https://doi.org/10.4322/CBPAT.2022.005

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE POLIETILENO TEREFTALATO (PET)

Carla Bianca Camargos [1], Sarah Corrêa Viana [2*], Prof. MSc. Mohammed Adel Arif [3].

[1] Bacharel em Engenharia Civil – Centro Universitário do Triângulo (UNITRI) – Campus de Uberlândia – Uberlândia – MG – Brasil.
[2] Bacharel em Engenharia Civil – Centro Universitário de Goiatuba (UNICERRADO) – Goiatuba – GO – Brasil;
[3] Bacharel em Engenharia Civil pela Al-Mustansriya University, U.O.M, Iraque; Mestre em Engenharia de Estruturas e Construção Civil – Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) – Uberlândia – MG – Brasil

RESUMO

A incorporação de fibras de polietileno tereftalato (PET) no concreto pode melhorar a durabilidade, reduzir o processo de fissuração e minimizar a quantidade de garrafas descartadas inadequadamente no meio ambiente. Neste contexto, o presente artigo tem como objetivo analisar a influência dessa fibra no concreto, através da avaliação da resistência à compressão, tração e absorção de água por capilaridade. Para os experimentos laboratoriais foram determinados três traços diferentes, para os quais os ensaios foram realizados no 7º e 28º dias, de acordo com as prescrições das normas existentes. Os resultados foram analisados através de médias, desvio padrão e coeficiente de variação. Após o estudo, conclui-se que para a compressão e a tração, no final da cura, o concreto de melhor desempenho é o que contém 0,6% de fibras na composição, enquanto na absorção capilar, o concreto atinge valores satisfatórios quando não na presença de fibras. Dessa forma, a quantidade de fibras influência de modo diferente as variáveis analisadas.
Palavras-chave: Concreto, Fibras PET, Quantidade.

ABSTRACT

The incorporation of polyethylene terephthalate (PET) fibers into concrete can improve durability, reduce the cracking process and minimize the amount of improperly discarded bottles in the environment. In this context, the present article aims to analyze the influence of this fiber on concrete, through the evaluation of the resistance to compression, traction and water absorption by capillarity. For the laboratory experiments, three different traits were determined, the tests were performed on the 7th and 28th days, according to the prescriptions of the existent standards. The results were analyzed using means, standard deviation and coefficient of variation. After the study, the conclusion is: for the compression and the traction, at the end of the curing, the concrete of better performance is the one that contains 0.6% of fibers in the composition, while in the capillary absorption, the concrete reaches satisfactory values with no fibers. In this way, the number of fibers influences the analyzed variables differently.
Keywords: Concrete, PET Fibers, Quantity

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de aperfeiçoar os materiais encontrados na natureza fez com que o homem os transformasse de modo a facilitar o uso na execução das técnicas construtivas. Segundo Hagemann (2011), a evolução dos materiais iniciou-se com a modelagem da argila, corte em madeiras e na lapidação da pedra. Os materiais de construção estão em contínua transformação e devem ter qualidade e durabilidade adequadas para serem empregados na infraestrutura de uma obra. Um exemplo dessa evolução, foi a descoberta do concreto, material estrutural de boa resistência e fácil modelagem.

O concreto, no decorrer dos anos, foi aperfeiçoado a fim de atender as exigências do mercado da construção, no que diz respeito a melhoria da qualidade, redução dos custos e sustentabilidade. Nesse contexto, destaca-se a adição de fibras no concreto, a qual tem o propósito de melhorar as propriedades mecânicas do mesmo, no que tange ao controle de fissuras, aumento da durabilidade e a maior energia absorvida antes da ruptura (CORÓ, 2002).

Essas fibras podem ser de polímeros, metais, vegetais e minerais, porém a fibra de origem polimérica denominada polietileno tereftalato (PET), destacou-se em estudos como o de Rômulo Marczuk Schettino em 2010 e de Angela Ghisleni Coró em 2002, devido a possibilidade de melhoramento das propriedades mecânicas do concreto e ao fato de que a adição dela no material construtivo minimizaria alguns impactos negativos sobre o meio ambiente.

O PET é composição principal de garrafas que são descartadas inadequadamente em elevada quantidade no meio ambiente, o que ocasiona a proliferação de vetores de doenças, inundações, aumento da quantidade de lixo nos aterros e poluição, em geral, nos centros urbanos.

Dessa forma, a construção civil seria um dos meios para reaproveitamento do PET, pois esse setor passou a introduzir nos processos construtivos materiais ecologicamente corretos. Nesse parâmetro, a incorporação de fibras de PET na composição do concreto seria uma possível alternativa de melhoria das propriedades mecânicas do elemento estrutural, assim como mitigaria os problemas relacionados ao descarte inadequado dos materiais com polietileno tereftalato.

