



APLICAÇÃO DE MICROFIBRA DE POLIPROPILENO NO CONCRETO

Maycon Jefferson Soares Silva

Bacharelado do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA (pierremaycon@gmail.com)

Agnaldo Antonio Moreira Teodoro da Silva

*Professor Mestre do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA
(professoragnaldoantonio@gmail.com)*

RESUMO

O desenvolvimento de materiais de construção, especialmente o concreto, tem sido fundamental para impulsionar a inovação na construção civil. Nesse contexto, as fibras surgem como um aditivo crucial e como alternativa promissora no reforço do concreto, oferecendo vantagens significativas na resistência e durabilidade do material. Estas fibras são eficazes em controlar a fissuração por retração plástica e melhoram a durabilidade do concreto, especialmente em ambientes agressivos. Sendo assim, este estudo investiga o impacto das microfibras de polipropileno no comportamento mecânico do concreto, visando melhorar sua resistência e durabilidade. A pesquisa envolveu análises experimentais, incluindo testes de laboratório e ensaios em diferentes estágios de cura, para avaliar a eficácia das microfibras como aditivo para concreto. Além disso, considerou-se a viabilidade prática da utilização dessas fibras. Enquanto o concreto sem adição de fibras apresentou um abatimento de 125 mm, indicando uma consistência fluida, o concreto com a adição de fibra apresentou um abatimento de apenas 80 mm, também com uma consistência fluida. Os dados revelaram pequenas variações na resistência à compressão do concreto com adição de RCF em comparação com o concreto de referência. A análise dos resultados mostrou que em alguns casos houve aumento na resistência, enquanto em outros casos houve diminuição. Tais resultados podem contribuir para o desenvolvimento de soluções mais avançadas na construção civil, promovendo o avanço da ciência dos materiais e práticas de engenharia.

PALAVRAS-CHAVE: microfibras de polipropileno; concreto; resistência mecânica; durabilidade.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de materiais de construção, especialmente o concreto, tem sido fundamental para impulsionar a inovação na construção civil. Diante das crescentes demandas por construções mais seguras, duráveis e sustentáveis, é essencial explorar novas tecnologias e aditivos que possam melhorar o desempenho do concreto em diversas aplicações.

Nas últimas décadas, o desenvolvimento de concretos de alto desempenho (CAD) tem revolucionado a construção civil. Estes concretos são projetados para resistir a cargas extremas e ambientes agressivos, mantendo a durabilidade e a resistência mecânica. A adição de aditivos, fibras e técnicas de cura avançadas permite a criação de estruturas mais resistentes e duráveis (Neville, 2011).

Nesse contexto de inovação, as fibras surgem como um aditivo para o concreto. O uso de fibras em materiais de construção remonta à antiguidade, quando fibras naturais como palha eram misturadas ao barro para melhorar a resistência das construções (Schneider, 2004). O conceito moderno de Concreto Reforçado com Fibras (CRF) começou a se desenvolver nas décadas de 1960 e 1970, com a introdução de fibras metálicas e sintéticas no concreto (Bentur & Mindess, 2007). Nos últimos 30 anos, o desenvolvimento do CRF acelerou, com pesquisas focando em diferentes tipos de fibras como aço, vidro, polipropileno e carbono (Banthia e Figueiras, 1993).

As microfibras de polipropileno emergem como uma alternativa promissora no reforço do concreto, oferecendo vantagens na resistência e durabilidade do material. Estas fibras são eficazes em controlar a fissuração por retração plástica e melhoram a durabilidade do concreto, especialmente em ambientes agressivos (Bentur e Mindess, 2007). Embora não aumentem significativamente a resistência à tração do concreto, as microfibras de polipropileno melhoram a durabilidade e a resistência ao fogo, contribuindo para a longevidade das estruturas (Mindess, Young e Darwin, 2003).

As fibras de polipropileno são particularmente valorizadas por sua capacidade de reforçar a matriz do concreto e controlar a propagação de fissuras, resultando em um material mais tenaz e durável. A tenacidade, ou capacidade do material de absorver energia antes da fratura, é consideravelmente aumentada com a incorporação dessas fibras, o que resulta em um comportamento mais dúctil, desejável em estruturas que sofrem cargas dinâmicas ou impacto (Mehta & Monteiro, 2014). Além disso, as microfibras de polipropileno ajudam a reduzir a permeabilidade do concreto e melhoram sua resistência a ciclos de congelamento e descongelamento, prolongando a vida útil das estruturas (Mindess, Young, & Darwin, 2003).

Esta pesquisa visa preencher uma lacuna no conhecimento atual, analisando de forma sistemática e experimental o impacto das microfibras de polipropileno no comportamento mecânico do concreto. Ao realizar testes de laboratório e ensaios em diferentes estágios de cura, busca-se fornecer insights valiosos sobre como essas fibras influenciam a resistência à compressão, a trabalhabilidade e a durabilidade do material.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONCRETO COM FIBRAS

O concreto reforçado com fibras (CRF) é um material que incorpora fibras distribuídas uniformemente na matriz de concreto, melhorando diversas propriedades como resistência, durabilidade e tenacidade (Figura 1). As fibras utilizadas podem ser de aço, vidro, polipropileno, carbono e cada tipo oferece benefícios específicos ao concreto.

Figura 1 – Concreto reforçado com fibras



Fonte: <https://wasaki.com.br/quando-usar-o-concreto-reforcado-com-fibras-de-aco/>

Uma das principais vantagens do CRF é a melhoria da resistência à tração e à fissuração. As fibras aumentam a resistência à tração e ajudam a controlar a propagação de fissuras, resultando em estruturas mais robustas e menos propensas a danos ao longo do tempo (Bentur e Mindess, 2007). Além disso, o CRF aumenta a tenacidade e a ductilidade do concreto, permitindo que ele absorva mais energia antes de fraturar, o que é especialmente importante em estruturas sujeitas a cargas variáveis ou eventos sísmicos (Mehta e Monteiro, 2014).

