

## INCORPORAÇÃO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO EM CONCRETOS DE ALTA RESISTÊNCIA APLICADO A FUNDAÇÕES PRÉ-MOLDADAS: UMA ALTERNATIVA PARA A REDUÇÃO DO CONSUMO DE AÇO E CONCRETO

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.16.25.XI-021>

Christian Souza Barboza (\*), Agleison Ramos Omido, Felipe Almeida Cardoso, Gabriel Borges da Silva e Silvio Rodrigues da Silva Neto

\*Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD. [christianbarboza@ufgd.edu.br](mailto:christianbarboza@ufgd.edu.br)

### RESUMO

O concreto de alta resistência é amplamente empregado em fundações pré-moldadas, mas seu uso demanda elevado consumo de aço e cimento, materiais de alto custo e impacto ambiental. Nesse contexto, a adição de fibras de polipropileno tem sido estudada como alternativa para melhorar a tenacidade, controlar fissuras e reduzir a dependência de armaduras secundárias. Este trabalho teve como objetivo analisar o comportamento físico e mecânico de concretos de cimento Portland com adição de fibras de polipropileno, avaliando sua aplicabilidade como substituição parcial ao consumo de aço e concreto em fundações. O estudo experimental seguiu a NBR 12655 (2015) e utilizou o método de dosagem do ACI, com traços projetados para atingir 42 MPa, variando os teores de fibras em 0%, 0,05% e 0,35%. Foram realizados ensaios de resistência à compressão e tração por compressão diametral, abatimento do tronco de cone e absorção de água. Os resultados indicaram que o traço com 0,05% de fibras apresentou aumento de até 33,3% na resistência à tração aos 7 dias, além de comportamento mais dúctil nos modos de ruptura, possibilitando a redução da armadura destinada ao controle de fissuração. Por outro lado, o traço com 0,35% comprometeu a coesão da mistura, elevando a absorção de água e não apresentando ganhos significativos em resistência. Conclui-se que a incorporação de baixos teores de fibras de polipropileno é viável para aumentar a tenacidade e otimizar o consumo de aço e concreto em fundações pré-moldadas, recomendando-se estudos adicionais de durabilidade em longo prazo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Concreto de alta resistência; Fibras de polipropileno; Fundações pré-moldadas; Controle de fissuração; Sustentabilidade na construção.

### INTRODUÇÃO

O concreto de cimento Portland consolidou-se como o material mais utilizado na construção civil em escala global, desempenhando papel essencial em diferentes tipologias estruturais, desde pavimentos urbanos até grandes obras de infraestrutura. Sua popularidade deve-se à elevada resistência à compressão, durabilidade e possibilidade de adaptação a diferentes formas e aplicações (MEHTA; MONTEIRO, 2014). No cenário brasileiro, sua importância é ainda mais evidente, visto que a construção civil é um dos pilares do desenvolvimento econômico e social, sendo responsável por absorver grande parte da mão de obra e movimentar cadeias produtivas associadas.

Com o avanço das demandas construtivas, especialmente em empreendimentos que requerem desempenho superior, cresceu o uso de concretos de alta resistência. Esses materiais permitem reduzir dimensões de elementos estruturais, aumentar a durabilidade e otimizar recursos, características especialmente importantes em fundações pré-moldadas. No entanto, esse ganho de desempenho vem acompanhado de maior consumo de cimento e de aço, materiais cujo impacto ambiental e econômico é expressivo. O setor, portanto, enfrenta o desafio de buscar alternativas que combinem eficiência mecânica, sustentabilidade e viabilidade econômica.

O processo de fabricação do cimento Portland responde por significativa emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), representando cerca de 7 a 8% das emissões globais anuais (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Já a produção do aço demanda elevado consumo energético, além de custos financeiros expressivos, especialmente quando aplicado em grandes volumes de armaduras de fundações. Essa realidade coloca em evidência a necessidade de se adotar materiais complementares que possam reduzir tais consumos sem comprometer a segurança estrutural e a vida útil das construções.

