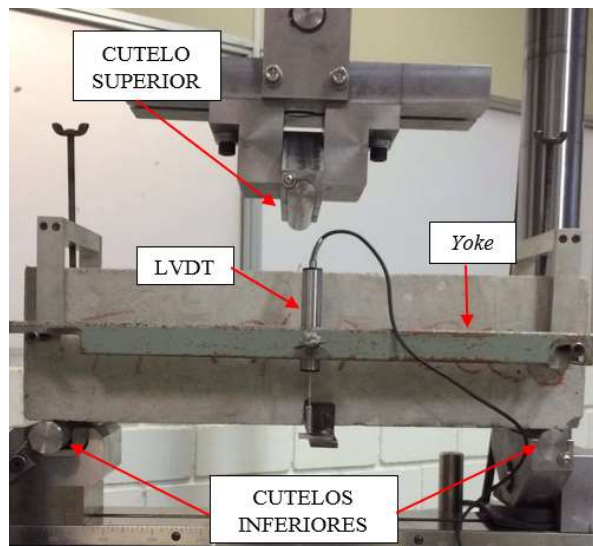
1. INTRODUÇÃO

O concreto reforçado com fibras (CRF) vem sendo utilizado com mais frequência, pois confere maior resistência pós fissuração às estruturas, uma vez que tais fibras funcionam como pontes de transferência de tensões através das fissuras, aumentando a deformação plástica do concreto e evitando a ruptura brusca (FIGUEIREDO, 2011). No Brasil, o CRF tem sido aplicado principalmente em elementos que possuem a capacidade de redistribuição de esforços, como pisos, pavimentos, paredes, aduelas, tubos e concreto projetado. Para projetar, há a norma técnica ABNT NBR 16935 - Projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras – procedimento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021).

Além do projeto, é necessário realizar o controle tecnológico do CRF conforme prescrito pela ABNT NBR 16938 - Concreto reforçado com fibras - controle da qualidade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021). Esta norma preconiza que o ensaio de tração na flexão, que é descrito na ABNT NBR 16940 - Concreto reforçado com fibras - determinação das resistências à tração na flexão (limite de proporcionalidade e resistências residuais) - método de ensaio (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021), seja utilizado para caracterização das resistências pós fissuração do CRF.

Porém, apesar da eficácia do ensaio de tração na flexão (ABNT NBR 16940, 2021), o experimento possui configuração complexa (Figura 1) e requer aparatos de custo elevado, que muitas vezes não são encontrados com facilidade.

Figura 1: Ensaio de tração na flexão com extensômetro



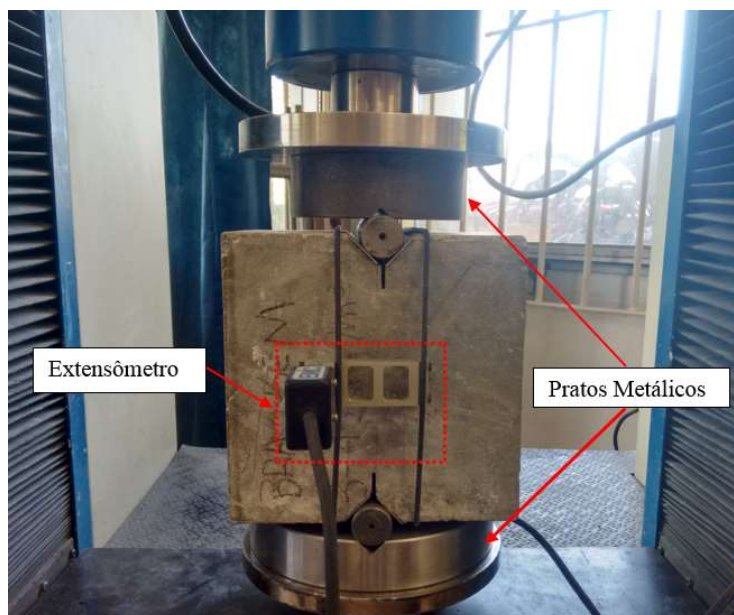
Fonte: Salvador et al. (2015)

Como alternativa, a norma ABNT NBR 16938 (2021) permite outras opções de ensaios para obter o comportamento pós-fissuração em corpos de prova de CRF, desde que este apresente comprovada correlação entre ambos os ensaios.

Dentro desse contexto, o ensaio de compressão de corpo de prova com duplo corte em cunha (do inglês, *Double Edge Wedge Splitting*) foi desenvolvido como uma alternativa ao ensaio de tração na flexão, que no Brasil é prescrito pela ABNT NBR 16940 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021). Os corpos de provas cúbicos utilizados no ensaio têm aresta de 15 cm com entalhe de 0,1 cm e duplo corte em formato de cunha a 45° que irão gerar na seção perpendicular ao carregamento da amostra uma tensão de tração uniaxial (DI PRISCO E BORGES, 2014). O procedimento desse ensaio consiste em colocar um cutelo cilíndrico na cunha que transferem a carga da máquina para o corpo de prova. Para transferência uniforme de carga

da prensa para o cutelo, usam-se pratos metálicos, tal esforço perpendicular a cunha fissura o corpo de prova. O esquema para realização do ensaio pode ser observado na Figura 2.