As fibras também melhoram a resistência do concreto a condições ambientais severas. Elas reduzem a permeabilidade do concreto, melhorando sua resistência a ciclos de congelamento e descongelamento, ataques de cloretos e outras condições ambientais agressivas, prolongando assim a vida útil das estruturas (Mindess, Young e Darwin, 2003). Outra vantagem significativa é a resistência ao fogo. Fibras como as de polipropileno derretem em altas temperaturas, criando canais no concreto que aliviam a pressão do vapor e reduzem o risco de explosão durante um incêndio (ACI Committee 544, 1998).

No entanto, o CRF também apresenta desvantagens. O custo inicial pode ser mais elevado devido ao preço das fibras e aos processos de mistura e aplicação mais complexos (Taylor, 2001). A presença de fibras pode aumentar a viscosidade da mistura de concreto, dificultando sua aplicação, embora este problema possa ser mitigado com o uso de aditivos plastificantes (Addis, 2007). Além disso, alcançar uma distribuição uniforme das fibras na matriz de concreto pode ser desafiador, resultando em variações nas propriedades mecânicas do material (Bentur e Mindess, 2007).

O CRF é amplamente utilizado em diversas aplicações devido às suas propriedades melhoradas. Em pavimentos e revestimentos, ele é utilizado para reduzir a formação de fissuras e melhorar a resistência ao desgaste, resultando em superfícies mais duráveis e de menor manutenção (Banthia e Figueiras, 1993). Em estruturas de alta performance, como pontes, túneis e edifícios de grande altura, o CRF é valorizado por sua capacidade de resistir a cargas pesadas e condições ambientais adversas, garantindo segurança e longevidade (Chung, 1994). Além disso, o CRF é utilizado para reparar e reforçar estruturas existentes, melhorando sua resistência e durabilidade sem a necessidade de grandes intervenções (Naaman, 2006). Em aplicações subterrâneas, como túneis e estações de metrô, o CRF oferece resistência adicional e controle de fissuração, essenciais para a integridade estrutural e a segurança (Thomas e Ramaswamy, 2007).

O uso de fibras no concreto representa uma evolução significativa na tecnologia

dos materiais de construção, oferecendo uma combinação de resistência, durabilidade e versatilidade que atende às demandas modernas da engenharia civil. À medida que a pesquisa avança, espera-se que novas fibras e técnicas de incorporação melhorem ainda mais as propriedades do CRF, ampliando suas aplicações e benefícios.

Nos últimos anos, a pesquisa sobre concreto reforçado com fibras tem avançado significativamente, explorando novas fibras, técnicas de incorporação e aplicações que melhoram ainda mais as propriedades do concreto. Estudos recentes têm focado em diversos aspectos, como a melhoria da resistência mecânica, durabilidade, sustentabilidade e inovação em materiais.

Um dos focos principais dos estudos recentes é o uso de fibras naturais e recicladas para reforçar o concreto, visando sustentabilidade e redução de impacto ambiental. Pesquisadores têm explorado fibras de bambu, coco e outras fibras vegetais que oferecem uma alternativa ecológica às fibras sintéticas. Esses estudos mostram que as fibras naturais podem melhorar a resistência à tração e à fissuração do concreto, além de reduzir sua densidade, o que é benéfico para aplicações onde o peso é um fator crítico (Oliveira *et al.*, 2021). Além disso, o uso de fibras recicladas, como as obtidas de resíduos plásticos, tem ganhado atenção. Estudos indicam que fibras de polipropileno reciclado podem ser eficazes em melhorar a durabilidade e a resistência do concreto, contribuindo para a economia circular e reduzindo a quantidade de resíduos plásticos (Silva *et al.*, 2020). Essas pesquisas são importantes, pois alinham o desenvolvimento de materiais de construção com práticas sustentáveis, essenciais para enfrentar as mudanças climáticas e a gestão de resíduos.

A incorporação de nanotecnologia no CRF também é um campo emergente. Nanofibras e nanocompósitos estão sendo estudados por sua capacidade de melhorar significativamente as propriedades mecânicas e de durabilidade do concreto. A adição de nanotubos de carbono, por exemplo, pode aumentar a resistência à compressão e à flexão do concreto, além de melhorar suas propriedades elétricas e térmicas (Jiang *et al.*, 2019). Esses avanços abrem novas possibilidades para o uso do concreto em aplicações de alta tecnologia, como sensores embutidos e materiais de construção inteligentes.

Outro aspecto importante dos estudos recentes é o desenvolvimento de concretos autoadensáveis reforçados com fibras (CAF). Esses concretos combinam a trabalhabilidade superior do concreto autoadensável com a resistência adicional proporcionada pelas fibras. Pesquisas mostram que o uso de fibras metálicas e sintéticas em CAFs pode melhorar significativamente a resistência à fissuração, a durabilidade e a tenacidade, facilitando sua aplicação em projetos de infraestrutura complexos e em condições desafiadoras (Ferrara *et al.*, 2019).

Por fim, o impacto das fibras no comportamento do concreto em situações extremas, como incêndios e terremotos, continua a ser um tema de grande interesse. Estudos recentes destacam que o CRF pode melhorar significativamente a resistência ao fogo e a capacidade de dissipação de energia do concreto, tornando-o uma escolha ideal para construções em áreas sísmicas e para estruturas críticas onde a segurança contra incêndios é crucial (Ganesan *et al.*, 2022).

Esses estudos recentes demonstram que o campo do concreto reforçado com fibras está em constante evolução, com avanços que não apenas melhoram as propriedades do material, mas também promovem a sustentabilidade e a inovação em engenharia civil.

2.2 MICRO FIBRA DE POLIPROPILENO (MFP)

O polipropileno surge como uma alternativa promissora que oferece vantagens significativas na resistência e durabilidade do concreto. De acordo com Santos (2018, p. 45), "a incorporação de novos aditivos, como fibras, no concreto tem se mostrado uma

estratégia eficaz para melhorar suas propriedades mecânicas e aumentar sua durabilidade."