Entre as soluções em estudo, a incorporação de fibras ao concreto tem recebido atenção especial. As fibras atuam como reforço secundário, melhorando propriedades mecânicas relacionadas à tração, à tenacidade e ao controle da fissuração. Dentre os diversos tipos disponíveis — como fibras metálicas, de vidro, de carbono e poliméricas —, as fibras de polipropileno destacam-se por apresentarem baixo custo, fácil obtenção no mercado e elevada resistência química, além de não reagirem com a matriz cimentícia (RAMOS et al., 2018).

A aplicação de fibras de polipropileno em concretos de alta resistência tem demonstrado efeitos positivos na redução da abertura e da propagação de fissuras, especialmente em ambientes agressivos, como aqueles encontrados em fundações sujeitas a variações de umidade. Silva et al. (2020) apontam que a presença dessas fibras aumenta a tenacidade do concreto e promove maior integridade estrutural mesmo após a fissuração inicial, sendo um recurso valioso para prolongar a durabilidade das estruturas.

Outros autores também reforçam os benefícios dessa tecnologia. Mendes et al. (2017) identificaram que concretos de alto desempenho com adição de fibras de polipropileno apresentaram melhor controle da fissuração em relação aos concretos convencionais, permitindo reduzir a dependência de armaduras secundárias. Ramos et al. (2018), por sua vez, demonstraram que as fibras funcionam como “pontes” que redistribuem tensões internas após a fissuração, retardando a abertura de trincas e favorecendo o comportamento pós-pico do material.

Embora o ganho em resistência à compressão não seja expressivo, estudos têm mostrado melhorias significativas na resistência à tração e na absorção de energia. Mehta e Monteiro (2014) destacam que a função essencial das fibras não está em aumentar a resistência última do concreto, mas sim em melhorar seu comportamento em situações críticas, como esforços de impacto, fadiga e tensões localizadas. Dessa forma, sua utilização é particularmente vantajosa em fundações pré-moldadas, onde a fissuração precoce pode comprometer a durabilidade e a segurança.

No entanto, a incorporação de fibras também pode impactar negativamente a trabalhabilidade do concreto fresco. Conforme observado por Silva et al. (2020), teores mais elevados de fibras tendem a reduzir o abatimento do tronco de cone devido ao aumento da coesão interna da mistura. Além disso, Ramos et al. (2018) apontam que a presença das fibras pode contribuir para a formação de vazios adicionais, elevando o índice de absorção de água e exigindo maior atenção no controle tecnológico. Esses aspectos reforçam a necessidade de estudos experimentais que equilibrem benefícios e limitações da técnica.

Diante disso, a utilização de fibras de polipropileno em concretos de alta resistência aplicados a fundações pré-moldadas surge como alternativa estratégica para reduzir o consumo de aço e concreto, ao mesmo tempo em que se busca aumentar a durabilidade e o desempenho estrutural. Trata-se de uma solução que alinha inovação tecnológica à sustentabilidade, ao permitir que estruturas mais eficientes sejam produzidas com menor impacto ambiental e custos otimizados.

## OBJETIVOS

Analisar o comportamento físico e mecânico de concretos de Cimento Portland com a adição de fibras poliméricas de polipropileno, como alternativa para o resumo de aço e concreto nestas estruturas

## METODOLOGIA

Inicialmente, com base nas recomendações da NBR 12655 ABNT (2015) e através do método de dimensionamento experimental de traços de concreto proposto pelo *American Concrete Institute* – ACI (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 2002), foi calculado para o alcance de uma resistência de 42,0 MPa o concreto referência e, a partir deste, seguiu-se a investigação para a incorporação de percentuais de fibras. Os traços são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1 – Traços unitários utilizados**

|     | <b>Cimento</b> | <b>Areia</b> | <b>Brita</b> | <b>Relação<br/>água/cimento</b> | <b>% de Aditivo<br/>superplastificante</b> | <b>% De fibras</b> |
|-----|----------------|--------------|--------------|---------------------------------|--------------------------------------------|--------------------|
| REF | 1              | 1,16         | 1,97         | 0,30                            | 0,075                                      | 0                  |
| T05 | 1              | 1,16         | 1,97         | 0,30                            | 0,075                                      | 0,05               |
| T35 | 1              | 1,16         | 1,97         | 0,30                            | 0,075                                      | 0,35               |

