



ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO E SUA ATUAÇÃO NO COMBATE ÀS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

ROSA FILHO, Cícero de D. (1); COSTA E SILVA, Angelo J. (2); PARISI, Suellem A. (3); MONTEIRO, Eliana C. B. (4); ALMEIDA, Dayvson C. B. (5)

(1) Universidade de Pernambuco, cicerofilho@outlook.com; (2) Universidade de Pernambuco, angelo@tecomat.com.br; (3) Universidade de Pernambuco, suellem.parisi@gmail.com; (4) Universidade de Pernambuco, eliana@poli.br; (5) Universidade de Pernambuco, dayvsoncarlos@hotmail.com

RESUMO

A indústria da construção civil é um dos principais pilares da economia nacional. Assim, o surgimento de novas tecnologias se torna uma constante nesse ramo. A construção de edifícios com paredes de concreto estruturais vem se tornando cada vez mais comum, e atraindo novos adeptos a esse tipo de tecnologia. Para isso, foram combinados alguns materiais para melhorar o desempenho desse tipo de edificação, entre eles o concreto com fibras de polipropileno (CFP). O reforço com fibras é uma técnica comumente utilizada em materiais cimentícios para reduzir o nível de microfissuras na matriz do material e para melhorar a capacidade de absorção de energia. Entretanto, as propriedades dos concretos com fibras dependem das características da matriz, das fibras e da interação matriz-fibra. Portanto, esses materiais devem ser mais profundamente estudados para o melhor entendimento dos seus comportamentos e interações. Assim, o objetivo geral do presente trabalho consistiu em fazer uma análise do comportamento estrutural do concreto com adição de fibras. Para isso, foram realizados ensaios laboratoriais de resistência à compressão, à tração por compressão diametral e tração na flexão para o concreto convencional e o concreto de fibras de polipropileno (PP), ambos com o mesmo traço. Por fim, verificou-se que as fibras não proporcionaram ganhos de resistência em nenhum dos ensaios realizados, servindo apenas para o combate às fissuras por retração e outras manifestações patológicas.

Palavras-chave: Concreto. Fibras de polipropileno. Fissuras.

ABSTRACT

The construction industry is one of the main pillars of the national economy. Thus, the emergence of new technologies becomes a constant in this field. The construction of buildings with structural concrete walls is becoming increasingly common, and attracting new adepts to this type of technology. For this, some materials were combined to improve the performance of this type of building, among them concrete with polypropylene fibers (CFP). Fiber reinforcement is a technique commonly used in cementitious materials to reduce the level of microcracks in the matrix of the material and to improve the energy absorbing capacity. However, the properties of concrete with fibers depend on the characteristics of the matrix, the fibers and the matrix-fiber interaction. Therefore, these materials must be more deeply studied for a better understanding of their behaviors and iterations. Thus, the general objective of the present work was to make an analysis of the structural behavior of the concrete with addition of fibers. For this, laboratory tests of compressive strength, diametral compression traction and flexural tensile strength were performed for conventional concrete and polypropylene (PP) fiber concrete, both with the same characteristics. Finally, it was verified that the fibers did not provide gains of resistance in any of the tests performed, serving only to combat fissures by retraction and other pathological manifestations.

Keywords: Concrete. Polypropylene fibers. Fissures.

1 INTRODUÇÃO

O reforço com fibras é uma técnica comumente utilizada em materiais cimentícios para reduzir o nível de microfissuras na matriz do material e para melhorar a capacidade de absorção de energia (ZOLLO, 1997, apud CIFUENTES et al., 2013). Segundo Singh et al. (2004), o efeito de fortalecimento das fibras na matriz do concreto é devido ao “efeito ponte” que dificulta a propagação da fissura.

Atualmente, existem diversos tipos de fibras de diferentes materiais com propriedades geométricas distintas, capazes de melhorar os atributos do concreto. Segundo Cominol, Failla e Plizzari (2007), as fibras mais utilizadas na indústria da construção são as de aço (50% do total de tonelagem usada) seguidas pelas de polipropileno (20%), vidro (5%) e outras fibras (25%).