Figura 2: Corpo de prova preparado para realização do ensaio DEWS



Fonte: Acervo pessoal

Já no ensaio de tração na flexão, aplica-se uma carga no meio de um corpo de prova prismático de dimensões $150 \times 150 \times 550 \text{mm}^3$ apoiado nas duas extremidades do corpo de prova. Nele será aplicado uma carga sobre o entalhe localizado no meio do corpo de prova afim de causar uma fissura na peça. Para obter a extensão da abertura é necessária utilização de um extensômetro (SALVADOR, R.P.; FERNANDES, J.F.; FIGUEIREDO, A.D, 2015). Isso pode ser observado na imagem já apresentada na Figura 1.

1.1. Problema de pesquisa

O DEWS se diferencia da ABNT NBR 16940 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021), pois na norma brasileira, o ensaio analisa o rompimento da peça quando submetida a flexão, enquanto no DEWS aplica-se uma carga de, exercendo força suficiente para abrir uma fissura no meio da peça, abaixo das cunhas do corpo de prova, portanto as fissuras nos dois ensaios originam de formas diferentes.

Enquanto o ensaio ABNT NBR 16940 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021) exige a utilização de um extensômetro e uma prensa específica de velocidade controlada para aplicar a tensão desejada para a ruptura do prisma, o DEWS pode ser feito com apenas uma prensa convencional, tornando o ensaio mais fácil, principalmente por conta da necessidade de instrumentos mais acessíveis para a realização do ensaio.

No estudo de Silva (2022) foram realizadas diversas simulações do ensaio DEWS utilizando o extensômetro nos ensaios, em todo o estudo utilizou-se fibra de aço. Para essa proposta de iniciação científica pretende-se testar uma correlação entre o deslocamento da prensa e a abertura da fissura do corpo de prova. Tal correlação foi comprovada utilizando fibra de aço no estudo de Silva (2022). Assim, a intenção dessa pesquisa é testar uma correlação, porém utilizando a fibra polimérica. Comprovando tal correlação poderia-se inferir que tal relação pode ser aplicada em outros de tipos de fibras utilizadas no CRF, que por fim promove o ensaio DEWS



PROGRAMA INSTITUCIONAL DE
INICIAÇÃO CIENTÍFICA

como um ensaio mais prático e tão eficaz quanto o ensaio de tração na flexão, conforme a ABNT NBR 16940 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021).

1.2. Justificativa

Havendo uma comprovada correlação entre a fissuração e o deslocamento da prensa do corpo de prova submetido ao ensaio DEWS, pode-se eliminar a necessidade de extensômetros no ensaio, que pode futuramente se tornar o ensaio tradicional para estudar CRF. Além de se mostrar como uma alternativa ao ensaio de tração na flexão devido ao fato de ser um ensaio mais acessível financeiramente e de realização mais prática.

O CRF se mostra como boa opção, pois amplifica a resistência de artefatos na sua resistência à tração, que para peças pré-fabricadas, por exemplo, se mostra muito importante, já que durante o transporte evitam-se formação de fissuras ou rompimento, além de maior ductilidade quando aplicada em obra.

O concreto, por si, já possui adversidades se não preparado e aplicado da forma correta, podendo gerar segregação, trincas entre outras manifestações patológicas que podem acelerar o processo do estado último do material. As fibras de polipropileno não facilitam essas dificuldades. Ao contrário, novos obstáculos surgem quanto ao preparo e aplicação do concreto com fibras. Mas, se preparado da forma correta, seguindo as especificações das normas e possuir mão de obra especializada, as fibras garantem ao concreto uma maior resistência à tração e à flexão pós fissuração, maior tenacidade e melhor resistência ao impacto, características superiores ao convencional (SANCHEZ, CARVALHO, PIMENTA, 2022).

1.3. Objetivo

Apresentada a situação-problema, o objetivo dessa iniciação científica foi verificar se a correlação demonstrada por Silva (2022), entre o deslocamento da prensa e a fissuração do corpo de prova utilizado no ensaio DEWS, é válida caso sejam utilizando fibras poliméricas, uma vez que a autora realizou os testes com fibras metálicas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

De acordo com a NBR 16938 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021), CRF é um compósito caracterizado por uma matriz de concreto estrutural com fibras descontínuas. Entre as fibras utilizadas, tem-se: fibras de aço, conforme NBR 15530 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019), fibras de vidro álcali-resistentes (AR), conforme NBR 16941 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021) e fibras poliméricas, conforme NBR 16942 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021).