Neste contexto, o presente artigo visa desenvolver uma análise experimental das propriedades mecânicas do concreto com adição de fibra de polietileno tereftalato (PET). Com a finalidade de avaliar a influência das fibras PET quando incorporadas, em diferentes proporções, a um material de concreto, através de ensaios de resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral e absorção de água por capilaridade.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Concreto de Cimento Portland

Na construção civil, o concreto se destacou apenas no ano de 1824 com o surgimento do cimento Portland, o que conferiu ao material uma fácil modelagem das diversas formas arquitetônicas existentes. Araújo, Rodrigues e Freitas (2000) afirmam que o concreto de cimento Portland é resultado da mistura, em proporções pré-determinadas, de aglomerante, agregado miúdo, agregado graúdo e água, e, caso necessário, aditivos. Ainda segundo esses autores, na produção do concreto,

a mistura da água com o cimento desenvolve um processo de hidratação que aglomera os agregados em uma pasta e devido ao endurecimento desta, o produto adquire elevada resistência mecânica tornando-se monolítico e similar as propriedades da rocha.

2.1.1 Propriedades Mecânicas do Concreto

Correa (2015) afirma que o concreto possui características que o possibilita sustentar cargas elevadas por compressão, esta capacidade é indicativa da qualidade do material construtivo, assim como é fator para classificação da aplicabilidade em obra. Ressalta-se que uma boa resistência à compressão é indicativa de segurança e estabilidade estrutural, porém as proporções e as propriedades dos componentes, como também as condições e tempo de cura podem interferir nos valores desta resistência.

Outra propriedade fundamental do concreto é a resistência à tração, a qual está ligada ao aparecimento de fissuras, especialmente nas primeiras idades de cura do material, o que pode prejudicar a durabilidade e a segurança. (ESTUDO, 2017)

2.2 Fibras

Segundo Spechet (2000), estudos relacionados a reforços em materiais de construção, como gesso, concreto e argamassas de cimento Portland, destacam a aplicação de fibras, as quais se diferenciam devido a composição química e física, as propriedades mecânicas e de resistência a locais agressivos. Essas fibras podem ser de polímeros, metais, vegetais e minerais, porém a seguir serão apresentadas as fibras cujo material é de origem polimérica, devido ao fato de a pesquisa em análise englobar fibras de poliéster.

2.2.1 Fibras Poliméricas

As fibras poliméricas utilizadas como reforços em materiais de construção civil serão descritas a seguir com foco nas principais peculiaridades.

Fibras de polipropileno: essas fibras são compostas por material polimérico de denominação termoplástico. A presença de diversas cadeias longas de moléculas polimerizadas, que ao serem separadas deslizam uma sobre as outras, aumenta a flexibilidade e tenacidade, e, consequentemente, eleva a resistência ao impacto quando incorporadas a outros materiais. (HOLLAWAY, 1994 apud SPECHET, 2000)

Fibras de poliéster: essas fibras possuem similaridade às fibras de polipropileno, porém aquelas são mais densas, rígidas e resistentes do que estas. Um exemplo de poliéster é o polietileno tereftalato (PET), utilizado na confecção de garrafas plásticas. (TAYLOR, 1994 apud SPECHET, 2000)

Fibras de polietileno: essas fibras apresentam baixo módulo de elasticidade, aderência fraca à matriz cimentícia e resistência considerável aos álcalis. Quando em alta densidade pode elevar o módulo e a aderência, com isto, ressalta-se que a boa aderência da fibra com a matriz resulta no decréscimo de fissuras e maior distribuição ao longo do compósito. Além dessas características, possui durabilidade alta devido a capacidade de não sofrer variação no volume quando na presença de água. (HANNANT, 1994 apud SPECHET, 2000)

Fibras de poliamida (Kevlar): são fibras comercialmente denominadas de Kevlar, são divididas em dois tipos: Kevlar 29 de resistência mecânica de 3000 MPa e módulo de elasticidade de cerca de 64 GPa; e Kvelar 49 de resistência de 3000 MPa e módulo de 300 GPa. Dentre esses dois tipos de fibras compostas pelo polímero poliamida, a Kvelar 49 se destaca mais pelo bom desempenho proporcionado aos materiais de construção. (HOLLAWAY, 1994 apud SPECHET, 2000)

2.2.2 Importância do concreto reforçado com fibras

O concreto reforçado com fibras apresenta propriedades que favorecem a qualidade e durabilidade da edificação, dentre as vantagens destacam-se o aumento da durabilidade da obra em função da abrasão e desgaste superficial; melhoramento da resistência à tração do concreto e minimização de fissuras por retração quando o concreto está em fase de endurecimento. A aplicação desse concreto é verificada em obras de pavimentos rígidos, pisos industriais e reforço estrutural. (CONCREBAS, 2018)

2.3 Polietileno Tereftalato (PET)

O polietileno tereftalato, conhecido como PET, é um polímero poliéster termoplástico utilizado na confecção de garrafas, frascos, embalagens e nos mais diversos produtos. Esse material proporciona alta resistência mecânica e química, como também proteção no contato com agentes agressivos. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET - ABIPET, 2012)

O PET é produzido a partir da mistura de ácido tereftálico purificado (PTA) com monoetileno gicol (MGE), ao reagirem entre sim formam uma pasta, se cristalizam e originam o polietileno tereftalato. Dentre as propriedades do PET, o peso molecular é o mais importante, pois indica a quantidade média de unidades individuais desse polímero, que quando englobadas produzem uma corrente molecular única (ABIPET, 2012). Pode-se dividir os polímeros em dois tipos descritos a seguir.