Para aumentar a capacidade mecânica, especialmente a resistência à tração, à flexão e à retração à longo prazo utilizam-se, usualmente, fibras de aço. As fibras de polipropileno de baixo módulo de elasticidade podem reduzir a retração à curto prazo e ajudar a controlar o fenômeno de *spalling* do concreto durante um incêndio (SMARZEWSKI et al., 2014).

As fibras de polipropileno atuam como agentes redutores das consequências das patologias sofridas pelo concreto, principalmente relativas às fissuras, em especial as de retração, e contra o efeito *spalling*.

Portanto, como a atuação das fibras como redutor ou inibidor de fissuras do concreto é amplamente conhecida, decidiu-se ensaiar, como o objetivo deste trabalho, o comportamento mecânico das fibras de polipropileno. Para isso, foram realizados ensaios de resistência à compressão, à compressão diametral e à tração na flexão em diferentes idades.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As fibras de polipropileno (PP) são amplamente utilizadas no reforço do concreto por proporcionarem certas vantagens como a maior durabilidade do material, redução na retração do concreto e diminuição do efeito *spalling* em concretos de alta resistência submetidos à elevadas temperaturas (CIFUENTES et al., 2013).

Segundo Kakooei et al. (2013), considerando que as fibras de PP geralmente utilizadas na construção civil possuem uma dosagem variando de 600 g/m³ a 2400 g/m³, e que sua espessura é muito pequena (em torno de 30 µm), o efeito sobre o comportamento macroscópico do concreto reforçado com fibras (CRF) é sentido apenas sensivelmente nas propriedades mecânicas do material.

Ainda assim, o efeito dessas fibras é mais importante na redução das fissuras de retração e no comportamento da fratura, amenizada pelo “efeito ponte” das fibras no concreto reforçado, proporcionado pelo baixo módulo de elasticidade desse material (ALY et al., 2008).

Como afirma Kumar (2013), os tipos mais comuns de fibras de PP são: monofilamento, multifilamento e fibriladas. As duas primeiras são fabricadas através de um processo de extrusão, com diâmetros nominais entre 10 – 40 µm. As monofilamentos são fabricadas de um único filamento e as multifilamentos da combinação de vários. Já as fibriladas são fabricadas em forma de filmes e utilizadas de maneira que podem ser expandidas em redes abertas. Os diversos

tipos de fibras podem ser confeccionados com o comprimento desejado, comumente ente 3 – 20 mm.

Mais recentemente, o uso de fibras fabricadas a partir de materiais alternativos como álcool polivinílico, celulose, *nylon* e fibra vegetal tem sido considerado, porém sua efetividade na melhoria das propriedades do concreto reforçado precisa ser melhor demonstrada (HEO et al., 2011).

2.1 Fibras de polipropileno e o efeito *spalling*

Apesar de décadas de estudos, a importância dos mecanismos que explicam a efetividade da adição de fibras de PP na redução da propensão ao efeito *spalling* continua a ser um debate necessário. Além da dificuldade de quantificar a propensão para o *spalling*, as orientações de projeto e construção para prevenir este efeito são solidamente baseadas em prescrever uma dosagem de fibras de PP em que se presume assegurar um *spalling* limitado em aplicações com alto grau de risco de acontecimento deste efeito (MALUK et al., 2017).

Ainda segundo Maluk et al. (2017), as recomendações europeias para concreto em situação de incêndio orientam a utilização de pelo menos 2 kg de fibras de PP do tipo monofilamento por metro cúbico de concreto. Já as recomendações australianas são de 1,2 kg de fibras com 6 mm de comprimento do tipo monofilamento por metro cúbico de concreto. Ademais, essas recomendações são baseadas em pesquisas experimentais de concretos que sofreram *spalling* por calor induzido, e só podem ser entendidas como meios de reduzir, ao invés de eliminar, a ocorrência do fenômeno.

Conforme Yermak et al. (2017), durante um incêndio, o concreto estará exposto a elevadas temperaturas que podem chegar facilmente à valores acima dos 500°C, e devido ao ponto de fusão das fibras ser em torno de 160°C e o de ignição em torno de 350°C, elas geram novos poros e microfissuras que conectam os poros já existentes. Estudos realizados por Ozawa e Morimoto (2014) permitiram verificar que o aumento da permeabilidade de um concreto adicionado com fibras em um volume de 0,15% pode alcançar valores de até 12 vezes, comparado com o concreto de referência sem adições. Dessa forma, a melhoria do aumento da permeabilidade reduz a probabilidade do efeito *spalling*.