No controle tecnológico do CRF são realizados três ensaios, conforme previsto pela norma NBR 16938 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021):

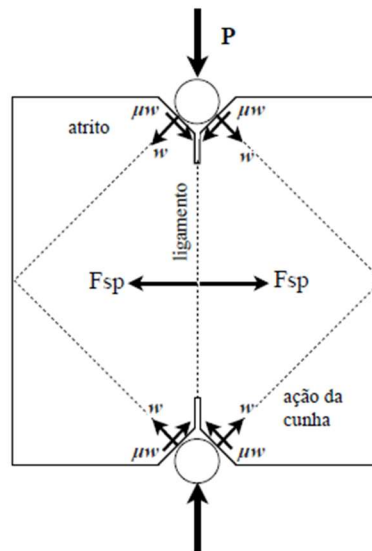
- Ensaio do concreto no estado fresco: avalia-se a consistência pelo abatimento do tronco de cone, conforme estabelecido na norma ABNT NBR 16889 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2020) ou, quando aplicado o concreto

autoadensável, o ensaio de espalhamento do concreto de acordo com a norma ABNT NBR 15823-2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 2017);

- Ensaio de resistência à compressão: deve ser determinada conforme a NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018), enquanto os parâmetros de classificação devem ser seguidos as instruções da NBR 12655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022);
- Ensaio de resistência à tração: devem ser realizados ensaios de tração na flexão, limite de proporcionalidade (f_L) e resistências residuais f_{R1} , f_{R2} , f_{R3} , f_{R4} , conforme prescrito pelas normas a NBR 16940 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021) e NBR 16938 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021).

O double-edge wedge splitting test (DEWS), proposto por Di Prisco (2010), tem como objetivo identificar a resistência residual no regime pós-fissuração por meio de um ensaio de compressão uniaxial que induz tração pura na seção do entalhe da amostra. A geometria da amostra consiste em um cubo com cortes triangulares de inclinação 45° e entalhes na superfície superior e inferior do corpo de prova (Figura 3). Por sua vez, a aplicação da carga é feita por dois roletes de aço que atuam sobre chapas metálicas localizadas nos cortes (SILVA, 2022).

Figura 3: Diagrama de forças no corpo de prova no ensaio de duplo corte em cunha



Fonte: Silva (2022)

Esta configuração produz dois arcos de tensão de compressão entre as punções de carga, desta forma a seção intermediária é submetida a tensões de tração uniaxiais e a resistência medida é próxima da resistência obtida em um ensaio de tração direta (DI PRISCO, 2010). O equipamento deve operar com sistema de controle aberto a uma velocidade constante (que pode variar de 0,2 a 0,5 $\mu\text{m/s}$). Enquanto a medição da abertura de fissura é determinada com o auxílio de três transdutores fixados em cada uma das faces do corpo de prova e perpendiculares à aplicação da carga (SILVA, 2022).

A baixa velocidade indicada para o ensaio e a utilização de três LVDTs colocados em cada lado da amostra requerem um tempo significativo para realização do ensaio. Uma investigação experimental realizada por Borges *et al.* (2019) avaliou a variação da taxa de deslocamento do ensaio e concluiu que não houve impacto significativo no padrão de resposta pós-fissuração do CRF. Além disso, esse estudo utilizou apenas um LVDT em cada uma das faces do corpo de



prova. Em outro estudo realizado por Borges (2016), o ensaio DEWS mostrou-se aplicável na avaliação da ortotropia de corpos de prova em concretos reforçados com baixos teores de fibra de aço, mesmo com a utilização de sistema aberto. Estudos que avaliam o CRF após exposição a temperaturas elevadas têm utilizado o ensaio DEWS para caracterização das propriedades de tração pós-fissuração. Segundo Serafini *et al.* (2021), a utilização do ensaio DEWS reduziu a dispersão e facilitou a interpretação dos resultados.

Os resultados obtidos com o ensaio são a carga vertical (P), a abertura de fissura (COD) e o deslocamento vertical da máquina de ensaio (δ). Para análise dos resultados é necessário obter a carga de tração transversal induzida pela carga vertical, que é calculada segundo a equação abaixo proposta por di Prisco *et al.* (2010):

$$F_{SP} = \frac{P * (\cos\theta - \mu * \sin\theta)}{(\sin\theta + \mu * \cos\theta)}$$

Sendo θ o ângulo de inclinação do corte (igual a 45°), P a carga vertical aplicada e μ o coeficiente de atrito (igual a 0,06). Com os parâmetros adotados, a equação pode ser reescrita como $F_{SP} = 0,89 * P$. Para o cálculo da tensão de tração nominal, admite-se como área, a largura da amostra (t) multiplicada pela altura do ligamento (h_{lig}), conforme equação abaixo:

$$\sigma_n = \frac{F_{SP}}{t * h_{lig}}$$

Com base nos resultados do ensaio DEWS foi estabelecida uma relação entre deslocamento vertical da máquina (δ) e abertura de fissura (COD) para o regime pós fissuração (SILVA, 2022).