Polímeros amorfos: são aqueles que não apresentam uma estrutura cristalina definida, caracterizados por átomos que apresentam uma desorganização espacial.

Polímeros semicristalinos: são aqueles que possuem uma parte amorfa e outra cristalina. Na amorfa, as moléculas estão desorganizadas, fato contrário à região cristalina, pois nesta as cadeias moleculares estão ordenadas de tal forma a criar um empacotamento do tipo cristalito. Vale ressaltar que o PET é classificado como um polímero semicristalino.

2.3.1 Reciclagem do PET

Abipet (2012) afirma que as garrafas de PET são 100% recicláveis e atinge os três pilares do desenvolvimento sustentável: benefícios ambientais, benefícios econômicos e benefícios sociais.
Ressalta-se que o PET é reaproveitado de acordo com as especificações do produto desejado, sendo observado a utilização do PET reciclado em distintos setores da economia mundial, como, por exemplo, nos domicílios, empresas, construção civil, indústria de automóveis, sinalização, transporte público, material esportivo e no varejo.

2.3.2 Propriedades do concreto reforçado com fibras de PET

Correa (2015) realizou um estudo no qual avaliou as propriedades mecânicas do concreto com substituição parcial do agregado miúdo por PET em flocos, de modo a ser aplicado como elemento estrutural nos processos construtivos. Os resultados obtidos comprovaram que a granulometria, a geometria e a natureza química do agregado afetam na resistência do compósito. Com isto, foi verificado que as dimensões reduzidas dos flocos de PET proporcionaram numa melhora da resistência à compressão axial, pois tem boa aderência à matriz de cimento. Essa aderência também influenciou na diminuição da absorção de água.

Schettino (2015) dissertou também a respeito do comportamento mecânico do concreto quando este for acrescido por fibras de PET nas dimensões de 30mmx3mmx0,5mm. Pelos resultados atingidos, verificou que a resistência à compressão diminuiu com o aumento do teor de fibras, os quais foram de 0%, 0,3% e 0,6%, porém a utilização desses mesmos teores no concreto elevou a resistência à tração. Ainda segundo esse autor, a proporção de fibras PET viável para incorporação ao concreto é de 0,6%, devido ao fato de a resistência à compressão axial e diametral apresentarem pequenas oscilações. Além disso, indica a utilização do concreto com PET em locais não estruturais, como calçamentos e pisos de estacionamentos.

Nessa mesma linha de estudo, Coró (2002) utilizou fibras de PET, para reforços em concreto, com comprimentos de 15 mm, 30 mm e 60 mm e teores de 1000, 3000, 5000 e 7000 g/m³. Os resultados indicaram uma baixa na resistência à compressão simples e tração por compressão diametral, sendo a aplicação favorável em ambientes não estruturais, como, por exemplo, meio-fio, blocos e pisos.

3. METODOLOGIA

3.1 Materiais Utilizados

Schettino (2015) em pesquisa sobre concreto com adição de fibras de polietileno tereftalato, utilizou para os procedimentos laboratoriais, materiais como o cimento CPIII, areia média, brita 1 e fibras de PET nas dimensões de 30mmx3mmx0,5mm. O traço de referência foi o de 1:2:3 com volume de água de 28,7 litros, acrescidos com 0%, 0,3% e 0,6% de PET.

Com embasamento nesse referido estudo, os materiais selecionados para a pesquisa em questão foram o cimento do tipo CPV-ARI, o qual confere alta resistência inicial ao concreto; areia média; brita 1 e fibras de PET de 30mmx3mmx0,5mm. O traço de referência utilizado foi o 1:2:3:0,6, em massa, para um volume de concreto de 11,89 litros, e adição de fibras de PET nas proporções de 0,3% e 0,6% em relação ao cimento, conforme a Tabela 1. Os teores de fibras foram reduzidos, pois segundo Schettino (2015) o aumento da quantidade de PET interfere negativamente na resistência do concreto.

Tabela 1. Quantidade de materiais para cada traço determinado

Traço	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (l)	PET (%)
1	19,83	39,66	59,49	11,89	0,0
2	19,83	39,66	59,49	11,89	0,3
3	19,83	39,66	59,49	11,89	0,6

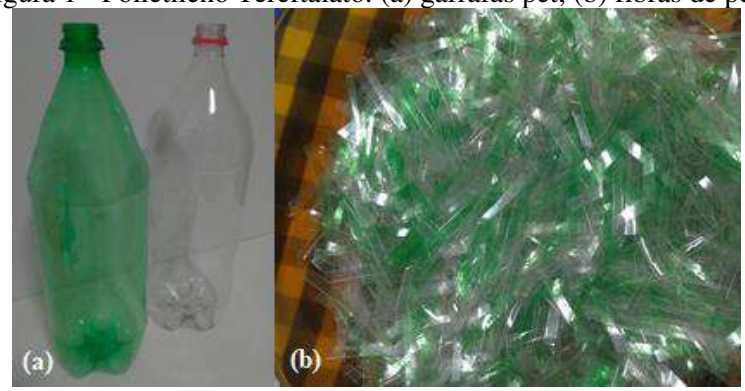
Fonte: Os autores.