2.2 Fibras de polipropileno no combate às fissuras de retração

De acordo com Jusoh et al. (2016), as fissuras de retração podem ocorrer quando o concreto sofre mudanças volumétricas como resultado de secagem, retração ou efeitos térmicos. Uma vez que os esforços de tensão do concreto são excedidos, fissuras começarão a aparecer. Dessa forma, fibras de PP, como as utilizadas neste trabalho, podem atuar eliminando ou reduzindo a formação das microfissuras. Isto acontece porque essas fibras possuem uma boa ductilidade, finura e propriedades dispersivas, podendo, dessa forma, restringir fissuras plásticas.

As fibras sintéticas são adicionadas em pequena quantidade volumétrica ao concreto de referência para agir como um reforço secundário ou para controlar a ocorrência de retrações plásticas nas idades iniciais. Entre as fibras poliméricas, a de PP atraiu a atenção dos pesquisadores devido ao seu baixo custo, boa resistência e a possibilidade de aumentar a resistência ao

fissuramento por retração no CRF. Ademais, essa fibra consegue alcançar facilmente a malha da estrutura com seus filamentos para criar uma ligação mecânica entre a matriz do concreto e a fibra, permitindo a formação do chamado “efeito ponte” (AFROUGH SABET E OZBAKKALOGLU, 2015).

3 METODOLOGIA

Para a realização deste estudo, foram moldados 32 corpos de prova cilíndricos de (10 x 20) cm e 2 corpos de prova prismáticos com dimensões (10 x 10 x 40) cm, sendo 17 com fibras de polipropileno e 17 sem fibras, ambos com o mesmo traço. Foram realizados três ensaios: resistência à compressão simples (16 CP's), resistência a tração na compressão diametral (16 CP's) e resistência à tração na flexão (2 CP's). Ademais, os ensaios de compressão simples e tração na compressão diametral foram divididos em 4 idades (3, 7, 14 e 28 dias), e o ensaio de tração na flexão foi rompido na idade de 28 dias apenas.

3.1 A obra

Para fazer o estudo foi escolhida uma obra com sistema construtivo de paredes de concreto. Ela se situa no município de São Lourenço da Mata, Bairro de Tiúma, sendo um condomínio clube com 28 blocos, cada um com 4 pavimentos (térreo + 3 pavimentos), e 4 apartamentos por pavimento (cada um com 45,35 m²). No total possui 448 unidades habitacionais que irão abrigar em torno de 1.792 pessoas. Além disso, conta com mais de 40 itens de lazer e uma área construída total de 41.348,03 m². O prazo inicial da obra é de 24 meses e tem um orçamento total de R\$ 26.389.842,87.

A obra faz parte do programa Minha Casa Minha Vida (MCMV) e por isso conta com acabamentos internos e externos desse nível. Para execução da estrutura, foram alugados 4 jogos de fôrma do tipo plástico, cada um com capacidade de executar 2 apartamentos por concretagem. O ciclo de concretagem de cada fôrma é de aproximadamente 3 dias, ou seja, tem-se um pavimento a cada 6 dias por jogo de fôrma. As paredes dos apartamentos possuem 10 cm cada, e antes da montagem das fôrmas são embutidas as armações, caixinhas e tubulações elétricas. As prumadas hidráulicas do apartamento passam por shafts e a distribuição é escondida pelo forro de gesso.

À época dos ensaios, a obra possuía um percentual executado de aproximadamente 45% e contava com um total de 232 funcionários. Os principais serviços executados no momento eram estrutura e revestimentos internos dos blocos.

3.2 O traço do concreto em estudo

Como o sistema construtivo da obra é de paredes de concreto estruturais, o traço desse material foi desenvolvido especialmente para essa obra. Como as fôrmas possuem um ciclo de montagem rápido era necessário que o cimento do concreto atingisse uma boa resistência nas primeiras horas, para que houvesse a desforma e a montagem dos apartamentos subsequentes.