3. METODOLOGIA

Para validar o modelo matemático de Silva (2022), foram realizados experimentos seguindo os procedimentos estabelecidos por Di Prisco (2010). Foram moldados corpos de prova de concreto reforçado com fibras poliméricas, com três teores variados de fibras: 3 kg/m^3 , 6 kg/m^3 e 9 kg/m^3 . Como resistência característica do concreto foi adotado 40 MPa. A única variável entre os corpos de prova foi o teor de fibras. As fibras poliméricas Barchip 48, cujas dimensão é de 48mm. Tais foram selecionadas devido às suas propriedades superiores a outras do mercado, que incluem a melhoria da resistência à fissuração e o aumento da tenacidade do concreto.

Tabela 1: Traços de concreto a serem utilizados

f _{ck} = 40 MPa		Traços (kg/m ³)		
	Materiais	T3	T6	T9
Cimento	CP II-E-32	325	325	325
Areia	Artificial	650	650	650
Brita 1	Artificial	812	812	812
Água	Rede Sabesp	162	162	162
Aditivo	Superplastificante	1,44	1,44	1,44
Fibra	Polipropileno	3	6	9

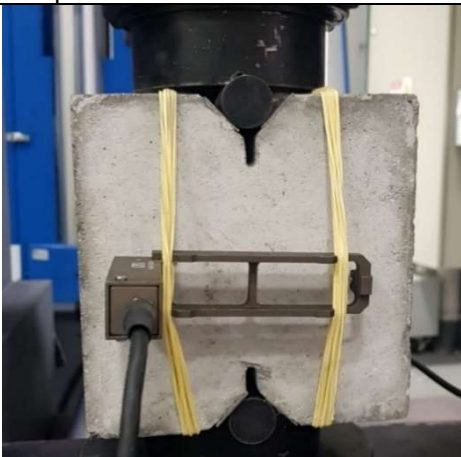
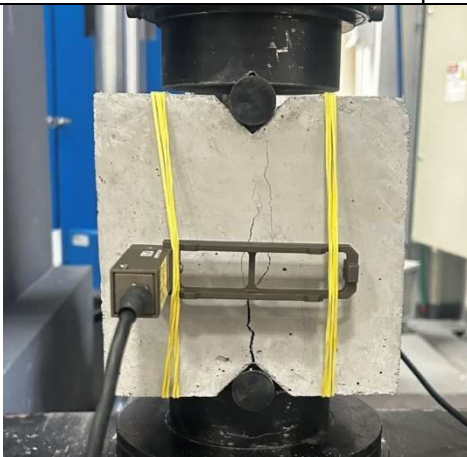
Fonte: Acervo pessoal

Os corpos de prova foram produzidos em dois métodos diferentes para investigar como o processo de fabricação afeta as propriedades mecânicas. O primeiro grupo foi moldado diretamente em formas projetadas para atender às dimensões específicas exigidas pelo ensaio

DEWS de medidas de 150 mm x 150 mm x 550 mm. Esta abordagem garantiu precisão na conformidade com as especificações do ensaio, evitando variações que poderiam influenciar os resultados. O segundo grupo de corpos de prova foi moldado inicialmente em formas maiores e, posteriormente, cortado para as dimensões desejadas utilizando uma serra de alta precisão. Essa metodologia visou avaliar o impacto do processo de corte sobre as características dos corpos de prova e seu desempenho no ensaio DEWS.

Após a moldagem ou corte, todos os corpos de prova foram submetidos a um processo de cura de 28 dias em uma câmara úmida com controle rigoroso de temperatura e umidade. A cura controlada foi essencial para garantir que o concreto alcance as propriedades mecânicas desejadas, evitando variações que poderiam comprometer a consistência dos resultados experimentais.

Para a preparação dos corpos de prova para o ensaio, foram fixadas chapas de metal nas faces de contato dos cilindros metálicos do ensaio com o uso de cola epóxi. Para melhorar a transferência de carga e garantir que o cilindro não se movesse durante o ensaio, foi aplicado pó de grafite sobre as chapas metálicas. O pó de grafite aumentou o atrito entre a superfície do cilindro e as chapas metálicas, assegurando uma transferência de carga mais eficiente e reduzindo o risco de deslizamento do cilindro ao longo do ensaio, eventual deslizamento causaria deslocamentos inconstantes, desvalidando o ensaio. Esta medida foi crucial para garantir que a carga fosse aplicada de maneira uniforme e precisa, suportando os esforços de tração e evitando possíveis falhas durante o teste. Apresenta-se na Figura 4 o corpo de prova pronto para a realização do ensaio e na Figura 5, após a fissuração.