As quantidades de cimento, areia, brita e água não sofreram alterações nos três traços considerados, apenas a porcentagem de PET foi modificada. Para o traço 1, foi executada uma massa sem fibras na composição; para o traço 2 foi adicionado 0,3% de fibra em relação a quantidade de massa de

cimento, o que equivale a 0,05949 kg de PET; para o traço 3 o teor foi de 0,6% sobre a massa do cimento, o que corresponde a 0,11898 kg de PET.

Para a produção das fibras de PET, conforme Figura 1, foram utilizadas garrafas transparentes de refrigerante de 2 litros. Elas foram lavadas, secadas e cortadas mecanicamente, os cortes foram feitos aproveitando a região central das garrafas, descartando-se a parte superior (tampa e ombro) e inferior (base) da garrafa, de onde pôde obter-se, com o auxílio da guilhotina, a dimensão de 30 mm por 3 mm (correspondendo a uma utilização de 50,86% do material), a espessura é a padrão do produto: 0,5mm ± 0,1mm conforme NBR 15395:2006. Após o corte, foram verificadas manualmente com régua para obter as fibras de PET no tamanho desejado em estudo.

Figura 1 - Polietileno Tereftalato: (a) garrafas pet; (b) fibras de pet



Fonte: Os autores.

3.2 Normas Utilizadas

Para a realização da pesquisa foram efetuados ensaios de resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral e absorção de água por capilaridade, afim de analisar quantitativamente as propriedades mecânicas do concreto sem fibra e com fibra PET. Dessa forma, a execução dos procedimentos laboratoriais foi baseada nas seguintes normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas): NBR 5738:2015; NBR 5739:2018; NBR 7222:2011; NBR 9779:2012; NBR 15395:2006 e NBR NM 67:1998.

3.3 Procedimentos Laboratoriais

Em conformidade com a ABNT NBR 5738:2015, para os três traços selecionados foram utilizados 4 corpos de provas para cada ensaio, com tempo de cura de 7 e 28 dias, de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2. Quantidade de corpos de prova (C.P) para cada ensaio

	Traço 1		Traço 2		Traço 3	
Dias	7	28	7	28	7	28
Resistência à compressão	4	4	4	4	4	4
Resistência à tração por compressão diametral	4	4	4	4	4	4
Absorção de água por capilaridade	4	4	4	4	4	4
Total de C.P. para cada traço	24		24		24	

Fonte: Os autores.

Em laboratório os materiais foram pesados em balança de precisão nas proporções conforme a Tabela 1 e misturados em betoneira, e realizado o Slump Test em seguida, a fim de verificar a

consistência do concreto. Segundo Magalhães (2011), a consistência é uma propriedade importante na especificação do concreto e está relacionada às características da mistura em estado fresco, de modo a ser obtida por ensaio de abatimento do tronco de cone.

Conforme prescrições da ABNT NBR NM 67:1998, o Slump Test em laboratório foi realizado com a adição da massa de concreto no interior da fôrma tronco cônica, em três camadas adensadas com 25 golpes cada uma. Após o adensamento, o molde é retirado e colocado verticalmente próximo a massa, com isto, é possível medir a diferença entre a altura do molde e a altura do concreto, como mostrado na Figura 2. Para o traço 1, 2 e 3, a consistência obtida foram, respectivamente, 17 cm; 18,5 cm e 17,5 cm.

Figura 2 – Slump Teste



Fonte: Os autores.

Após a execução do Slump Test, foram preparados os corpos de prova cilíndricos de dimensões de 100mmx200mm. Para os três traços determinados, foram moldados 4 corpos de prova para cada ensaio, de acordo com a Tabela 2. Os moldes foram colocados em superfície plana para o endurecimento da massa, conforme Figura 3.

Figura 3 – Corpos de prova



Fonte: Os autores.

Com o endurecimento da massa, os corpos de prova foram destinados a um tanque de água para a realização da cura de 7 e 28 dias. Nos dois tempos determinados, foram realizados os ensaios de compressão em prensa hidráulica de acordo com a ABNT NBR 5739:2015 e de tração por compressão diametral em prensa hidráulica como prescrito na ABNT NBR 7222:2011, e absorção de água por capilaridade. A absorção foi executada com base na ABNT NBR 9779:2012, na qual

foi realizada medições de absorção com 3, 6, 24, 48 e 72 horas de ensaio. Os resultados foram anotados, analisados e discutidos nesse artigo.

3.4 Critério de Chauvenet

Para os resultados obtidos com os ensaios de compressão e tração por compressão diametral do concreto com adição de fibras de polietileno tereftalato, foi adotado um procedimento com a finalidade de apresentar uma medida de confiabilidade dos dados experimentais. O procedimento utilizado para análise dos resultados foi o Critério de Chauvenet.