Dessa forma, viu-se a necessidade de se utilizar o cimento do tipo CPV – ARI, que atinge altas resistências nas primeiras horas de cura. Entretanto, como ponto negativo, esse tipo de cimento requer um consumo bem maior (400 kg/m³)

que as outras classes, gerando um aumento no valor do m^3 do concreto. Ademais, como o fabricante da fôrma não aconselha o adensamento do concreto por meio de vibração, foi necessária a utilização de um concreto bastante fluido para que conseguisse ultrapassar as armações e preenchesse todos os vazios da fôrma. Assim, enquanto nas obras verticais comuns utiliza-se um abatimento de (10 ± 2) cm, nessa obra em estudo o abatimento utilizado foi (22 ± 3) cm, que por ser bastante fluido não necessitaria de adensamento por vibrações. A resistência de projeto aos 28 dias é de 25 MPa.

Como agregados foram utilizados, no traço, a Brita 12 e areia com um consumo de $971 \text{ kg}/m^3$ e $741 \text{ kg}/m^3$ respectivamente. Além disso, a relação água/cimento das amostras é de 0,52 l/kg. Também foram utilizados 23 litros de um aditivo do tipo plastificante que permite o aumento da trabalhabilidade do concreto, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Traço do concreto em estudo

Material	Quantidade/m^3
Cimento (CPV – ARI)	400 kg
Água	208 L
Areia	741 kg
Brita 12	971 kg
Fibra de Polipropileno	300 g
Aditivo Plastificante	23 L

Fonte: Autores (2017)

Por fim, temos uma adição de uma fibra de polipropileno com 12 mm de comprimento (Figura 1) ao concreto na proporção de $300 \text{ g}/m^3$, cujas propriedades constam na Tabela 2. Inicialmente a sugestão de adição dessa fibra foi para evitar o surgimento de fissuras causadas por dilatação térmica, visto que o concreto fica exposto às intempéries, e é protegido apenas por uma fina camada de tinta (textura).

Figura 1 - Fibra em estudo



Fonte: Site do fabricante (2014)

Tabela 2 - Propriedades mecânicas da fibra

Propriedades Mecânicas	
Temperatura de fusão - °C	160
Temperatura de ignição - °C	365
Resistência à tração – MPa (N/mm ²)	300
Módulo de Young – MPa	3000

Fonte: Site o fabricante (2014)

A fibra de polipropileno, utilizada no traço do concreto em estudo, é composta por filamentos extremamente finos e produzidos através do processo de extrusão. O uso dela é indicado para reduzir o índice de fissuras provocadas pela retração e assentamento. Isto se deve a sua capacidade de retenção de água no interior destes, propiciando um controle sobre os fenômenos de exsudação e segregação. Além disso, segundo o site do fabricante, essas fibras também melhoram o desempenho do concreto endurecido, aumentando sua resistência ao desgaste, ao impacto e ao fogo.

3.3 Ensaios Laboratoriais

Inicialmente, foram moldados na obra 34 corpos de prova, sendo 16 para o ensaio de compressão, 16 para o ensaio de tração na compressão diametral e 2 para o de tração na flexão. Para os dois primeiros foram utilizadas 4 idades de rompimento (3, 7, 14 e 28 dias), já para o último ensaio foi utilizada apenas a idade de 28 dias (em que o concreto atingiria sua resistência especificada em projeto). Dessa forma, como o intuito era comparar os ganhos que o concreto teria com a adição da fibra, para cada idade foram moldados 2 corpos de prova sem adição de fibra e 2 com adição de fibra (ambos com o mesmo traço).

Antes da moldagem dos corpos de prova, foi realizado o teste de abatimento do concreto (*slump test*) que seguiu a norma NBR 7223 (1992). Os corpos de prova foram moldados do mesmo caminhão-betoneira. Primeiramente, executou-se o traço sem a fibra de polipropileno, realizou-se o *slump test* (Figura 2 e Figura 3) que obteve um resultado de 26 cm e moldaram-se os corpos de prova sem fibra. Após esse processo, adicionou-se a fibra na proporção do traço, e foram esperados 15 minutos para que a betoneira homogeneizasse a fibra no concreto. Por fim, tirou-se novamente o *slump test*, obtendo como resultado o valor de 25 cm, após isso foram moldados os corpos de prova com fibra. A moldagem dos corpos de prova seguiu a NBR 5738 (2003). Todos os corpos de prova foram moldados na própria obra pelo técnico da empresa terceirizada responsável pelo rompimento deles.