As microfibras de polipropileno tornaram-se famosas por suas propriedades únicas. Feito de polímeros sintéticos, o polipropileno microfibras é conhecido por sua capacidade de fortalecer o concreto em locais onde a resistência à tração é crítica. Quando adicionado ao concreto, não só melhora a capacidade de suporte de carga, mas também melhora a resistência à fissuração, especialmente em aplicações sujeitas a tensões ou impactos cíclicos (Santos, 2018).

O potencial das microfibras de polipropileno como um aditivo inovador para concreto, avaliando seu impacto na resistência e nas propriedades mecânicas do material. Procuramos analisar o desempenho do concreto por meio de testes de laboratório, como testes de abatimento e testes de ruptura de amostras. Com isto, esperamos contribuir para o avanço contínuo da ciência dos materiais de construção e para o desenvolvimento de soluções mais sustentáveis para a indústria da construção.

Na década de 1940, pesquisadores intensificaram os estudos sobre a retração, identificando diferentes tipos, como a plástica, por secagem, por carbonatação, autógena e por fluência. Powers e Brownyard (1948 apud Senisse, 2010) realizaram estudos pioneiros sobre a retração por secagem, desenvolvendo métodos para sua medição e cálculos matemáticos para estimar a idade de fissuração do concreto (Dong *et al.*, 2014).

A compreensão da retração por secagem levou ao desenvolvimento de diversas linhas de pesquisa, como os estudos de Coppeland e Bragg (1955), que propuseram métodos para medir a autodessecação do concreto. Outros pesquisadores, como Ababneh (2001), Boghossian e Wegner (2008), Bisschop e Van Mier (2003) e Piasta e Sikora (2015), investigaram a eficácia de diferentes abordagens para controlar a retração e evitar fissuras.

Estudos mais recentes destacam a influência do processo de dosagem do concreto na retração do compósito (Mehta; Monteiro, 2014) e a relação entre a quantidade de água na pasta de cimento e a retração da matriz (Neville, 1997). Carmona Filho e Carmona (2013) alertam para os danos causados por fissuras no concreto, tornando-o vulnerável a agentes externos como dióxido de carbono e íons cloretos.

Para combater as fissuras, as fibras têm sido amplamente estudadas como reforços em concretos e argamassas. Ostertag e Blunt (2010) exploraram a hibridização de reforços com fibras de aço e PVA, enquanto Senisse (2010) investigou o uso de microfibras de polipropileno para controlar a retração por secagem. Ehrenbring (2015) propôs o uso de reforços reciclados de poliéster para evitar a propagação de fissuras.

A escolha do tipo de fibra é guiada pelo potencial de cada material. Juarez *et al.* (2015) destacam as microfibras de PVA como excelentes reforços para as idades iniciais do concreto, enquanto as fibras de polipropileno são amplamente utilizadas como reforços poliméricos. As microfibras recicladas de poliéster também mostraram ser eficazes na contenção de fissuras em concretos, conforme pesquisa de Ehrenbring (2015).

Reforços poliméricos são materiais utilizados para melhorar as propriedades mecânicas de compósitos poliméricos ou de outros materiais. Esses reforços podem ser fibras ou partículas de polímeros que são adicionados à matriz polimérica para aumentar sua resistência à tração, compressão, flexão e impacto.

Os reforços poliméricos mais comuns incluem fibras de polipropileno, fibras de poliéster, fibras de aramida (como o Kevlar) e fibras de carbono. Cada tipo de fibra tem suas próprias características e propriedades mecânicas únicas, o que determina sua adequação para diferentes aplicações.

No caso das microfibras sintéticas à base de polímeros, sua aplicação pode fortalecer a matriz, tornando-a mais resistente à formação de microfissuras e reduzindo sua propagação, aumentando assim a resistência do material antes da ocorrência de fissuras (Hamoush, Abu-Lebdeh e Cummins, 2010; Ostertag e Blunt, 2010).

As fibras de polipropileno, por exemplo, são leves, têm boa resistência à abrasão e à corrosão e são frequentemente usadas em aplicações como concretos e argamassas para controlar a fissuração por retração. Além disso, as fibras de polipropileno oferecem excelente estabilidade dimensional e resistência à degradação química, tornando-as ideais para ambientes adversos. Sua incorporação em concretos e argamassas não apenas controla a fissuração por retração, mas também melhora a durabilidade e a vida útil das estruturas (Ostertag e Blunt, 2010). A Figura 2 apresenta uma ilustração das microfibras de polipropileno.

Figura 2 – Microfibras de polipropileno



Fonte: Autor, 2024.

Devido ao seu pequeno comprimento e espessura limitada, as microfibras são altamente eficazes em ações micro estruturais. Além disso, o baixo módulo de elasticidade das fibras poliméricas permite que elas intervenham apenas nas fases iniciais da mistura, quando a maioria das microfissuras se forma (Silva, 2007).

A adição de microfibras de polipropileno em concretos, especialmente aqueles com uma resistência característica à compressão, tem sido objeto de estudo e interesse significativos na engenharia civil. Este processo visa melhorar diversas propriedades do concreto, como sua resistência à tração, tenacidade e durabilidade. A inclusão de microfibras de polipropileno permite uma maior capacidade de absorção de energia, minimizando a propagação de fissuras e aumentando a capacidade de carga do material.

Além disso, a aplicação de cura úmida após a mistura do concreto é uma prática comum para garantir sua resistência e durabilidade. A cura úmida consiste na manutenção da umidade no concreto durante um período específico após a colocação, o que promove uma hidratação mais completa do cimento e, conseqüentemente, uma maior resistência final do material.

Os ensaios realizados, como os testes de resistência à compressão uniaxial e slump teste, são essenciais para avaliar o desempenho do concreto reforçado com microfibras de polipropileno. A resistência à compressão uniaxial é um indicador crucial da capacidade do concreto de suportar cargas de compressão, enquanto o slump teste fornece informações sobre a trabalhabilidade em condições reais de uso.