<p>Figura 4: Ensaio DEWS realizado com detalhe no posicionamento do extensômetro</p>	<p>Figura 5: Corpo de prova do ensaio DEWS já fissurado conforme linha de fissura esperada</p>
	
<p>Fonte: Acervo pessoal</p>	<p>Fonte: Acervo pessoal</p>

O ensaio DEWS foi realizado utilizando uma prensa hidráulica de alta precisão, INSTRON GR049, configurada para aplicar a carga de compressão de forma gradual e uniforme. A prensa estava equipada com um sistema avançado de monitoramento que registrava em tempo real a magnitude da carga aplicada e o deslocamento vertical do pistão durante todo o ensaio. Esse sistema permitiu um controle preciso e uma análise detalhada do comportamento dos corpos de prova.

Durante o ensaio, o comportamento das fissuras foi monitorado com um extensômetro posicionado horizontalmente e perpendicular à linha de fratura esperada. Esse dispositivo proporcionou medições precisas da abertura das fissuras no concreto, fornecendo dados essenciais para a análise comparativa com o modelo matemático.

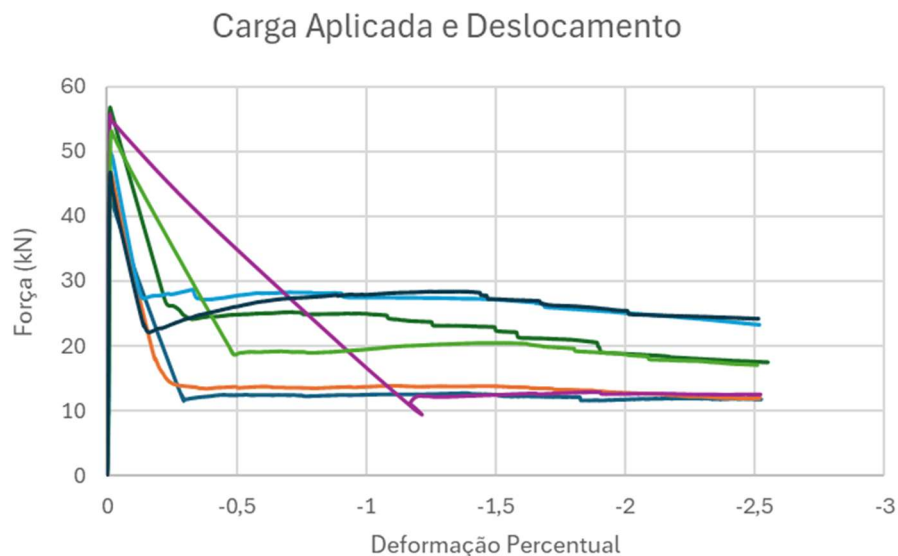
Antes dos ensaios, as dimensões finais de cada corpo de prova foram medidas para relacionar o deslocamento da prensa com a altura dos corpos de prova. Essa medição foi especialmente importante para garantir uma comparação justa entre os corpos de prova, pois as dimensões podem variar, especialmente para os corpos de prova cortados, onde a precisão do corte pode resultar em diferenças na distância entre as cunhas. Se as distâncias entre as cunhas fossem diferentes, a força aplicada no experimento poderia variar de um corpo de prova para outro. Ao comparar os corpos de prova com base no deslocamento percentual da prensa em relação à altura do corpo de prova, foi possível parametrizar os corpos de prova de forma mais uniforme, tanto para os cortados quanto para os moldados, que apresentaram dimensões finais mais constantes. Essa abordagem permitiu uma análise mais precisa dos resultados obtidos no experimento.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

Feitos os procedimentos descritos no capítulo anterior, os dados obtidos foram agrupados e plotaram-se gráficos das cargas aplicadas pela prensa versus o deslocamento vertical obtido, assim como os dados obtidos pelo monitoramento da abertura da fissura utilizando o extensômetro.

Para visualizar o comportamento do deslocamento do corpo de prova após a fissuração do concreto devido as cargas aplicadas pela prensa foram utilizadas as dimensões finais medidas previamente aos ensaios, para obter o deslocamento percentual da prensa sobre o corpo de prova. Foram obtidos os Gráficos 1 e 2.