Figura 2 - Moldagem dos corpos de prova



Fonte: Autores (2017)

Figura 3 - Ensaio de slump test



Fonte: Autores (2017)

O ensaio de resistência à compressão foi realizado segundo a NBR 5739 (2007). Com ele pôde-se descobrir a carga de ruptura de cada corpo de prova e analisar se a adição da fibra trouxe alguma vantagem.

Os corpos de prova de 10cm x 20cm foram todos rompidos no laboratório da própria obra em suas respectivas idades de 3, 7, 14 e 28 dias. Cada idade contou com 4 corpos de prova, sendo 2 com adição de fibra e 2 sem adição, totalizando 16 corpos de prova rompidos. Seguem, abaixo, algumas fotos do ensaio de resistência à compressão simples (Figura 4 e Figura 5).

Figura 4 - Ensaio de resistência à compressão



Fonte: Autores (2017)

Figura 5 - Corpo de prova rompido



Fonte: Autores (2017)

O ensaio de resistência à tração na compressão diametral foi realizado conforme a NBR 7222 (2010). Este procedimento usou um corpo de prova de mesma dimensão do ensaio anterior, e também foram rompidos nas mesmas circunstâncias de idade.

A atuação das fibras nesse ensaio é de extrema importância, pois elas atuam na matriz do concreto de forma intertravada, evitando que a fissura se propague e, até mesmo, controlando seu tamanho. Isso pode ser visto nas imagens abaixo que mostram a diferença de um corpo de prova com fibra após rompimento (Figura 6Erro! Fonte de referência não encontrada.) e o outro sem fibra (Figura 7).

Figura 6 - Corpo de prova com fibra rompido por compressão diametral



Fonte: Autores (2017)

Figura 7 - Corpo de prova sem fibra rompido por compressão diametral



Fonte: Autores (2017)

Por fim, foi realizado o ensaio de resistência à tração na flexão segundo a NBR 12142 (1991). Para isso foram moldados corpos de prova prismáticos com tamanho 10cm x 10cm x 40cm, o que corresponde respectivamente à altura, largura e comprimento. Foram moldados dois corpos de prova para a idade de 28 dias, sendo um com fibra de PP e um sem a adição. Na máquina de ensaio, o corpo de prova é submetido à flexão, com carregamentos em suas duas seções simétricas, até o momento de ruptura. A Figura 8 mostra como o corpo de prova deve ser colocado na prensa.

Figura 8 - Corpo de prova prismático utilizado no ensaio de resistência à tração na flexão



Fonte: Autores (2017)

Este ensaio é de suma importância para se perceber se a adição das fibras proporcionaria aumento na tração da peça.

4 RESULTADOS

Neste capítulo serão discutidos todos os resultados dos ensaios laboratoriais realizados. Será feito um comparativo entre o concreto com adição de fibras de polipropileno e o concreto referência (sem fibra).

4.1 Ensaio de resistência à compressão simples

Como já foi citado, foram moldados 16 corpos de prova (CP's) para esse ensaio. Do total, 8 possuíam fibra de PP e os outros 8 não possuíam. O rompimento aconteceu nas idades de 3, 7, 14 e 28 dias, sendo 4 corpos de prova em cada idade (2 com fibra e 2 simples). A Tabela 3 e a

Fonte: Autores (2017)