Segundo Salvador (2013), o Critério de Chauvenet é um método no qual rejeita se os resultados que não enquadram numa certa tendência dominante, para isto calculou-se o valor médio ($x_{médio}$) e o desvio padrão (σ) de todas as medidas. Posteriormente, cada medição (x_i) foi avaliada através do cálculo de Δx, de acordo com as equações a seguir.

$$\Delta x = |x_i - x_{médio}|/\sigma \quad (1)$$

$$\Delta x_0 = |x - x_{médio}|/\sigma \quad (2)$$

Efetuado os cálculos, foram eliminadas as medidas cujo valor de Δx é maior que Δx_0, conforme Tabela 3. Após isto, foram obtidas novamente a média e o desvio padrão.

Tabela 3. Valores de referência, segundo o Critério de Chauvenet

Número de medições	Δx_0
3	1,38
4	1,54

Fonte: SALVADOR, 2013. Editado pelos autores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos com os ensaios foram analisados quantitativamente através de procedimentos estatísticos, de modo a possibilitar a construção de gráficos que apresentam o comportamento do concreto quando acrescido de diferentes teores de fibras PET.

Pelo Critério de Chauvenet, foi possível eliminar as medidas cujo valores de Δx foram superiores à 1,54, correspondente a 4 corpos de prova, para os ensaios de resistência à compressão e tração por compressão diametral, conforme exposto no Apêndice A. Com isto, com as novas medidas foram efetuados os cálculos das médias, desvio padrão e coeficiente de variação em relação ao traço de referência, Apêndice C. Para a absorção de água por capilaridade foram feitas as médias das medidas em 3, 6, 24, 48 e 72 horas, conforme Apêndice B e analisados os resultados com a média, desvio padrão e coeficiente de variação apenas para os obtidos em 72 horas (ver Apêndice C).

Os gráficos e discussões acerca do comportamento do concreto em ensaios de compressão, tração por compressão diametral e absorção de água por capilaridade serão expostos a seguir.

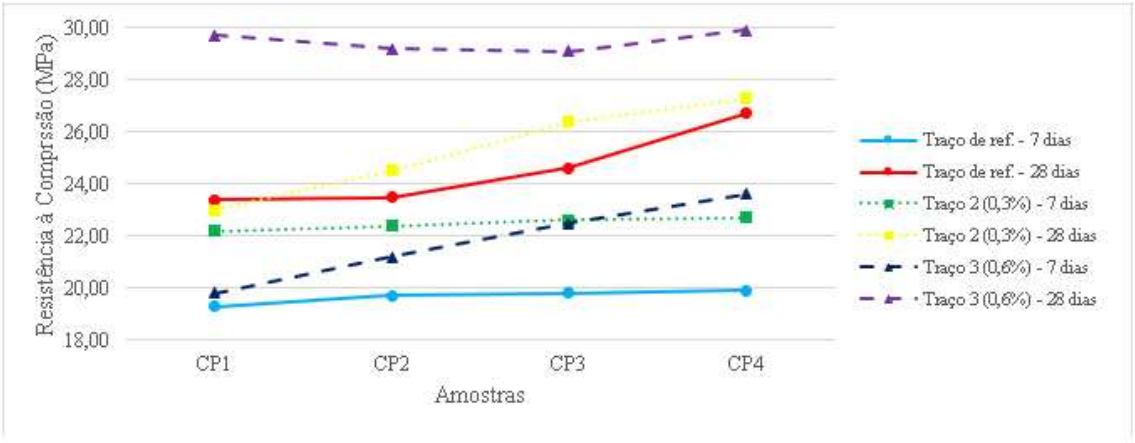
4.1 Resistência à Compressão

Os resultados obtidos com os ensaios de resistência à compressão indicaram que no 7º dia de cura o traço de referência atingiu fcj_7 de 19,8 MPa ± 0,08, enquanto os traços 2 (0,3%) e 3 (0,6 %) tiveram resistência, respectivamente, de 22,48 MPa ± 0,19 e 21,78 MPa ± 1,42. Quando das medidas de dispersão de distribuição de frequências em relação ao traço de referência, o traço 2 apresentou variação de 0,06 enquanto o traço 3 variou 0,05. Por esses resultados, é notável que o melhor desempenho do concreto na parte inicial do processo de cura foi aquele com 0,3% de fibras PET (traço 2), ver Gráfico 2.

Pelo Gráfico 2, ainda é observado que no 28º dia o concreto adquire fcj_{28} de 24,55 MPa ± 1,33, enquanto os traços 2 e 3 atingem, nessa ordem, 25,30 MPa ± 1,67 e 29,48 MPa ± 0,34, além disso, os traços 2 e 3 apresentam coeficientes de variação de 0,02 e 0,09 em relação a mistura sem fibras. Com esses dados, é determinado que o traço 3 apresentou a melhor resistência à compressão no final do período de cura.