Autores renomados no campo da engenharia civil, como Mehta e Monteiro (2014) e Neville (1997), destacam a importância da adição de fibras poliméricas para melhorar as propriedades do concreto, enquanto Santos (2018) aborda os benefícios da cura úmida na

garantia da qualidade e durabilidade das estruturas de concreto.

O impacto das fibras de polipropileno no concreto não se limita apenas à resistência mecânica. Estudos indicam que essas fibras podem melhorar significativamente a resistência ao fogo do concreto. Durante um incêndio, as fibras de polipropileno derretem, criando canais no concreto que aliviam a pressão do vapor, reduzindo o risco de explosão do concreto (ACI Committee 544, 1998). Esta propriedade é particularmente útil em aplicações onde a resistência ao fogo é crítica, como em túneis e edifícios de grande altura (Schneider, 2004).

Além de melhorar a resistência ao fogo, as fibras de polipropileno também têm um papel importante na durabilidade do concreto em ambientes agressivos. Em estruturas expostas a condições severas, como salinidade ou agentes químicos, as fibras ajudam a reduzir a permeabilidade do concreto, minimizando a penetração de substâncias nocivas que podem deteriorar a matriz do concreto (Roy, 1989). Isso resulta em uma maior durabilidade das estruturas e em uma menor necessidade de manutenção ao longo do tempo (Taylor, 2001).

A trabalhabilidade do concreto também é influenciada pela adição de microfibras de polipropileno. Embora a presença de fibras possa aumentar a viscosidade da mistura, dificultando a sua aplicação, este efeito pode ser mitigado com o uso de aditivos plastificantes (MacDonald, 2010). Esses aditivos ajudam a manter a fluidez do concreto, facilitando sua colocação e garantindo um acabamento de alta qualidade (Addis, 2007).

Outro aspecto importante a ser considerado é o impacto ambiental da produção e uso do concreto. Com a crescente preocupação com a sustentabilidade, a indústria da construção busca continuamente por materiais e tecnologias que reduzam a pegada de carbono. As microfibras de polipropileno, por serem derivadas de polímeros sintéticos, têm um impacto ambiental menor comparado a outras fibras, como as metálicas, em termos de produção e reciclagem (Chung, 1994). Além disso, a utilização de concreto reforçado com microfibras pode prolongar a vida útil das estruturas, reduzindo a necessidade de reparos e substituições frequentes, o que contribui para a sustentabilidade (Naik, 2008).

As aplicações das microfibras de polipropileno são vastas e incluem desde pavimentos e revestimentos até estruturas de alta performance, como pontes e edifícios de grande altura. A versatilidade dessas fibras permite seu uso em uma ampla gama de projetos, proporcionando benefícios significativos em termos de desempenho e durabilidade (Chung, 1994). Em pavimentos, por exemplo, as microfibras ajudam a reduzir a formação de fissuras e melhoram a resistência ao desgaste, resultando em superfícies mais duráveis e de menor manutenção (Banthia e Figueiras, 1993).

Além das aplicações práticas, o estudo das microfibras de polipropileno no concreto também tem implicações teóricas importantes. A análise microscópica do concreto reforçado com fibras revela como essas fibras interagem com a matriz de cimento, formando uma rede que impede a propagação de fissuras e aumenta a resistência do material (Schneider, 2004). Esta compreensão detalhada dos mecanismos de reforço é essencial para o desenvolvimento de novas formulações de concreto e para a otimização de suas propriedades (Neville, 2011).

A pesquisa contínua e o desenvolvimento na área de concreto reforçado com fibras, e especificamente com microfibras de polipropileno, têm o potencial de transformar a indústria da construção. Com o apoio de estudos experimentais e teóricos, engenheiros e pesquisadores podem desenvolver novas técnicas e materiais que atendam às demandas por construções mais seguras, duráveis e sustentáveis (Jackson, 2014). A integração dessas inovações na prática de engenharia civil não só melhora a qualidade das estruturas, mas também promove uma abordagem mais responsável e sustentável para o desenvolvimento urbano (Taylor, 2001).

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1 MATERIAIS

A pesquisa em questão visa avaliar a incorporação de microfibras de polipropileno no concreto. Para alcançar esse objetivo, adotou-se uma metodologia que consiste na realização de testes comparativos entre corpos de prova contendo e não contendo a adição de microfibras de polipropileno, com o foco estará na determinação da resistência à compressão de cada tipo de concreto. A escolha por essa abordagem é respaldada pela capacidade das microfibras de polipropileno em fortalecer a matriz do concreto e mitigar tanto a formação quanto a expansão das fissuras, conforme indicado por estudos anteriores (Ostertag & Blunt, 2010).

No planejamento desta pesquisa, decidiu-se utilizar o cimento Portland CII Z 32, uma escolha amplamente aceita e disponível no mercado, conhecida por suas propriedades adequadas à produção de concreto estrutural. Ao elaborar esse roteiro, levou-se em consideração não apenas os aspectos técnicos relacionados à composição do concreto, mas também a relevância e a viabilidade prática do estudo.

Os materiais usados na pesquisa foram fornecidos pela UniEVANGÉLICA. Os materiais foram testados no laboratório para composição do traço apresentado na Tabela 2 e na Figura 3.

Figura 3 – Materiais selecionados para o concreto



Fonte: Autor, 2024.

Inicialmente, uma análise das características dos materiais disponíveis foi conduzida, levando em consideração fatores como granulometria, umidade e resistência. Após uma pesquisa, os seguintes materiais foram escolhidos para compor a mistura: cimento Portland CII Z 32, areia de granulometria grossa, brita nos tamanhos 0 e 1, e o aditivo plastificante, selecionado como traço referência, para 7 corpos de provas. São apresentadas na abaixo as proporções e composição do traço de referência, conforme Tabela 2.

Para o traço específico investigado, as microfibras de polipropileno foram adicionadas em teores de 1% em relação ao cimento, logo adicionou-se 73,4 gramas.