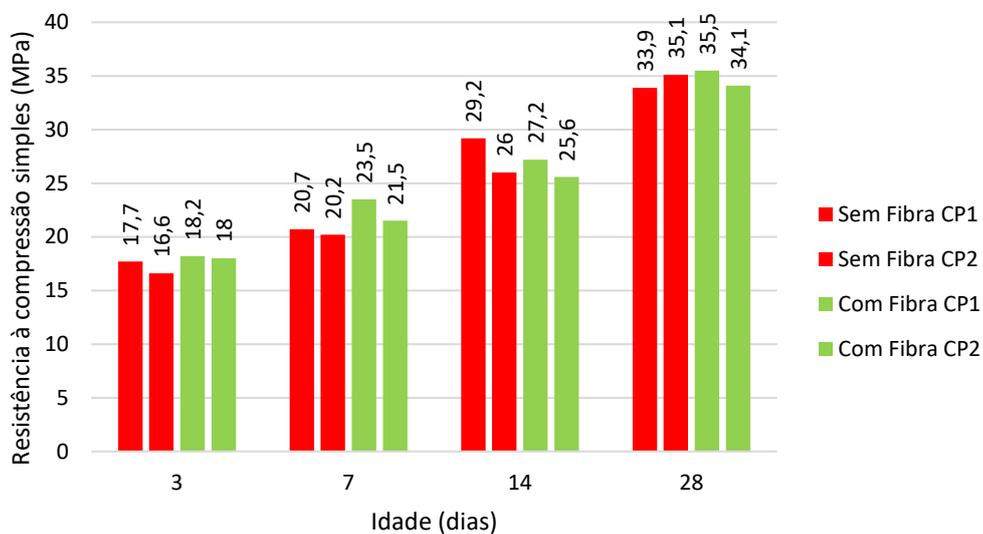
Figura 9, abaixo, mostram os resultados encontrados em cada um dos 16 corpos de prova, com os valores máximos de cada idade destacados em verde.

Tabela 3 - Resultados do ensaio de resistência à compressão simples

Idade	Sem Fibra		Com Fibra	
	CP1	CP2	CP1	CP2
3	17,7	16,6	18,2	18
7	20,7	20,2	23,5	21,5
14	29,2	26	27,2	25,6
28	33,9	35,1	35,5	34,1

Fonte: Autores (2017)

Figura 9 - Resultados do ensaio de resistência à compressão simples



Fonte: Autores (2017)

Analisando os resultados, pode-se ver que a adição de fibras não gerou grandes variações nos valores de resistência. Tanto os resultados do concreto com adição, quanto o convencional deram bem parecidos. Portanto, pode-se concluir que as fibras não tiveram influência na resistência à compressão do concreto.

A incorporação de fibra de PP no concreto reforçado é considerada de baixo teor por possuir apenas 300 g/m³. Segundo Bentur e Mindess (1990), quando o teor de fibra incorporada é de até 2,70 kg/m³ elas não atuam como reforço estrutural,

ou seja, não aumentam a capacidade resistente do concreto. Para as fibras atuarem como reforço estrutural deveriam ser incorporados elevados teores, da ordem de 9 kg/m³, ou seja, 30 vezes a mais que o concreto em estudo.

Dessa forma, a fibra de PP, por ser de baixo módulo de elasticidade, vai melhorar a tenacidade do concreto estrutural em estudo. Além disso, ajudará a combater possíveis fissuras que irão aparecer devido à retração plástica, por causa da exposição direta ao sol durante o dia.

4.2 Ensaio de resistência à tração por compressão diametral

Assim como no ensaio de resistência à compressão simples, no de resistência à tração por compressão diametral também foram moldados 16 corpos de prova, sendo 8 de concreto reforçado com fibra e 8 do concreto simples. As idades também foram as mesmas de 3, 7, 14 e 28 dias com 4 CP's por idade (2 com fibra e 2 simples). A Tabela 4 e a Fonte: Autores (2017)

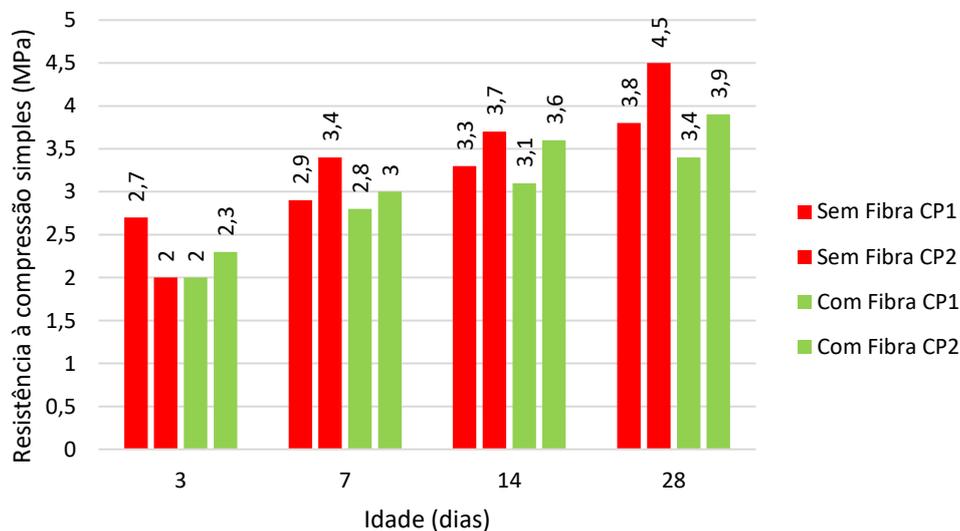
Figura 10 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, abaixo, mostram os resultados, com os valores máximos de cada idade destacados em verde.