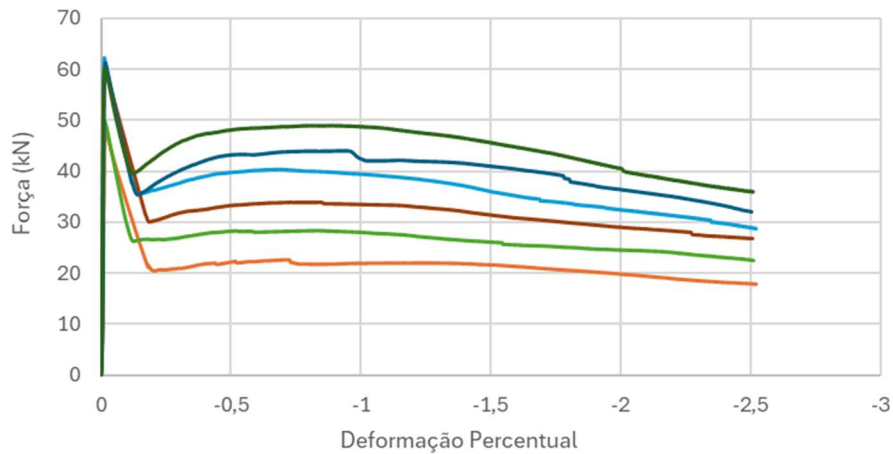
Gráfico 1: Cargas aplicada e deslocamento da prensa dos corpos de prova cortados



Fonte: Acervo pessoal

Gráfico 2: Cargas aplicada e deslocamento da prensa dos corpos de prova moldados

Carga Aplicada e Deslocamento

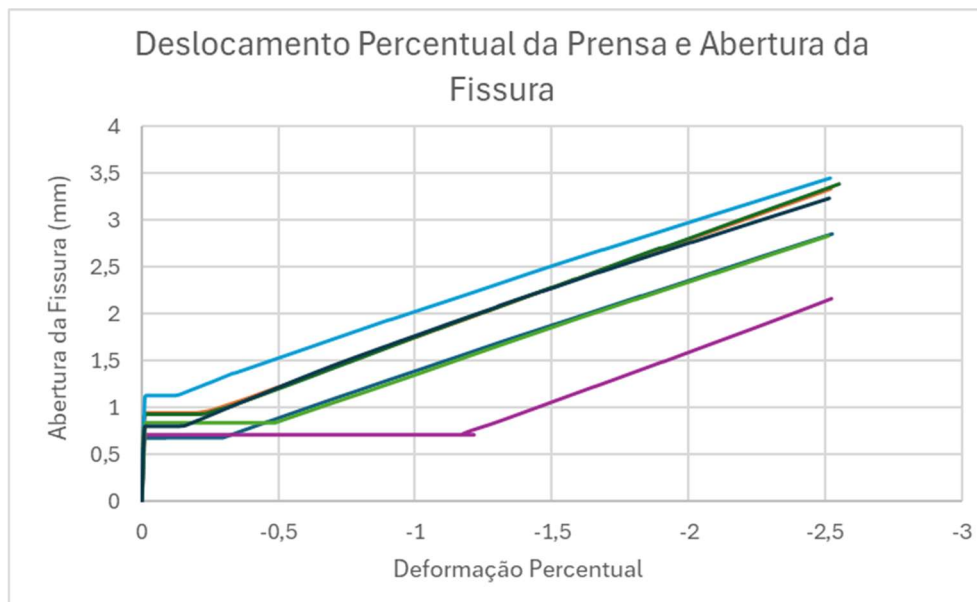


Fonte: Acervo pessoal

Nota-se no Gráfico 1 que, a princípio, durante a parte inicial do ensaio o deslocamento da prensa não ocorre, portanto não há deformação do corpo de prova até o ponto em que a carga rompe o CP. Pode-se observar que esse instante descrito são os picos de cada uma das amostras ensaiadas. Após o rompimento do concreto a carga diminui até se estabilizar e se manter uma faixa de platô. Esse valor foi influenciado pelo teor de fibras do corpo de prova. Tais platôs podem ser bem reconhecidos no Gráfico 1, no qual cada corpo de prova se mantém em uma faixa de carga semelhante ao longo do deslocamento da prensa.

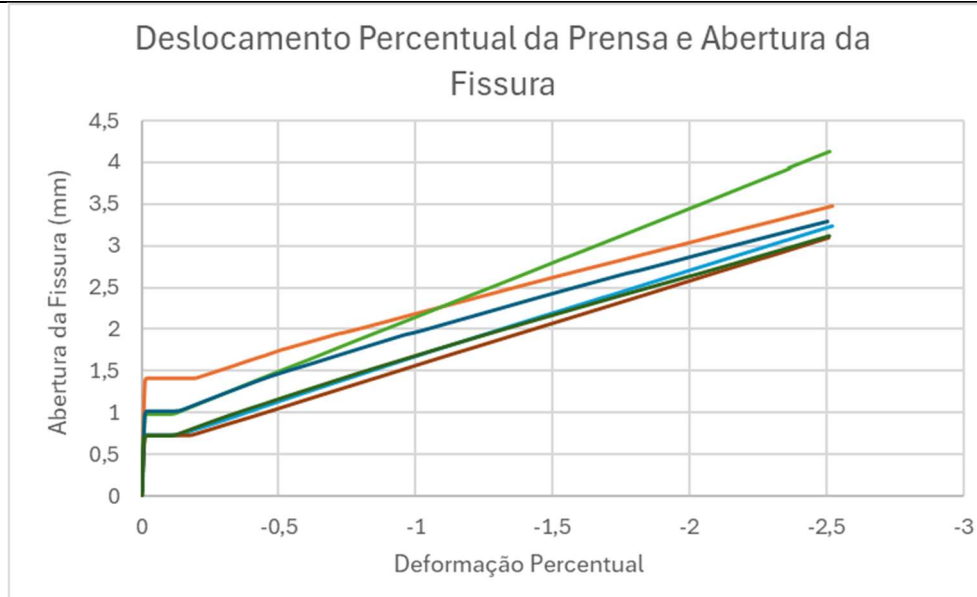
Com mais clareza desse fenômeno, pode-se correlacionar o deslocamento da prensa ao longo do ensaio com as leituras do extensômetro conforme apresentado nos Gráficos 3 e 4.