Fonte: Autores (2025)

A partir da correlação com a curva de resistência à compressão para o CP V Equação 1 - estimativa para as resistências do CP-V - NBR 6118 ABNT (2023), calculou-se o valor teórico esperado para o concreto referência aos 7 dias e, ainda, através das Equações 2 - estimativa da resistência à tração média aos 28 dias e 3 - estimativa da resistência à tração aos 7 dias NBR 6118 ABNT (2023), foram estimados os valores teóricos para as resistências à tração aos 7 e 28 dias para este mesmo traço.

$$f_{cm}(t) = f_{ck} \cdot \left( \frac{t}{t+3} \right)^{0,5}$$

equação (1)

$$f_{ctm,28d} = 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3}$$

equação (2)

$$f_{ctm,7d} = 0,70 \cdot f_{ck}$$

equação (3)

O cimento utilizado foi o Cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI), conforme os requisitos da NBR 16697 ABNT (2018). Os agregados graúdos e miúdos foram selecionados de acordo com a NBR 7211 ABNT (2023), visando garantir uniformidade granulométrica e baixo teor de materiais pulverulentos. A relação água/cimento foi ajustada para manter o desempenho mecânico do concreto sem comprometer sua trabalhabilidade, utilizando aditivo superplastificante a base de policarboxilato, compatível com o sistema cimentício, conforme NBR 11768 ABNT (2019), sendo o seu percentual estabelecido a partir da massa de cimento adotada.

As fibras de polipropileno utilizadas foram do tipo monofilamentar. As porcentagens de adição variaram entre 0%, 0,05% e 0,35% em volume de concreto, com base em recomendações de estudos anteriores, como os de Silva et al. (2020) e Mendes et al. (2017), que identificaram faixas eficientes para controle de fissuração e melhoria do desempenho pós-fissuração.

A mistura foi realizada em betoneira de eixo horizontal, com adição das fibras após a homogeneização da matriz cimentícia, conforme práticas recomendadas por Mehta e Monteiro (2014) para assegurar distribuição uniforme das fibras. O controle de consistência da mistura em estado fresco foi feito a partir do ensaio de abatimento do tronco de cone (slump test), conforme a NBR NM 67 ABNT (1998). Este ensaio foi fundamental para monitorar a influência da incorporação de fibras na trabalhabilidade da mistura, visto que teores mais elevados tendem a reduzir o abatimento devido ao aumento da coesão interna da massa.

Foram moldados 8 corpos de prova cilíndricos (Diâmetro = 100 mm, altura = 200 mm) por traço analisado, conforme a NBR 5738 ABNT (2015), sendo desmoldados após 24 horas e curados em câmara úmida ( $T \approx 23 \pm 2^\circ\text{C}$  e umidade relativa  $\geq 95\%$ ) por períodos de 7 e 28 dias.

A resistência à compressão axial foi determinada segundo a NBR 5739 ABNT (2018). Os corpos de prova foram submetidos a carregamento axial em prensa hidráulica com capacidade mínima de 1000 kN e velocidade de aplicação de carga entre  $0,45 \pm 0,15$  MPa/s.

A resistência à tração foi avaliada por meio do ensaio de compressão diametral, em conformidade com a NBR 7222 ABNT (2011). O ensaio foi realizado em prensa com capacidade compatível e dispositivo de aplicação de carga linear. A taxa de carregamento foi controlada para manter a integridade dos resultados. A adição de fibras é particularmente relevante para este ensaio, pois pode contribuir para a redistribuição de tensões após a fissuração inicial (RAMOS et al., 2018).