Tabela 4 - Resultados do ensaio de resistência à tração na compressão diametral

Idade	Sem Fibra		Com Fibra	
	CP1	CP2	CP1	CP2
3	2,7	2	2	2,3
7	2,9	3,4	2,8	3
14	3,3	3,7	3,1	3,6
28	3,8	4,5	3,4	3,9

Fonte: Autores (2017)

Figura 10 - Resultados do ensaio de resistência à tração na compressão diametral



Fonte: Autores (2017)

Ao analisar a tabela acima, percebe-se que, assim como no ensaio de compressão simples, os valores deram bem próximos. Assim como no ensaio de resistência à compressão, as fibras não deveriam influenciar diretamente na resistência do concreto. O que se pode verificar foi que o rompimento do corpo de prova com fibra se deu de maneira bem mais suave que o do concreto simples. Como foi mostrado, o CP com fibras apresentou algumas fissuras ao atingir a resistência máxima. Já no CP sem fibras, pode-se perceber que a

ruptura foi bem mais brusca que concreto reforçado. Isso pode ser explicado pelo fato de a fibra aumentar a tenacidade do concreto, fazendo com que na sua carga de ruptura ele possa se deformar mais, sem colapsar. Esse fato é essencial para um acréscimo de segurança em estruturas de concreto como pontes, túneis e estruturas em geral, que possibilita um ganho de tempo até o colapso total do concreto.

Portanto, como os valores de resistência para as idades foram muito próximos entre si, em alguns casos sendo maiores e em outros sendo menores, pode-se concluir que não houve influência na resistência à tração do concreto pela adição das fibras.

4.3 Ensaio de resistência à tração na flexão

Neste ensaio, diferentemente dos outros dois, foram utilizados apenas 2 corpos de prova (1 com fibra e 1 simples) que foram rompidos na idade de 28 dias do concreto. A Tabela 5 abaixo mostra os resultados, com os valores máximos de cada idade destacados em verde.

Tabela 5 - Resultados do Ensaio de Resistência à Tração na Flexão

Idade (dias)	CP1 - Com Fibra (MPa)	CP1 - Sem Fibra (MPa)
28	3,3	2,4

Fonte: Autores (2017)

A resistência à tração na flexão do concreto reforçado com as fibras de PP foi 33% maior se comparado ao concreto simples. Como tinha sido dito no subcapítulo anterior, a adição de 300 g/m³ de fibra de PP no concreto não seria suficiente para aumentar a resistência mecânica do concreto. Porém, pelo ensaio ter sido feito com apenas dois corpos de prova, o espaço amostral fica bastante reduzido. Dessa forma, podem ter ocorrido falhas na hora da moldagem do corpo que podem levar a esse tipo de resultado. Vale ressaltar que a moldagem de apenas dois corpos de prova não pode ser conclusiva sobre esse resultado. Portanto, também não se comprova a influência mecânica das fibras de PP adicionadas.

5 CONCLUSÕES

A adição de 300 g/m³ de fibras de PP nesse concreto teria apenas a função de diminuir as fissuras por retração plástica e por variação térmica, visto que estruturalmente os ganhos que a fibra gerou (em alguns casos) não foram significantes. Em algumas idades foram verificados aumentos de resistência pela adição da fibra e em outras uma redução, demonstrando que para esse nível de adição de material fibroso, não há influência na resistência mecânica do concreto. O que se pôde perceber também, principalmente nos ensaios de tração, foi uma maior deformabilidade do concreto reforçado se comparado ao concreto simples. Isso acontece, pois, a fibra transfere sua maleabilidade e tenacidade ao concreto devido ao seu baixo módulo de elasticidade e alto grau de deformabilidade quando comparado à matriz cimentícia.