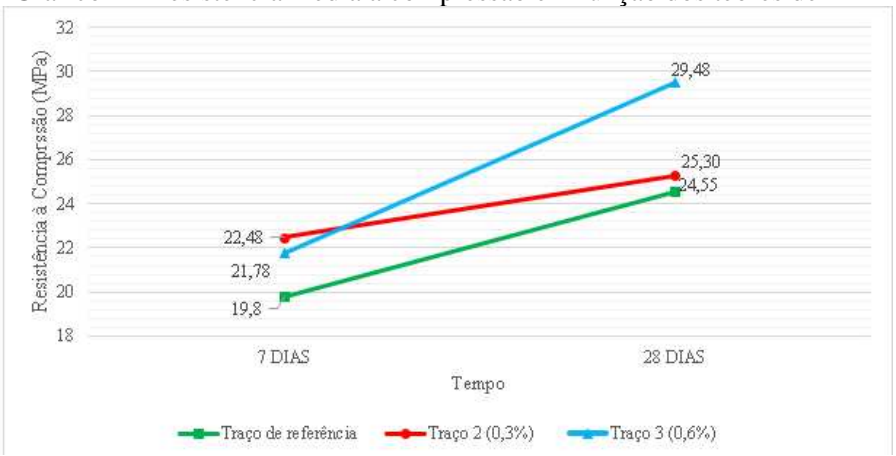
Segundo Correa (2015), as proporções e as propriedades dos componentes, e o tempo de cura influenciam na resistência. Apesar das dimensões das fibras não serem alteradas nos três traços considerados, os resultados alcançados com as médias, Gráfico 2, são indicativos que o concreto fibroso atinge o melhor desempenho para a solicitação quando este estiver acrescido com fibras em maior proporção, traço 3 (0,6%), aos 28 dias de cura.

Gráfico 1 - Resistência à compressão em função dos teores de PET, segundo o Critério de Chauvenet



Fonte: Os autores.

Gráfico 2 - Resistência média à compressão em função dos teores de PET



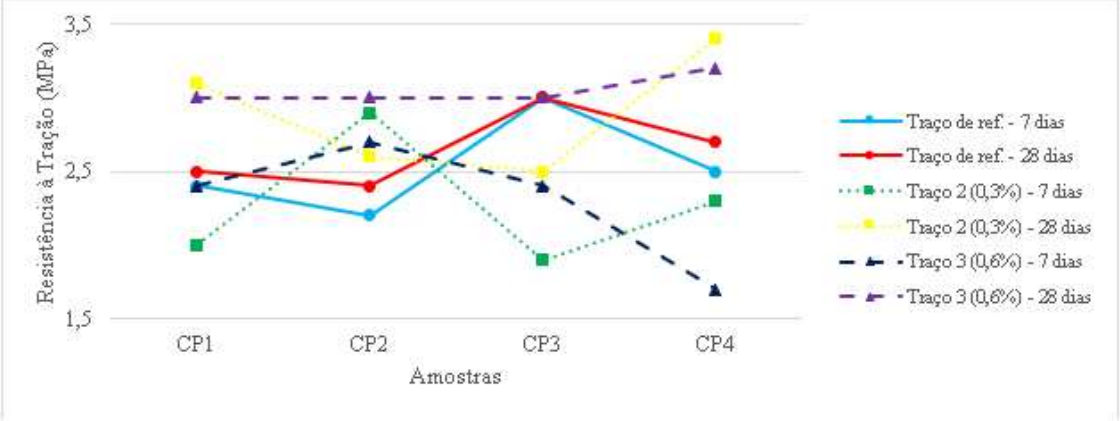
Fonte: Os autores.

4.2 Resistência à Tração por Compressão Diametral

Os resultados obtidos com o ensaio de resistência à tração por compressão diametral apresentaram que o concreto sem fibras (traço de referência), no 7º dia, alcançou resistência de 2,53 MPa ± 0,12 enquanto os traços 2 e 3 obtiveram, nessa ordem, 2,28 MPa ± 0,17 e 2,30 MPa ± 0,14, (Gráfico 4). Além disso, os coeficientes de variação em relação ao traço de referência indicaram 0,07 para o traço 2 e 0,03 para o traço 3. No 28º dia, os traços de referência, 2 e 3 obtiveram fcj_{28}, respectivamente, de 2,65 MPa ± 0,23; 2,90 MPa ± 0,37 e 3,05 MPa ± 0,00, para coeficiente de variação em 0,05 com 0,3% de fibras e 0,06 com 0,6% (ver Gráfico 4).

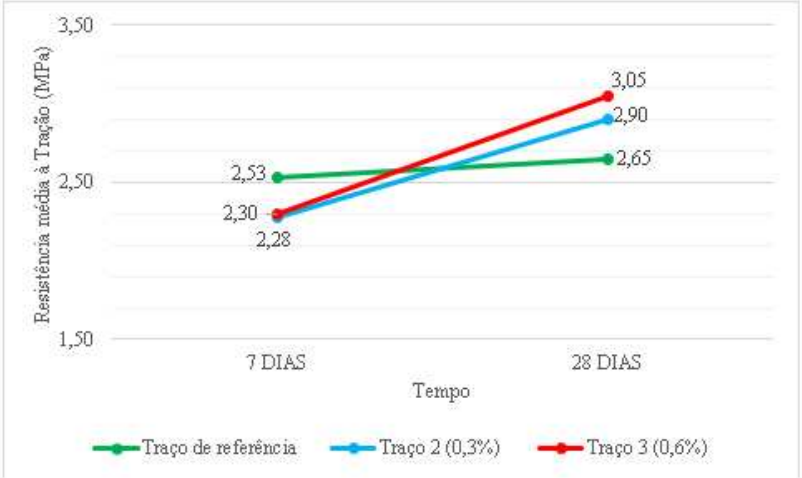
Com isto, o concreto com 0,6% de fibras (traço 3) apresentou o melhor desempenho em resistência à tração nos 7º e 28º dias, isto se deve ao fato de as fibras aderirem melhor à matriz cimentícia e, consequentemente, a boa aderência será fundamental para minimizar o processo de fissuração do material.