Além dos ensaios mecânicos, foi realizado o ensaio de absorção de água por imersão, conforme prescrito na NBR 9778 ABNT (2022). Este ensaio visa caracterizar a porosidade do concreto endurecido, tendo em vista que a adição de fibras pode influenciar na formação de vazios interconectados. Para isso, corpos de prova previamente secos em estufa ( $105 \pm 5^\circ\text{C}$ ) foram imersos em água por tempo determinado, sendo mensuradas as variações de massa para cálculo da absorção de água, massa específica aparente e índice de vazios. Esses parâmetros são relevantes para avaliar a durabilidade e o desempenho do concreto em ambientes agressivos, como aqueles associados a fundações. Sendo usado como parâmetro teórico as recomendações da NBR 9778 ABNT (2005) para os valores de absorção de concretos com alta resistência.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Caracterização das fibras de polipropileno e dos agregados utilizados

As fibras utilizadas são macrofibras de polipropileno, classificadas como Classe 2 segundo a NBR 16942 ABNT (2021). Apresentam densidade nominal de  $0,91 \text{ g/cm}^3$ , comprimento médio de 58 mm, diâmetro aproximado de  $480 \mu\text{m}$  e fator de forma igual a 120. Essas características dimensionais atendem aos requisitos normativos para fibras que promovem

controle eficaz da fissuração em matrizes cimentícias, contribuindo para a melhoria do desempenho mecânico e durabilidade do material (Figura 1).



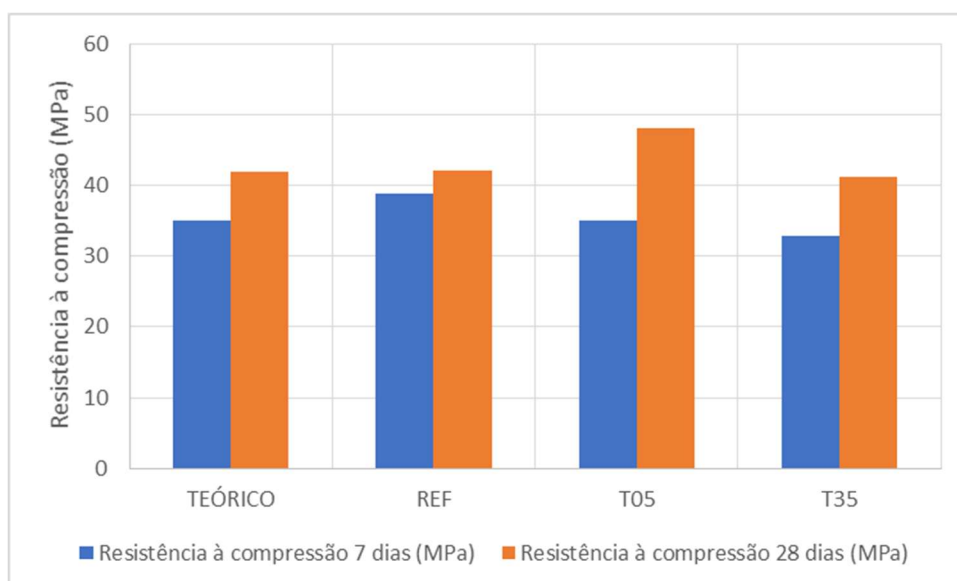
**Figura 1: Cores da coleta seletiva. Fonte: Autores do Trabalho.**

Os agregados utilizados na composição do concreto foram brita 1 e areia grossa, ambos classificados conforme a NBR 7211 ABNT (2023). A brita 1, de origem basáltica, apresentou dimensão máxima característica de 19 mm, massa específica de 2.670 kg/m<sup>3</sup> e absorção de água de 3,01%, características que indicam um agregado graúdo adequado para concretos estruturais, embora com uma absorção relativamente elevada. A areia utilizada apresentou massa específica de 2.400 kg/m<sup>3</sup> e módulo de finura de 2,9, indicando uma distribuição granulométrica bem ajustada e adequada para produção de concretos com boa trabalhabilidade e compacidade.

### Comportamento físico e mecânico dos concretos analisados

A análise dos resultados obtidos permitiu avaliar a influência da adição de fibras de polipropileno nas propriedades do concreto de alta resistência, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido.

Os resultados para as resistências à compressão, apresentados na Figura 2, indicam que o aumento da adição de fibras não comprometeu negativamente a resistência do concreto, em comparação com o valor teórico e o concreto referência, 42MPa aos 28 dias, sendo que o traço T05 apresentou, aos 28 dias valores superiores aos demais.