Além disso, outras características positivas que este material traz ao concreto é o aumento da resistência ao fogo, ao desgaste e ao impacto. Assim, este trabalho deixa como sugestão, para estudos futuros, a realização de ensaios que

comprovem o que foi dito pelo fabricante com o objetivo de ampliar o conhecimento sobre as características advindas da incorporação de fibras ao concreto armado.

REFERÊNCIAS

- CIFUENTES, Héctor; GARCÍA, Fidel; MAESO, Orlando; MEDINA, Fernando. Influence of the properties of polypropylene fibres on the fracture behaviour of low-, normal- and high-strength FRC. **Construction and Building Materials**. 45, 130–137, 2013.
- SINGH, S.; SHUKLA, A.; BROWN, R. Pullout behaviour of polypropylene fibers from cementitious matrix. *Cem Concr Res* 2004;34(10):1919–25.
- COMINOLI, L.; FAILLA, C.; PLIZZARI, G. **Steel and synthetic fibres for enhancing concrete toughness and shrinkage behaviour**. International Conference of Sustainable Construction Materials and Technologies. Coventry, United Kingdom. 11-13, 231-240, Jun-2007.
- SMARZEWSKI, Piotr; HUNEK, Danuta Barnat. Fracture properties of plain and steel-polypropylene-fiber-reinforced high-performance concrete. **Materiali in tehnologije / Materials and technology** 49, 4, 563-571, 2015.
- KAKOOEI, S.; AKIL, H. M.; JAMSHIDI, M.; ROUHI, J. The effects of polypropylene fibers on the properties of reinforced concrete structures. **Construct Build Mater**. 27(1), 73–7, 2012.
- ALY, T.; SANJAYAN, J. G.; COLLINS, F. Effect of polypropylene fibers on shrinkage and cracking of concretes. **Mater Struct**. 41, 1741–53, 2008.
- KUMAR, R.; GOEL, P.; MATHUR, R. **Suitability of Concrete Reinforced with Synthetic Fiber for the Construction of Pavements**. Proceedings of the 3rd International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, Kyoto, Japan; 8 pp. 2013.
- HEO, Y. S.; SANJAYAN, J.G.; HAN, C. G.; HAN M. C. Critical parameters of nylon and other fibres for spalling protection of high strength concrete in fire. **Mater Struct**. 44, 599–610, 2011.
- MALUK, Cristian; BISBY, Luke; TERRASI, Giovanni. Effects of polypropylene fibre type and dose on the propensity for heat-induced concrete spalling. **Engineering Structures**. 141, 584–595, 2017.
- YERMAK, N.; PLIYA, P.; BEAUCOUR, A.-L.; SIMON, A.; NOUMOWÉ, A. Influence of steel and/or polypropylene fibres on the behaviour of concrete at high temperature: Spalling, transfer and mechanical properties. **Construction and Building Materials**. 132, 240–250, 2017.
- OZAWA, M.; MORIMOTO, H. Effects of various fibres on high-temperature spalling in high-performance concrete. **Constr. Build. Mater**. 71, 83–92, 2014.
- JUSOH, Wan Amizah Wan; IBRAHIM, Izni Syahrizal; SAM, Abdul Rahman Mohd; SARBINI, Noor Nabilah. Mechanical and shrinkage properties of hybrid steel and polypropylene fibre reinforced concrete composite. **Jurnal Teknologi**. 78:9, 93–103, 2016.
- AFROUGHSAKET, V.; OZBAKKALOGLU, T. Mechanical And Durability Properties Of High-Strength Concrete Containing Steel And Polypropylene Fibers. **Construction and Building Materials**. 94, 73-82, 2015.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 7223**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 5738**: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 7222**: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 12142**: Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos. Rio de Janeiro, 1991.

BENTUR, A.; MINDESS, S. **Fibre Reinforced Cementitious Composites**. Elviesier Applied Science. Londres e Nova York, 1990.