Tabela 2 – Traço referência para mistura do concreto

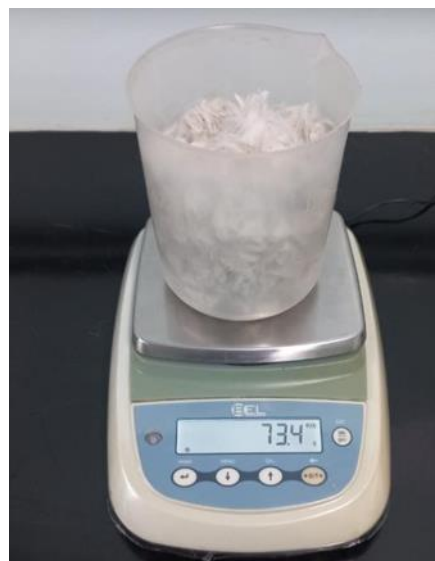
Cimento	Areia	Brita 1	Brita 0	Água
1,0	1,3	1,2	1,2	0,5
421	551	492	492	230

Número de Corpos de Prova	7	Altura cm	20	Largura cm	10
---------------------------	---	-----------	----	------------	----

Massa necessária (Kg)				
Cimento	Areia	Brita 1	Brita 0	Água
7,28	9,51	8,49	8,49	3,97

Fonte: Autor, 2024.

Figura 4 – Processo de pesagem das fibras de polipropileno



Fonte: Autor, 2024.

A precisão na pesagem de cada componente é essencial para garantir a qualidade e as propriedades desejadas do concreto. No caso do traço selecionado, é crucial calcular os volumes unitários de cada material com precisão. A manutenção das proporções corretas é fundamental para garantir a resistência e durabilidade adequadas da estrutura de concreto (ABNT NBR 12655:2015).

Figura 5 – Pesagem dos materiais selecionados para o concreto



Fonte: Autor, 2024.

Durante o processo de pesagem, nenhum elemento do concreto foi substituído. Isso garante a conformidade com as normas e especificações técnicas, preservando a integridade e a qualidade do material resultante. Os resultados obtidos nos cálculos devem ser devidamente registrados e documentados para referência futura e análise da consistência da mistura (ABNT NBR 7211:2020). Essa atenção aos detalhes é refletida na Figura 5 pesagem dos materiais selecionados para o concreto.

Para garantir a uniformidade e a qualidade da mistura, foi empregada uma betoneira devido ao grande volume de massa a ser processado. A ordem de adição dos materiais seguiu uma sequência cuidadosamente planejada para otimizar a homogeneização e evitar segregação. Conforme recomendações da ABNT, é essencial seguir procedimentos adequados para garantir a uniformidade e a consistência da mistura de concreto (ABNT NBR 7212:2012).

Os materiais foram adicionados à betoneira na seguinte ordem: primeiro a brita, seguida pela metade do volume de água, o cimento, a areia e, por fim, o restante da água. Essa sequência foi escolhida com base na experiência prática e nas diretrizes das normas técnicas aplicáveis. A adição dos materiais de forma ordenada contribui para a eficiência do processo de mistura e para a obtenção de um concreto homogêneo e de qualidade (ABNT NBR 12655:2015).

É importante ressaltar que durante o processo de mistura, é necessário garantir o tempo adequado de homogeneização e a rotação adequada da betoneira, conforme especificado nas normas técnicas. Esses cuidados são essenciais para assegurar a qualidade e a durabilidade do concreto final, além de minimizar possíveis problemas de segregação ou irregularidade na mistura (ABNT NBR 7215:1996). Esses cuidados são evidenciados na Figura 6.

Figura 6 – Processo de mistura em betoneira



Fonte: Autor, 2024.

3.2 ENSAIOS

Avaliando a trabalhabilidade da mistura e a consistência do concreto, foram conduzidos testes de abatimento, conhecidos como slump test. Esses testes visaram comparar o comportamento do traço convencional com o traço modificado com a adição de fibras. A aparelhagem do *slump test* comporta um molde de metal, haste de adensamento, placa de base, régua ou trena metálica, concha em seção U e uma colher de pedreiro. A Figura 7 mostra as ferramentas necessárias para o ensaio supracitado.

Figura 7 – Ferramentas para o slump test



Fonte: Meia Colher (2018).

Após a conclusão dos testes de abatimento, deu-se início ao processo de modelagem. Nesta fase, foram moldados 28 corpos de prova com dimensões padronizadas de 10 cm x 20 cm, divididos igualmente entre os traços convencional e modificado. O objetivo foi realizar uma análise comparativa entre os dois tipos de concreto.

Durante o processo de moldagem, adotaram-se medidas rigorosas para garantir a precisão e a homogeneidade dos corpos de prova. Todos os moldes foram preenchidos de forma cuidadosa e uniforme, e em seguida submetidos a um processo de vibração para minimizar a formação de espaços vazios, conhecidos como bicheiras. As medidas foram adotadas para minimizar qualquer fonte potencial de erro durante o processo a seguir da Figura 8 .

Figura 8 – Modelagem dos corpos de provas



Fonte: Autor, 2024.

Os corpos de provas foram imersos completamente em água, iniciando-se 48

horas após a moldagem dos corpos de prova. Essa prática visa garantir que não haja deficiência de água durante o processo de cura, o que poderia comprometer a resistência e durabilidade do material. A Figura 9 ilustra o processo de cura úmida, destacando a importância de garantir condições ideais para manter a resistência e durabilidade do concreto ao longo do tempo.