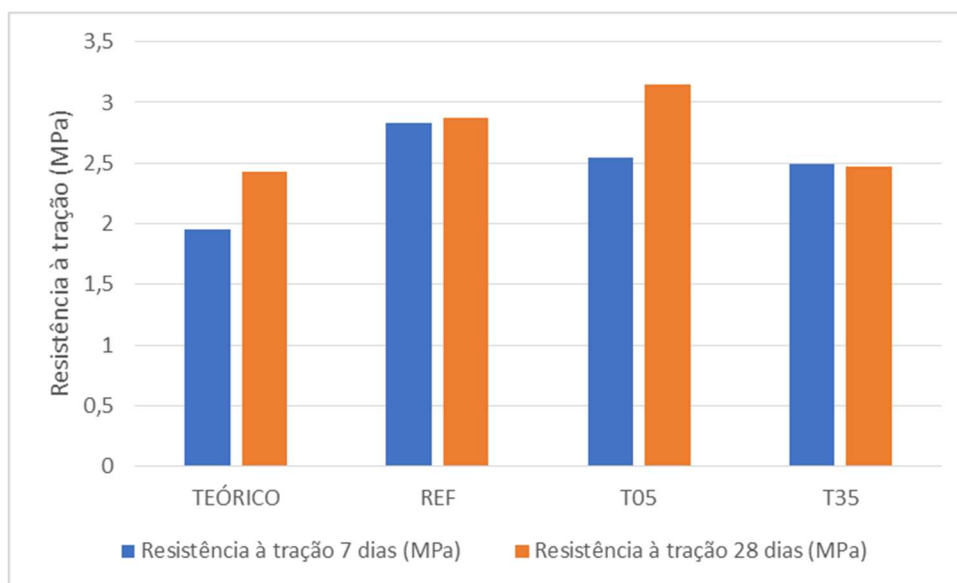


**Figura 2: Resultados para os ensaios de compressão. Fonte: Autores do Trabalho.**

A leve redução nas resistências com o aumento do teor de fibras, aos 7 em suas idades iniciais, está relacionada à possível introdução de vazios durante a mistura, além da ausência de contribuição estrutural direta das fibras no mecanismo de compressão, como discutido por Mehta e Monteiro (2014).

Seguindo a mesma tendência de comportamento das resistências à compressão, a resistência à tração foi positivamente influenciada pela adição de fibras no traço T05 (Figura 3), aos 28 dias, em comparação ao traço referência. Esse comportamento confirma a eficácia das fibras como elementos de ponte entre fissuras, promovendo redistribuição de tensões e retardando o processo de propagação de trincas, como também observado por Ramos et al. (2018).

Porém, o traço T35 apresentou um baixo desempenho, praticamente não ganhando resistências ao longo do tempo, fato este que pode ser atribuído a alta concentração de fibras, o que diminui a quantidade de argamassa às envolvendo, prejudicando o ganho de resistência mecânica.



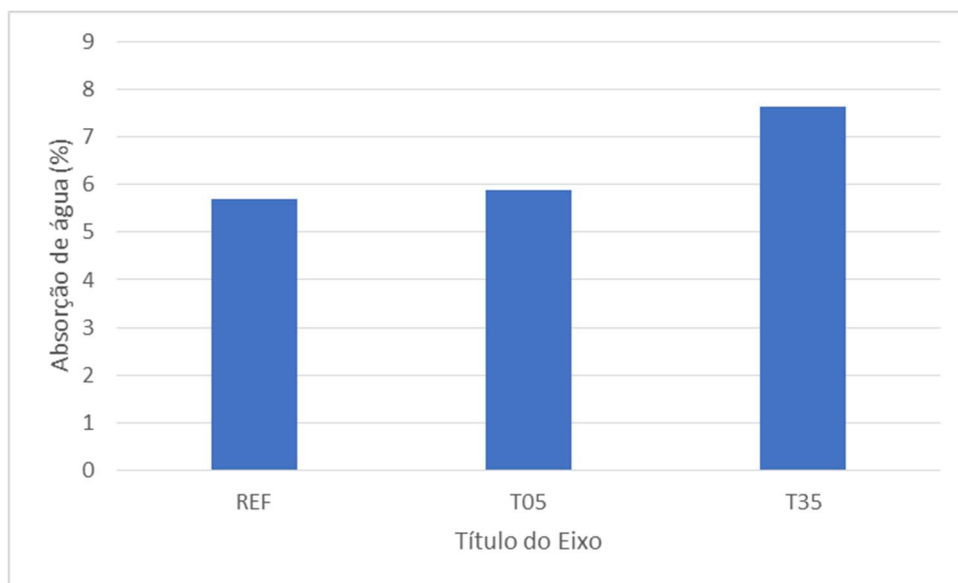
**Figura 3 – Resultados para os ensaios de traço por compressão diametral. Fonte: Autores do Trabalho.**