Gráfico 3 - Resistência à tração por compressão diametral em função dos teores de PET, segundo o Critério de Chauvenet



Fonte: Os autores.

Gráfico 4 - Resistência média à tração por compressão diametral em função dos teores de PET



Fonte: Os autores.

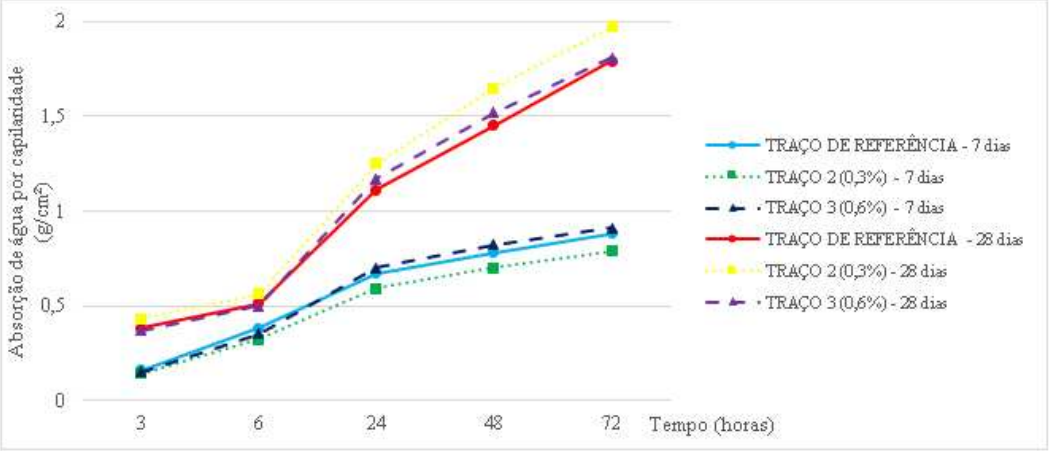
4.3 Absorção de Água por Capilaridade

No ensaio de absorção de água por capilaridade, os resultados obtidos mostraram que no 7º dia, o traço de referência, o traço 2 e o traço 3 atingiram absorção, nessa ordem, de 0,57 g/cm² ± 0,04; 0,51 g/cm² ± 0,06 e 0,59 g/cm² ± 0,05, com coeficientes de variação em relação ao traço sem fibras de 0,05 para o traço 2 e 0,02 para o traço 3. Com isto, o melhor desempenho, nesse período, do concreto em absorção é aquele que apresentar menor valor, ou seja, o traço 2 com 0,3% de fibras PET, conforme Gráfico 6.

No 28º dia (ver Gráfico 6), os resultados apontaram o concreto do traço de referência com a melhor absorção, pois apresenta valor de 1,05 g/cm² ± 0,08, enquanto o traço 2 e 3 apontam, por ordem, 1,17 g/cm² ± 0,14 e 1,07 g/cm² ± 0,08, além disso, os coeficientes de variação resultaram em 0,05 para o traço 2 e 0 para o traço 3.

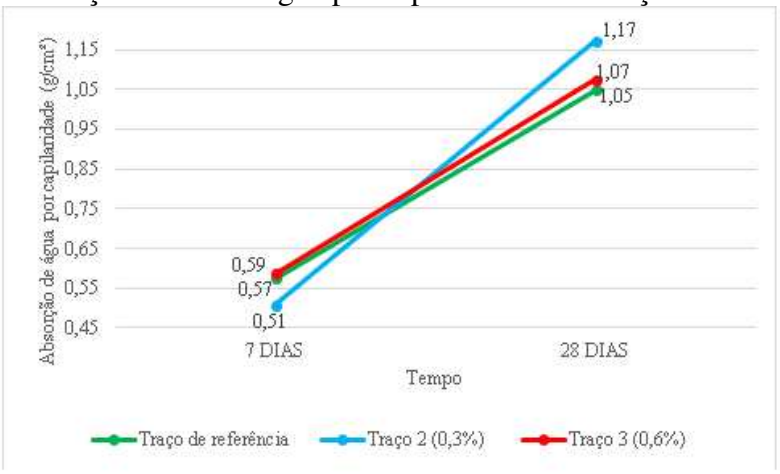
Ressalta-se que os resultados indicaram valores próximos de absorção nos três traços considerados, porém o traço de referência conseguiu manter uma hidratação de tal modo a reduzir a movimentação do fluído no interior do material no 28º dia.

Gráfico 5 - Absorção de água por capilaridade em função dos teores de PET



Fonte: Os autores.

Gráfico 6 - Absorção média de água por capilaridade em função dos teores de PET



Fonte: Os autores.