Figura 9 – Cura Úmida

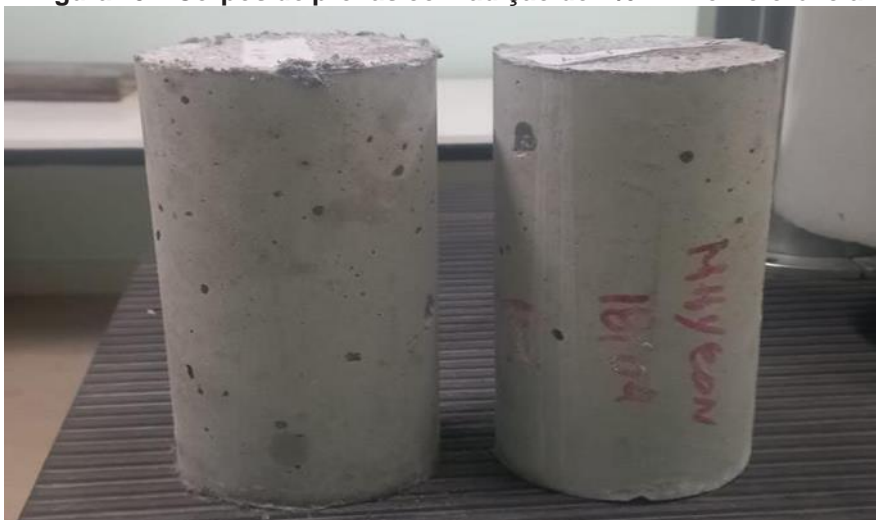


Fonte: Autor, 2024.

Conforme previamente definido no protocolo de pesquisa, os corpos de prova foram submetidos a ensaios de resistência à compressão em laboratório. Esses testes foram conduzidos em intervalos específicos de 7, 14 e 21 dias de cura. O objetivo principal foi investigar como a presença das microfibras de polipropileno influencia o desempenho mecânico do concreto em cada fase do processo de cura. A realização desses ensaios em múltiplos momentos de cura permite uma análise da evolução da resistência do concreto ao longo do tempo.

Foram preparados corpos de prova cilíndricos de concreto com dimensões e características conforme especificado pela NBR 5739. Os corpos de prova foram divididos em dois grupos: um grupo de controle, composto por corpos de prova de concreto com adição de 1% de MFP, e composto por corpos de prova de concreto de referência sem adição de MFP de acordo com a Figura 10.

Figura 10 – Corpos de provas com adição de 1% MFP e Referência



Fonte: Autor, 2024.

A Figura 11 retrata o corpo de prova utilizado nos ensaios de resistência à

compressão em laboratório.

Figura 11 – Corpo de prova ensaio de resistência à compressão em laboratório



Fonte: Autor, 2024.

4 RESULTADO E DISCUSSÕES

A seguir, é apresentada a Classificação de consistência pelo ensaio de abatimento de tronco de cone (Tabela 3).

Tabela 3 – Classificação de consistência pelo ensaio abatimento de tronco de cone

Classificação	Abatimento do tronco de cone (mm)
Extremamente seco	-
Muito rígido (mantém formato)	-
Rígido	0 a 25
Pouco fluido	25 a 75
Fluido	75 a 125
Muito fluido	125 a 190

Fonte: ACI 211.R3-02 (2009, p.2); adaptado pelo autor

Os resultados obtidos nas Figuras 12 e 13 demonstraram diferenças significativas entre os dois traços. Enquanto o concreto sem adição de fibras apresentou um abatimento de 125 mm, indicando uma consistência fluida, o concreto com a adição de fibra apresentou um abatimento de apenas 80 mm, também com uma consistência fluida.

Essa redução no abatimento sugere uma maior coesão e menor capacidade de deformação do concreto modificado com fibras, o que pode influenciar diretamente em sua trabalhabilidade e na facilidade de moldagem (Mehta e Monteiro, 2014).

A análise dos resultados do slump test é fundamental para entender as características reológicas da mistura de concreto e sua adequação para diferentes aplicações. Traços com menor abatimento podem ser mais adequados para aplicações que exigem maior controle dimensional e resistência à segregação, enquanto traços com maior abatimento podem ser mais indicados para processos de concretagem que requerem

maior fluidez e facilidade de colocação, segundo a ABNT NBR7212 (2012).

Figura 12 – Slump Test do concreto referência



Fonte: Autor, 2024.

Figura 13 – Slump Test concreto com adição de 1% microfibras de polipropileno (MFP)



Fonte : Autor, 2024.

Ao comparar os resultados, é possível observar que existe influência da fibra de polipropileno na resistência do concreto ao longo do tempo aumentando o tempo para atingir a ruptura, representando nesse caso uma maior curva de ruptura.

Para calcular a diferença percentual entre os valores de resistência à compressão do concreto com adição de microfibras de polipropileno em relação ao concreto de referência, usou-se a equação (1):

$$\Delta(\%) = \left(\frac{RCF - RCC}{RCC} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:

- **RCF** é a resistência à compressão de concreto com adição de microfibra de polipropileno
- **RCC** é a resistência à compressão do concreto referência.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados dos ensaios de corpos de prova com a diferença percentual.

Tabela 4 – Resultados dos ensaios de corpos de prova com diferença percentual

IDADE	ID. CP	TENSÃO RUPTURA RCC (MPa)	ID. CP	TENSÃO RUPTURA RCF (MPa)	$\Delta(\%)$:
7 Dias	5	8,7	4	8,9	2,3%
7 Dias	4	9,1	6	8,9	- 2,2%
7 Dias	1	9,4	5	9,3	- 1,1%
MÉDIA		9,1		9,0	- 0,33%
DESVIO PADRÃO		0,35		0,23	0,02
14 Dias	7	9,0	8	9,4	4,4 %
14 Dias	8	10,4	9	9,5	- 8,7 %
14 Dias	9	10,4	7	10,0	- 3,8%
MÉDIA		9,9		9,6	- 2,70%
DESVIO PADRÃO		0,81		0,32	0,07
21 Dias	11	10,1	12	10,3	2,0%
21 Dias	14	11,1	14	10,4	- 6,3%
21 Dias	13	12,7	11	10,9	-14,2%
MÉDIA		11,3		10,5	- 6,8
DESVIO PADRÃO		1,31		0,32	0,08

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

Os dados revelaram pequenas variações na resistência à compressão do concreto com adição de RCF em comparação com o concreto de referência. A análise dos resultados mostrou que em alguns casos houve aumento na resistência, enquanto em outros casos houve diminuição. Os resultados sugerem que a adição de 1% de MFP pode influenciar a resistência à compressão do concreto em diferentes estágios de cura. Observou-se que a proporção de microfibra adotada reduziu em média 6,8% da resistência do concreto.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo investigou o impacto das microfibras de polipropileno no comportamento mecânico do concreto, visando melhorar sua resistência e durabilidade. Por meio de análises experimentais, incluindo testes de laboratório e ensaios em diferentes estágios de cura, foram avaliadas a eficácia e as potencialidades dessas microfibras como aditivo para o concreto.