Aos 7 dias, teoricamente se esperava 1,95 MPa, enquanto os traços com 0,05% e 0,35% apresentaram resistências até 33,3% superiores em relação ao concreto convencional. Já traço referência apresentou valores substancialmente superior ao esperado nesta idade, chegando à 2,83 MPa.

O ensaio de abatimento do tronco de cone evidenciou uma redução da trabalhabilidade com o aumento do teor de fibras. O concreto de referência (sem fibras) apresentou um melhor desempenho, não sendo possível a verificação dos abatimentos dos traços com a adição de fibras, pois, estes apresentaram segregação e exsudação. Essa redução é atribuída ao aumento da coesão interna da mistura provocado pela presença das fibras, que dificulta o fluxo da massa cimentícia. Esse comportamento é coerente com o observado por Silva et al. (2020), que reportaram redução do abatimento superior a 30% com adição de 0,30% de fibras de polipropileno em concretos de alta resistência.

Tais comportamentos foram verificados na avaliação da absorção de água dos corpos de prova em estado endurecido. Esta propriedade nos dá noção da quantidade de poros conectados da matriz cimentícia, sendo correlacionada também ao percentual de vazios existentes (Figura 4)

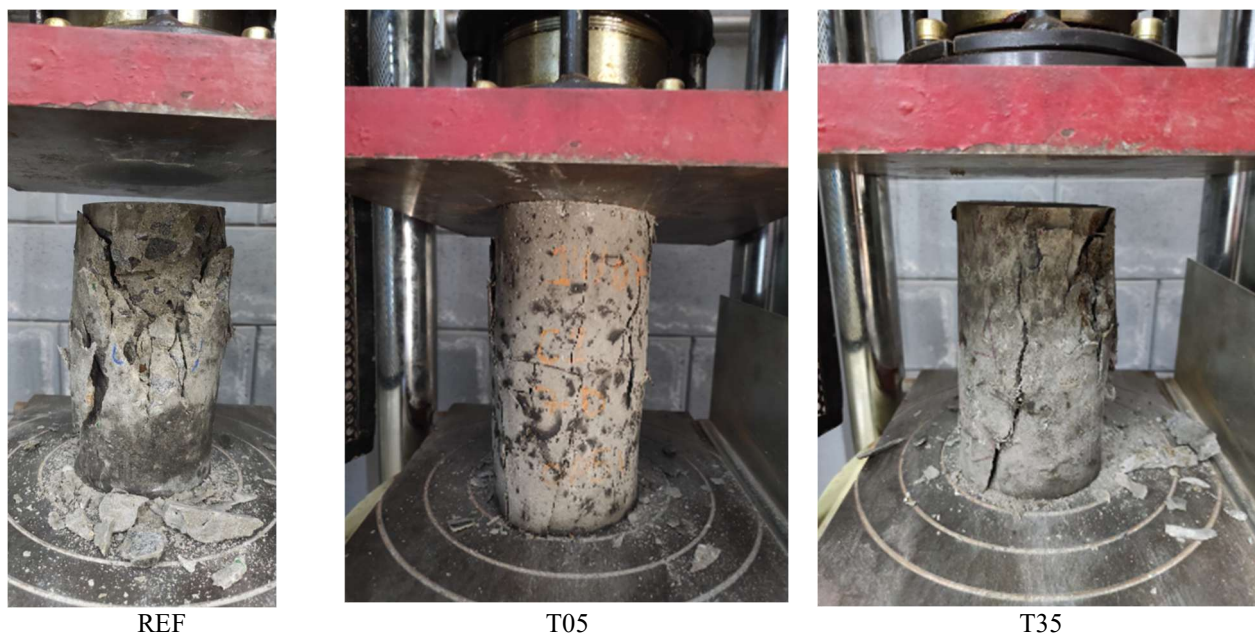
Os resultados do ensaio de absorção de água indicam um aumento da porosidade com o aumento do teor de fibras. Se esperava uma absorção entre 2,5% a 4,5%, porém, os traços com 0%, 0,05% e 0,35% registraram 5,7%, 5,87% e 7,62% respectivamente. Esse aumento pode estar relacionado à introdução de vazios pela incorporação de fibras e à possível formação de zonas de transição interfacial menos densas entre as fibras e a pasta de cimento. Embora o acréscimo na absorção não seja elevado, ele deve ser considerado em aplicações expostas a agentes agressivos, especialmente em ambientes saturados ou sujeitos a ciclos de secagem e umidade.