5. CONCLUSÃO

A pesquisa foi de natureza qualitativa e quantitativa, e obteve resultados satisfatórios, pois possibilitaram avaliar o comportamento do concreto quando a este for adicionado teores diferentes de fibras de polietileno tereftalato (PET). Com a comparação dos traços considerados na pesquisa foi analisado se o concreto tem a resistência adequada para garantir a segurança e a estabilidade estrutural.

Os dados mostraram que as dimensões e as quantidades de PET são fatores que influenciam as propriedades mecânicas do concreto. A dimensão de 30mmx3mmx0,5mm permite que a fibra adere bem a matriz cimentícia, de modo a aumentar a carga máxima suportada pelo elemento em ensaios de compressão e tração por compressão diametral.

Pelos resultados obtidos houve uma melhoria da resistência à compressão no 7º dia com o concreto acrescido de 0,3% de fibras PET (traço 2), porém ao término da cura, no 28º dia, o melhor desempenho ocorre com o traço 3 (0,6%). Dessa forma, o tempo de cura e a quantidade de fibras são fatores de influência importantes no fcj_{28} do concreto, além disso, quanto maior o valor da variável melhor o comportamento do elemento, por isto, aos 28 dias o concreto com maior teor de fibras obteve elevada resistência, de 29,57 MPa, o que garante a segurança e estabilidade estrutural.

Considerando também os resultados da pesquisa no que diz respeito a resistência à tração por compressão diametral e considerando que as maiores medidas são indicativas de bom desempenho, o concreto apresentou boa resistência à tração para 7 e 28 dias quando este estiver com 0,6% de fibras na composição (traço 3). Isto é resultante da boa aderência entre as fibras e a matriz, a qual permite a redução de fissuras na estrutura.

Por fim, pela análise da absorção de água por capilaridade foi possível concluir que quanto mais baixo o nível de absorção, mais resistente será o concreto aos agentes agressivos, por isto o traço de referência apresenta o melhor resultado aos 28 dias, com 1,79 g/cm². Com isto, o concreto apresentará boa resistência aos efeitos do meio ambiente, de modo a melhorar a durabilidade do mesmo.

Portanto, as fibras de polietileno tereftalato podem influenciar de maneiras diferentes as propriedades mecânicas do concreto, de modo a favorecer a qualidade da obra. Além disso, a adição delas é ecologicamente correto, pois auxilia na redução de garrafas plásticas descartadas inadequadamente no meio ambiente levando assim a um novo método de se contribuir com a sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, R.C. L.; RODRIGUES, E. H. V; FREITAS, E. G. A. **Materiais de construção**: Cap. 5. Rio de Janeiro: Editora Universidade Rural, 2000. Disponível em: <http://engenhariaconcursos.com.br/arquivos/Materiais/concretosimples.pdf>. Acesso em: 15 set. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET – **Abipet**, 2012. Disponível em: <http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitucional&id=49>. Acesso em: 15 set. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: **Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR 5739: **Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

_____. NBR 7222: **Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR 9779: **Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade.** Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 15395: **Garrafa soprada de PET para refrigerantes e águas - Requisitos e métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, 2006.

_____. NBR NM 67: **Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 1998.

CORÓ, Angela Grisleni**. Investigação das propriedades mecânicas de concretos reforçados com fibras PET**, 2002. Disponível em: <http://www.projetos.unijui.edu.br/petegc/wp-content/uploads/2010/03/TCC Angela-Ghisleni-Cor.pdf>. Acesso em: 15 set. 2018.

CORREA, Priscila Marque. **Estudo comparativo da influência da adição de PET e PP pós-consumo na produção do concreto estrutural**, 2015. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/130090/000976931.pdf?sequenc e=1>. Acesso em: 10 nov. 2018.

ESTUDO do ensaio brasileiro aplicado ao concreto através da técnica de correlação digital de imagens, 2017. Disponível em: <http://seer.unipampa.edu.br/index.php/siepe/article/viewFile/30810/16324>. Acesso: 10 nov. 2018.

HAGEMANN, Sabrina Elicker. **Materiais de Construção Básicos**, 2011. Disponível em: <http://tics.ifsul.edu.br/matriz/conteudo/disciplinas/_pdf/apostila_mcb.pdf>. Acesso em: 15 set. 2018.

MAGALHÃES, Fábio Costa. **Concreto de Cimento Portland – Especificações e Ensaios**, 2011. Disponível em: <http://academico.riogrande.ifrs.edu.br/~fabio.magalhaes/mat_construcao_arquivos/Apostilas/concreto_especificacoes.pdf>. Acesso em: 26 out. 2018.

SALVADOR, Renan Pícolo. **Análise comparativo de métodos de ensaio para caracterização do comportamento mecânico de concreto reforçado com fibras**, 2013. Disponível em: <file:///C:/Users/Carla%20Camargos/Downloads/Dissertacao_RenanPSalvador_unprotected.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2018.

SCHETTINO, Rômulo Marczuk. **Concreto com adição de fibras de politereftalato de etileno**, 2015. Disponível em: <http://web.unifoa.edu.br/portal_ensino/mestrado/memat/arquivos/dissertacao/romulomarczuk.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2018.