A adição de microfibras de polipropileno ao concreto mostrou ter um impacto em suas propriedades mecânicas. Embora os resultados variem em diferentes estágios de cura, observou-se uma tendência geral de redução na resistência à compressão do concreto com a adição de microfibras. No entanto, a magnitude dessas variações pode depender de vários fatores, incluindo distribuição e dosagem das microfibras, características do material e condições de cura.

A dosagem e distribuição adequadas das microfibras de polipropileno são importantes para garantir resultados satisfatórios. Estudos futuros devem se concentrar na otimização desses parâmetros para maximizar os benefícios das microfibras no concreto.

Cada aplicação pode exigir uma abordagem única em termos de dosagem e tipo de microfibras utilizadas. Portanto, é fundamental realizar estudos específicos para cada caso de uso, levando em consideração as características específicas do projeto e do ambiente.

O estudo possui limitações, como sua base em dados experimentais de laboratório e foco exclusivo na resistência à compressão do concreto. Estudos futuros devem explorar outras propriedades do material e considerar condições de campo para compreensão mais ampla de seu comportamento.

No contexto da construção civil, este estudo representa um avanço significativo para soluções mais avançadas e sustentáveis. Ao investigar o uso de microfibras de polipropileno como aditivo, contribui-se para o desenvolvimento da ciência dos materiais e práticas de engenharia na construção.

Com a demanda crescente por construções seguras, duráveis e sustentáveis, a pesquisa de novas tecnologias e materiais é crucial. As microfibras de polipropileno oferecem melhorias na resistência e durabilidade do concreto, destacando-se como uma inovação promissora. Este estudo, portanto, enriquece o conhecimento nesta área e orienta futuras pesquisas e aplicações práticas.

REFERÊNCIAS

ACI COMMITTEE 544. **Guide for Specifying, Proportioning, Mixing, Placing, and Finishing Steel Fiber Reinforced Concrete**. American Concrete Institute, 1998.

ADDIS, W. **Building: 3000 Years of Design, Engineering and Construction**. Phaidon Press, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Aditivos para concreto de cimento Portland - Especificação**, NBR 7215:1996. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Agregados para concreto – Especificação**, NBR 7211:2020. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Concreto - Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos**, NBR 5739:2007. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Concreto de Cimento Portland - Preparo, controle e recebimento - Procedimento**, NBR 12655:2015. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Execução de concreto dosado em central - Procedimento**, NBR 7212:2012. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**, NBR 6118:2004. Rio de Janeiro, 2004.

BANTHIA, N.; FIGUEIRAS, J. A. **Fiber-Reinforced Concrete: Developments and Innovations**. Elsevier Applied Science, 1993.

- BANTHIA, N.; FIGUEIRAS, J. A. **Innovations and Developments in Concrete Materials and Construction**. Elsevier Applied Science, 1993.
- BENTUR, A.; MINDESS, S. **Fiber Reinforced Cementitious Composites**. CRC Press, 1990.
- BENTUR, A.; MINDESS, S. **Fibre Reinforced Cementitious Composites**. CRC Press, 2007.
- CARMONA FILHO, F.; CARMONA, J. **Patologia das construções**. 5. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013..
- CHUNG, D. D. L. **Carbon Fiber Composites**. Butterworth-Heinemann, 1994.
- DONG, X. *et al.* Shrinkage characteristics of ultra-high performance concrete. **Construction and Building Materials**, v. 66, p. 321-328, 2014..
- EHRENBRAING, M. L. **Contribuição para o entendimento do desenvolvimento microestrutural de materiais cimentícios autossustentáveis: o caso das fibras de poliéster recicladas**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
- FERRARA, L.; PARK, Y. D.; SHAH, S. P. A 3D numerical study of the seismic behavior of steel fiber reinforced concrete beams. **Materials and Structures**, v. 52, n. 4, p. 69-80, 2019.
- GAMBHIR, M. L. **Tecnologia do Concreto**. Tata McGraw-Hill Education, 2013.
- GANESAN, N.; INDIRA, P. V.; SANTHAKUMAR, A. R. Behavior of high strength fiber reinforced concrete structural members subjected to impact loading. **Journal of Structural Engineering**, v. 148, n. 10, p. 03122006, 2022.
- GHORBANI, S. *et al.* **Steel Fiber Reinforced Self-Compacting Concrete: A Comprehensive Review**. Springer, 2020.
- GHOSH, S. K. **Cement and Concrete: A History**. Taylor & Francis, 2003.
- JACKSON, M. D.; KOSMATKA, S. H. **Concrete: A Material History**. John Wiley & Sons, 2015.
- JACKSON, N. **Civil Engineering Materials**. Macmillan International Higher Education, 2014.
- JIANG, L.; NIU, Y.; YUAN, Y. Influence of carbon nanotube on mechanical properties of cement-based composites. **Construction and Building Materials**, v. 216, p. 716-723, 2019.
- JUAREZ, C. *et al.* Utilização de fibras de polivinil álcool (PVA) em concreto com requisitos de alta resistência. **Construction and Building Materials**, v. 77, p. 1-8, 2015.
- MACDONALD, A. J. **Concrete: Building Pathology**. John Wiley & Sons, 2010.
- MASTALI, M.; DALVAND, A. **Ultra-high-performance fiber reinforced concrete review: constituents, properties, and real-world applications**. Springer, 2016.

- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2014.
- MINDESS, S.; YOUNG, J. F.; DARWIN, D. **Concreto**. Prentice Hall, 2003.
- NAIK, T. R. **Materiais e Tecnologias de Construção Sustentável**. CRC Press, 2008.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. Pearson Education, 2011
- NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013..
- OLIVEIRA, L. A.; RIBEIRO, M. P.; LOPES, S. M. Mechanical performance of concrete reinforced with natural fibers: A comparative study. **Journal of Cleaner Production**, v. 279, p. 123710, 2021.
- OSTERTAG, C. P.; BLUNT, J. R. **A study of hybrid fibre reinforced concrete**. Magazine of Concrete Research, v. 62, n. 8, p. 561-571, 2010.
- PERRY, C. R. **Engineering Marvels: Modern Constructions**. Routledge, 2018.
- RAMBO, D. *et al.* **Mechanical properties and durability of steel fiber reinforced concrete**. ScienceDirect, 2014.
- ROY, D. M. **Advances in Cementitious Materials**. American Ceramic Society, 1989.
- SAHMARAN, M.; YAMAN, I. **Fiber-reinforced concrete: An overview after 30 years of development**. ScienceDirect, 2007.
- SANTOS, J. R. **Desenvolvimento de tecnologias de aditivos para concreto**. São Paulo: Editora Universitária, 2018.
- SCHNEIDER, U. **Properties of Materials at High Temperatures**. Springer, 2004.
- SENISSE, L. F. **Estudo de técnicas de microencapsulação para controle da retração em concretos autoadensáveis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2010.
- SHAH, S. P.; NAAMAN, A. E. **Concreto Reforçado com Fibras**. John Wiley & Sons, 1976.
- SIDDIQUE, R.; KAUR, D. **Fiber Reinforced Concrete: A Review**. MDPI, 2016.
- SILVA, R. V.; DE BRITO, J.; DHIR, R. K. Performance of recycled aggregate concrete with polypropylene fibres. **Construction and Building Materials**, v. 234, p. 117409, 2020.
- TAYLOR, H. F. W. **Cement Chemistry**. Thomas Telford Publishing, 2001.

ANEXO A - NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos MFP 1%



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: 1%
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: Maycon Jefferson
Responsável:
Data de Moldagem: 18/04/2024

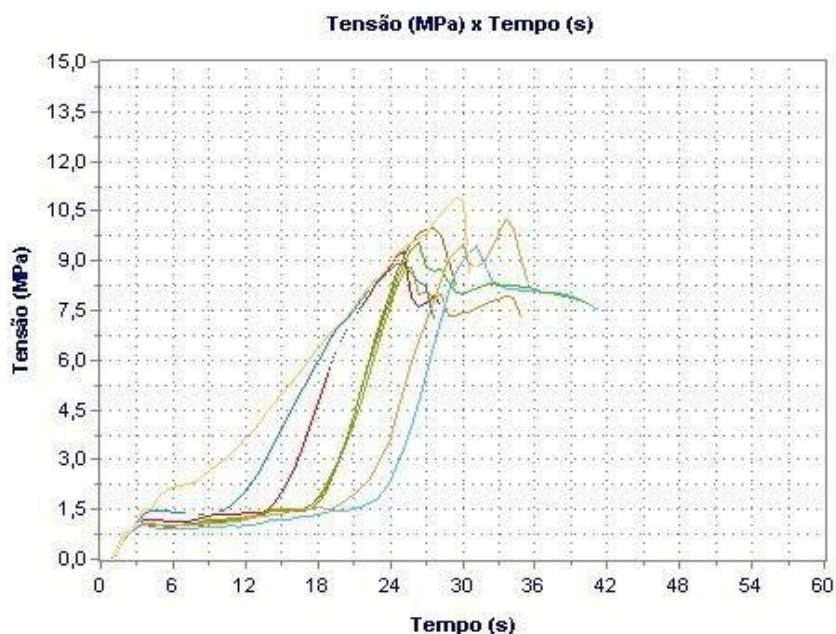
Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:

Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Carga Ruptura	Seção	Tensão Ruptura	Tipo
04	7	7.150 (kgf)	78,54 (cm ²)	8,9 (MPa)	
05	7	7.420 (kgf)	78,54 (cm ²)	9,3 (MPa)	
06	7	7.100 (kgf)	78,54 (cm ²)	8,9 (MPa)	
07	14	8.000 (kgf)	78,54 (cm ²)	10,0 (MPa)	
08	14	7.560 (kgf)	78,54 (cm ²)	9,4 (MPa)	
09	14	7.640 (kgf)	78,54 (cm ²)	9,5 (MPa)	
11	21	8.730 (kgf)	78,54 (cm ²)	10,9 (MPa)	
12	21	8.270 (kgf)	78,54 (cm ²)	10,3 (MPa)	
14	21	8.350 (kgf)	78,54 (cm ²)	10,4 (MPa)	

Gráfico dos Ensaios



ANEXO B - NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos Referência



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: Referência
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: Maycon Jefferson
Responsável:
Data de Moldagem: 18/04/2024

Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:

Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Carga Ruptura	Seção	Tensão Ruptura	Tipo
01	7	7.560 (kgf)	78,54 (cm ²)	9,4 (MPa)	
04	7	7.310 (kgf)	78,54 (cm ²)	9,1 (MPa)	
05	7	7.000 (kgf)	78,54 (cm ²)	8,7 (MPa)	
07	14	7.240 (kgf)	78,54 (cm ²)	9,0 (MPa)	
08	14	8.300 (kgf)	78,54 (cm ²)	10,4 (MPa)	
09	14	8.350 (kgf)	78,54 (cm ²)	10,4 (MPa)	
11	21	8.120 (kgf)	78,54 (cm ²)	10,1 (MPa)	
13	21	10.160 (kgf)	78,54 (cm ²)	12,7 (MPa)	
14	21	8.920 (kgf)	78,54 (cm ²)	11,1 (MPa)	

Gráfico dos Ensaio