**Figura 4 – Resultados para os ensaios de absorção. Fonte: Autores do Trabalho.**

Outro ponto relevante, é o formato de ruptura dos materiais, pois, o concreto convencional, sem reforço de fibras, apresenta comportamento frágil após atingir sua resistência máxima. Durante o ensaio de compressão, por exemplo, observou-se inicialmente uma deformação elástica quase linear até a proximidade da carga de ruptura. A partir desse ponto, inicia-se a formação e coalescência de microfissuras na matriz cimentícia, concentradas principalmente nas zonas de transição interfacial (ZTI) entre a pasta e os agregados.

À medida que essas microfissuras se propagam, ocorre a perda abrupta da capacidade resistente, culminando em uma ruptura súbita, caracterizada por planos inclinados de cisalhamento e destacamento de agregados. Esse comportamento evidencia a baixa tenacidade e a limitada capacidade de absorver energia do concreto sem fibras, o que justifica a necessidade do uso de armaduras metálicas para controlar fissuras em estruturas de maior responsabilidade, como verificado na Figura 5.



**Figura 5 – Modos de ruptura no ensaio de compressão. Fonte: Autores do Trabalho.**

Quando fibras de polipropileno são incorporadas à matriz cimentícia, o comportamento pós-fissuração sofre alterações significativas. As fibras atuam como ponte de transferência de tensões, ligando as faces das fissuras e retardando sua abertura e propagação. Assim, embora a resistência última à compressão não seja substancialmente aumentada, o material passa a apresentar ruptura mais dúctil, com maior capacidade de deformação após o pico de resistência.

No ensaio tração indireta (compressão diametral), o efeito das fibras é ainda mais evidente: enquanto o concreto convencional rompe de forma frágil com uma única fissura longitudinal, o concreto reforçado com fibras apresenta múltiplas fissuras de menor abertura, distribuídas ao longo do corpo de prova (Figura 6).



**Figura 6 – Modo de ruptura do concreto no ensaio de tração indireta. Fonte: Autores do Trabalho.**

Esse comportamento confirma que as fibras não evitam a fissuração, mas controlam sua abertura e propagação, garantindo maior tenacidade e integridade residual do material mesmo após a formação de trincas. Consequentemente, o concreto com fibras apresenta melhor desempenho frente a solicitações dinâmicas, impactos, variações térmicas e esforços localizados, sendo altamente vantajoso em fundações pré-moldadas e outros elementos estruturais sujeitos a condições severas.

### **Relação entre o uso de fibras e os volumes de concreto e aço em fundações**

Os resultados obtidos evidenciam que a adição de fibras de polipropileno influencia diretamente o comportamento mecânico do concreto, com reflexos sobre a necessidade de consumo de aço e concreto em fundações pré-moldadas. O traço referência (sem fibras) apresentou desempenho satisfatório em termos de resistência à compressão, porém manteve o comportamento frágil típico do concreto convencional, exigindo maiores taxas de armadura para controle da fissuração, especialmente em elementos esbeltos.

