



COMPORTAMENTO DE ARGAMASSAS CIMENTÍCIAS REFORÇADAS COM FIBRAS DE POLITEREFTALATO DE ETILENO (PET)

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.6.23.IV-050>

Christian Souza Barboza (*), Agleison Ramos Omidó, Andressa Ponse Santos, Gabriel Borges da Silva, Matheus Rodrigues Pereira do Nascimento

* Universidade Federal da Grande Dourados, christianbarboza@ufgd.edu.br

RESUMO

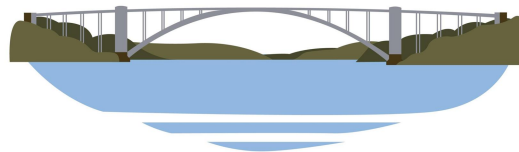
O Brasil apresenta um grande consumo de embalagens de Politereftalato de Etileno (PET), sendo que estes materiais têm longos períodos de degradação, representando um grande desafio para os grandes centros consumidos o seu descarte ou reprocessamento. Em contrapartida, a adição de fibras em matrizes cimentícias tem como objetivo melhorar as propriedades mecânicas destes materiais, especialmente sua resistência à tração. As fibras de PET são abundantes e de baixo custo, podendo ser uma alternativa viável às fibras tradicionalmente utilizadas, como as de Polipropileno (PP). Neste cenário, a presente pesquisa discute o uso de fibras de PET recicladas em materiais cimentícios, especificamente em argamassas. Para tanta, o trabalho se estrutura metodologicamente a partir de uma revisão da literatura relacionada ao tema, objetivando encontrar traços que apresentem resistências finais superiores à 20MPa (destinadas às argamassas estruturais), sendo a partir destes, realizada uma investigação do comportamento das resistências para traços com adição de 0,5% de fibras de PP, PET e *flakes* de PET. O estudo comparou as resistências à compressão e à tração de argamassas com fibras sintéticas (PP e PET) e de referência (sem adição de fibras) em 3 e 7 dias. Os resultados demonstraram que a adição de fibras de PP aumentou às resistências à compressão em 27,9% para 3 dias e 43,9% para 7 dias, enquanto a adição de fibras e *flakes* de PET resultou em perda de resistências à compressão em ambas as idades. A resistência à tração aumentou com a adição de fibras de PP e PET em 3 dias, mas houve perda de resistência em 7 dias. No entanto, as diferenças não foram estatisticamente significativas. Todas as misturas de argamassa apresentaram resistências à compressão iguais ou superiores a 12,9 MPa em 7 dias, indicando sua eficiência para uso estrutural. A adição de fibras e *flakes* de PET reciclados a materiais cimentícios pode representar uma alternativa a incorporação de fibras de outros polímeros, tais como, o PP dado o seu comportamento à tração (principal interesse com a adição de fibras às argamassas). Porém, é necessário a investigação de outros percentuais de incorporação, sua microestrutura e a análise do comportamento das misturas em idades avançadas.

PALAVRAS-CHAVE: *Argamassas reforçadas, fibras recicladas, argamassas estruturais*

ABSTRACT

Brazil has a large consumption of polyethylene terephthalate (PET) packaging, and these materials have long periods of degradation, representing a great challenge for the large centers consumed their disposal or reprocessing. On the other hand, the addition of fibers in cementitious matrices aims to improve the mechanical properties of these materials, especially their tensile strength. PET fibers are abundant and inexpensive, and may be a viable alternative to traditionally used fibers, such as polypropylene (PP). In this scenario, this research discusses the use of recycled PET fibers in cementitious materials, specifically in mortars. Therefore, the work is structured methodologically from a review of the literature related to the subject, aiming to find traces that present final resistances superior to 20MPa (intended for structural mortars), being based on these, an investigation of the behavior of the resistances for traces with the addition of 0,5% PP, PET and PET Flakes fibers. The study compared the compressive and tensile strengths of mortars with synthetic (PP and PET) and reference fibers (without adding fibers) in 3 and 7 days. The results showed that the addition of PP fibers increased compressive strength by 27.9% for 3 days and 43.9% for 7 days, while the addition of PET fibers and flakes resulted in loss of compressive strength in both the ages. The tensile strength increased with the addition of PP and PET fibers in 3 days, but there was a loss of strength in 7 days. However, the differences were not statistically significant. All mortar mixtures showed compressive strength equal to or greater than 12.9 MPa in 7 days, indicating their efficiency for structural use. The addition of recycled PET fibers and Flakes to cementitious materials may represent an alternative to the incorporation of fibers from other polymers, such as PP, given its tensile behavior (main interest with the addition of fibers to mortars). However, it is necessary to investigate other percentages of incorporation, its microstructure and the analysis of the behavior of mixtures at advanced ages.