Gráfico 3: Leituras do extensômetro *versus* deslocamento percentual da prensa dos corpos de prova cortados



Fonte: Acervo pessoal

Gráfico 4: Leituras do extensômetro *versus* deslocamento percentual da prensa dos corpos de prova moldados



Fonte: Acervo pessoal

Nos gráficos acima pode-se ver que a relação entre a abertura da fissura é linearmente proporcional a abertura da fissura ao longo do ensaio. Pode ser observado que no início do carregamento existe um crescimento da abertura de fissura inicial com uma deformação percentual baixa. Isso acontece porque os corpos de prova estão se acomodando na prensa com a aplicação do carregamento inicial após esse período de adequação, à deformação percentual começa a aumentar, sem haver um aumento perceptível na abertura da fissura. Nesse momento o concreto estava resistindo as cargas aplicadas até que o concreto rompe e a abertura da fissura cresce gradualmente, linearmente relacionado a deformação da prensa sobre o corpo de prova. Pode-se notar esse comportamento das cargas tanto nos corpos de prova cortados (Gráfico 3) e os corpos de prova moldados (Gráfico 4).

Tal comportamento evidencia uma correlação do deslocamento da prensa e a abertura da fissura do ensaio, resultados de acordo com (SILVA, 2022). Para comprovar uma correlação linear de ambos esses parâmetros foi utilizado um modelo estatístico para verificar se realmente houve uma relação entre os dois indicadores.

O coeficiente de correlação de Pearson, também conhecido como modelo estatístico de Pearson, é uma ferramenta amplamente utilizada para quantificar a força e a direção da relação linear entre duas variáveis contínuas. Esse modelo é especialmente útil em análises onde se busca entender como uma variável pode influenciar outra de forma proporcional. O cálculo do coeficiente de correlação de Pearson envolve a relação entre a covariância das duas variáveis e o produto de seus desvios padrão, segundo (MARTINS, 2024), resultando em um valor que varia entre -1 e 1. O modelo estatístico de Pearson é calculado segundo a equação abaixo:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Onde:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \text{ e } \bar{y} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i \text{ são as médias aritméticas das variáveis}$$

Feitos os cálculos segundo o modelo estatístico de Pearson, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 2.



Tabela 2: Cálculo de correlação segundo modelo de Pearson

CP	Moldados	Cortados	
1	0,948	0,993	
2	0,990	0,986	
3	0,989	0,987	
4	0,992	0,970	
5	0,971	0,954	
6	0,987	0,987	
7	NA	0,986	Total
Média	0,980	0,981	0,980
Desvio Padrão	0,017	0,013	0,015

Um coeficiente de +1 indica uma correlação positiva perfeita, o que significa que, à medida que uma variável aumenta, a outra também aumenta de maneira proporcional. Um coeficiente de -1 indica uma correlação negativa perfeita, onde o aumento de uma variável corresponde a uma diminuição proporcional da outra. Um valor próximo de 0 sugere que não há correlação linear significativa entre as variáveis, indicando que a relação entre elas não é linear.

A utilização do coeficiente de correlação de Pearson neste trabalho foi adequada, dado que o objetivo foi analisar a relação entre o deslocamento da prensa e a abertura da fissura. Em situações em que o comportamento dos materiais sob carga é analisado, espera-se que o relacionamento entre as variáveis seja linear, pelo menos em certa medida. Assim, o modelo de Pearson permite não apenas verificar a existência dessa relação, mas também quantificar sua intensidade.

Os resultados obtidos neste estudo, com valores de correlação variando entre 0,948 e 0,993, indicaram uma correlação linear forte entre o deslocamento da prensa e a abertura da fissura. Isso significa que, conforme a prensa exerce maior deslocamento sobre o corpo de prova, a abertura da fissura tende a aumentar de maneira proporcional, evidenciando uma dependência direta entre essas duas variáveis.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As conclusões obtidas neste estudo fornecem um apoio significativo ao ensaio DEWS (Double Edge Wedge Splitting Test) como uma ferramenta eficaz e viável para o estudo de concretos reforçados com fibras, tanto metálicas quanto poliméricas. Além de comprovar a aplicabilidade do modelo matemático de Silva (2022) para fibras poliméricas, os resultados reforçam o potencial do ensaio DEWS em diversas frentes.