Com a adição de 0,05% de fibras, verificou-se incremento na resistência à tração por compressão diametral aos 7 dias, quando comparado ao valor teórico esperado. Esse ganho, aliado ao desempenho pós-fissuração indica que o concreto reforçado com fibras pode contribuir para a redução parcial da armadura mínima, sobretudo aquela destinada ao controle de fissuração. Assim, em estacas ou blocos pré-moldados, a presença das fibras tende a diminuir a dependência do aço como único mecanismo de contenção das aberturas de trinca, possibilitando soluções com menor volume de armadura passiva.

Do ponto de vista do consumo de concreto, os resultados mostraram que o traço T05 apresentou bom comportamento mecânico em termos de resistência à tração, o que possibilita considerar redução de seções ou de espessuras adicionais de recobrimento utilizadas exclusivamente como medida preventiva contra fissuras. A resistência à compressão do traço T05 apresentou aumento redução em relação ao concreto referência, ajudando o desempenho estrutural, permitindo, portanto, a manutenção de elementos mais delgados sem prejuízo à segurança.

Já no traço T35, observou-se baixo ganho de resistência ao longo do tempo, associado ao excesso de fibras que comprometeu a coesão da matriz. Esse resultado demonstra que teores elevados podem não ser vantajosos, pois além de

não trazerem ganhos significativos em resistência, aumentaram a absorção de água (7,62%), o que impacta negativamente a durabilidade. Nesses casos, a necessidade de maior recobrimento ou o aumento do volume de concreto para compensar perdas de desempenho inviabilizam a economia pretendida.

Outro aspecto relevante é o modo de ruptura. Enquanto o concreto sem fibras apresentou falha súbita, com planos de cisalhamento bem definidos e destacamento de agregados, os traços com fibras apresentaram ruptura mais dúctil, caracterizada por múltiplas fissuras de pequena abertura. Esse comportamento residual garante maior segurança estrutural, uma vez que a presença das fibras retarda a propagação das trincas e mantém a integridade do elemento mesmo após o início da fissuração. Em termos de projeto, isso significa a possibilidade de redução da taxa de armadura mínima exigida exclusivamente para o controle da fissuração em fundações pré-moldadas.

## CONCLUSÕES

A partir dos resultados, podemos concluir que a incorporação de 5% fibras de polipropileno em concretos de alta resistência mostrou-se eficaz para aumentar a resistência à tração por compressão diametral, sem comprometer significativamente a resistência à compressão, porém a incorporação de teores maiores, como o de 35% não se mostrou uma alternativa viável, haja visto que não apresentou ganhos significativos quanto ao ganho de resistências à tração no concreto. Apesar da redução na trabalhabilidade e do leve aumento na absorção de água, os resultados indicam que o uso de fibras pode contribuir para maior tenacidade e controle de fissuração, sendo uma alternativa viável para fundações pré-moldadas. Recomenda-se a realização de estudos complementares voltados à durabilidade e ao desempenho estrutural em longo prazo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015.
2. ABNT. **NBR 5738: Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015.
3. ABNT. **NBR 5739: Concreto — Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018.
4. ABNT. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2023.
5. ABNT. **NBR 7222: Concreto — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011.
6. ABNT. **NBR 9778: Concreto endurecido — Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2022.
7. ABNT. **NBR 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019.
8. ABNT. **NBR 16697: Cimento Portland — Requisitos**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018.
9. ABNT. **NBR 16942: Fibras de polipropileno para concreto — Requisitos**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2021.
10. ABNT. **NBR 7211: Agregados para concreto — Especificação**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2023.
11. ABNT. **NBR NM 67: Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1998.
12. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 211.1-91: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete**. Detroit: ACI, 2002.
13. MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.
14. MENDES, R. F. et al. **Efeito da adição de fibras de polipropileno em concretos de alto desempenho**. *Revista Matéria*, v. 22, n. 1, p. 1–13, 2017.
15. RAMOS, D. J. A. et al. **Influência de fibras poliméricas nas propriedades mecânicas e físicas de concretos estruturais**. *Revista Engenharia Civil*, v. 28, n. 2, p. 45–54, 2018.
16. SILVA, T. L. da et al. **Avaliação do desempenho de concretos com fibras de polipropileno submetidos à cura térmica**. *Revista ALCONPAT*, v. 10, n. 3, p. 327–336, 2020.