O ensaio DEWS destaca-se pela sua simplicidade e eficiência, apresentando um processo de execução consideravelmente mais fácil e econômico em comparação com outros ensaios atualmente prescritos em normas. O procedimento do DEWS exige menos recursos técnicos e logísticos, o que se traduz em custos operacionais reduzidos. Essa característica é particularmente relevante em cenários onde os recursos disponíveis para pesquisa e experimentação são limitados, permitindo que laboratórios com infraestrutura mais modesta possam realizar estudos detalhados sobre o comportamento do concreto reforçado com fibras.

Além disso, a simplicidade do ensaio DEWS facilita sua implementação em uma variedade maior de locais, incluindo centros de pesquisa, universidades e até mesmo laboratórios industriais



que, de outra forma, poderiam ter dificuldades em realizar ensaios mais complexos. A possibilidade de executar o DEWS com menos equipamentos especializados e com requisitos operacionais mais acessíveis faz com que este método seja uma opção viável para uma gama mais ampla de profissionais, ampliando a disseminação de seu uso.

A facilidade de execução e o menor custo do ensaio DEWS não comprometem a qualidade dos dados obtidos. Pelo contrário, este estudo demonstrou que o ensaio fornece resultados robustos e confiáveis, evidenciando correlações significativas entre o deslocamento da prensa e a abertura da fissura, fundamentais para o entendimento do comportamento do concreto reforçado com fibras.

Portanto, o ensaio DEWS se apresenta não apenas como uma alternativa viável, mas também como uma metodologia que pode ser amplamente adotada e disseminada no campo da engenharia civil. Seu uso pode impulsionar a pesquisa e a inovação em concretos reforçados com fibra, facilitando a experimentação em ambientes variados e promovendo avanços na compreensão e aplicação desses materiais. A expectativa é que, com o apoio contínuo da comunidade acadêmica e industrial, o ensaio DEWS ganhe ainda mais reconhecimento e se torne um método padrão no estudo de concretos reforçados com fibra, contribuindo para o desenvolvimento de soluções mais eficientes e acessíveis na construção civil.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16935 - Projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras – procedimento. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16938 - Concreto reforçado com fibras - controle da qualidade. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 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, 2021.

BORGES, L. A. C.; FIGUEIREDO, A. D.; MONTE, R. ANÁLISE DO EFEITO DA ORIENTAÇÃO DAS FIBRAS NA RESISTÊNCIA PÓS-FISSURAÇÃO POR MEIO DO ENSAIO DE COMPRESSÃO DE CORPOS DE PROVA COM DUPLO CORTE EM CUNHA. Anais do 56º Congresso Brasileiro do Concreto, 2014.

BORGES, Leonardo Augusto Cruz. Ensaio de compressão de corpo de prova com duplo corte em cunha na avaliação de concretos com baixos teores de fibra de aço. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2017.

CARMONA, S.; AGUADO, A. New model for the indirect determination of the tensile stress–strain curve of concrete by means of the Brazilian test. Departamento de Obras Civiles, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile, 2012.

DI PRISCO, M.; FERRARA, L. Double edge wedge splitting (DEWS): an indirect tension test to identify post-cracking behaviour of fibre reinforced cementitious composites. Politecnico di Milano, Milan, Italy, 2013.

DI PRISCO, M.; LAMPERTI, M. G. L.; LAPOLLA, S. Double-edge wedge splitting test: preliminary results. Department of Structural Engineering, Politecnico di Milano, Italy, 2010.

FIGUEIREDO, Antônio Domingues de. Concreto Reforçado com Fibras. 2011. 256 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

MARTINS, R. Estatística e probabilidade. [s.l.] Editora Senac São Paulo, 2024.



PROGRAMA INSTITUCIONAL DE
INICIAÇÃO CIENTÍFICA

SALVADOR, Rean Picolo; FERNANDES, Juliana Ferreira; DE FIGUEIREDO, Antonio. Avaliação do concreto reforçado com baixos teores de fibras para fins estruturais segundo a norma EN 14651-2007. Revista Matéria, 2015.

SANCHEZ, Igor Henrique Souza; DE CARVALHO, Lucas; PIMENTA, Wygor Alves Martins. Os benefícios efetivados no concreto a partir da adição de fibras de polipropileno. Graduação em Engenharia Civil – Centro Universitário UNA, 2022.

Contatos: matheus.rodrigues@concretophd.com.br e ligia.real@mackenzie.br