KEY WORDS: *Reinforced mortars, recycled fibers, structural mortars*



INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, tem avançado o desenvolvimento de novos materiais para uso na construção civil (OLIVEIRA, 2001), dos quais destacam-se os compósitos cimentícios reforçados com fibras. A adição destes filamentos à concretos e argamassas objetiva melhorar as propriedades mecânicas destes materiais, principalmente as resistências à tração (FIGUEIREDO, 2011). São diversos os tipos de fibras existentes, com distintas características e funções, Toledo Filho et al. (1997) descrevem que as fibras comumente aplicadas no mercado são metálicas, poliméricas e minerais.

Diante deste cenário, uma alternativa para minimizar os impactos ambientais e contribuir para as ações de logística reversa, a incorporação de resíduos de embalagens já utilizadas nas misturas de argamassas e concretos de cimento Portland se mostra como uma estratégia eficaz. Pois, além de melhorar as propriedades da matriz de natureza frágil (cimentícia), a adição de fibras provenientes de resíduos sólidos urbanos contribui para minimização de passivos ambientais causados por seu descarte inadequado (RODRIGUES et al., 2017). Dentre as opções, as fibras de Politereftalato de Etileno (PET) se sobressaem com sua abundância e baixo custo de produção (CORREA, 2015).

A fabricação de PET é realizada em larga escala no Brasil, principalmente para a produção de embalagens “descartáveis”, o que gera dificuldades na destinação destes produtos no final de seu ciclo de vida, haja visto que, como ainda estes materiais são enxergados como resíduos. Tal abordagem implica, em além de reduzir a vida útil dos aterros existentes, visto que o PET possui longo tempo de decomposição, gera grandes impactos ao meio ambiente (SENEZ, 2016). Na tentativa de reciclar este material, Correa (2015) descreve a possibilidade de transformá-lo em fibras e *flakes* e aplicá-lo na construção civil.

Polímeros ou resinas commodities, são materiais baratos e utilizados em aplicações de baixo custo, sendo os principais commodities encontrados no Brasil: polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS) e policloreto de vinila (PVC) (SICHIERI et al., 2014).

O PP, um termoplástico derivado do monômero propileno (C_3H_6) de longa cadeia de moléculas polimerizadas, é obtido através da síntese de elementos orgânicos derivados do petróleo (TANESI e AGOPYAN, 1997). Com características de grande flexibilidade e tenacidade, as fibras de polipropileno, são produzidas em larga escala através de um processo de extrusão, possuindo módulo de elasticidade e resistência à tração de 8GPa e 400MPa, respectivamente (TAYLOR, 2000).

O PET, é um polímero termoplástico, derivado do poliéster, que possui alta resistência ao calor, rigidez, tenacidade, estabilidade química e dimensional, e outros atributos que o torna passível de inúmeras aplicações (SENEZ, 2016). De acordo com pesquisas realizadas por Rodrigues et al. (2017) e Correa (2015), o estudo de dosagens para viabilizar a inserção de fibras de PET em argamassas cimentícias é fundamental, assim como a avaliação do comportamento e durabilidade deste compósito.

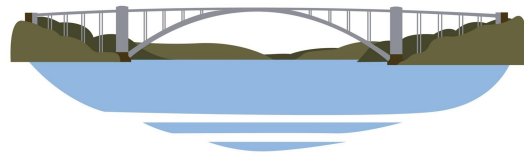
As fibras de tereftalato de polietileno (PET), são produzidas, em sua maioria, a partir de conformação mecânica das laterais de garrafas PET já utilizadas, os gargalos e o fundo das garrafas são descartados. A uniformidade das fibras é assegurada, principalmente nas dimensões comprimento e largura, por ajuste fino executado em máquina de corte semiautomática. As dimensões das fibras de maneira geral giram em torno de, aproximadamente, 2 mm de largura, 0,5 mm de espessura e 35 mm de comprimento (PEREIRA DE OLIVEIRA; CASTRO-GOMES, 2011).

OBJETIVOS

Analisar o comportamento de argamassas de cimento Portland com a adição de fibras sintetizadas a partir de embalagens de Politereftalato de etileno (PET) recicladas.

METODOLOGIA

O presente trabalho se embasa na revisão de parâmetros através da busca sistemática da literatura, sendo os mesmos adotados em estudo de traços com diferentes percentuais de fibras de PET (fibra de interesse) e Polipropileno - PP (fibra referência). Os estudos são direcionados às interações físicas e mecânicas de argamassas reforçadas com fibras de PET recicladas, tendo como premissa o interesse em se utilizar este material com elemento estrutural.



De modo geral, o fluxograma esquemático das etapas metodológicas desta pesquisa está apresentado na Figura 1, sendo a principal fonte de consulta das publicações acadêmicas nesta temática a base de dados e gerenciador de periódicos Web of Science (WOS), além do mecanismo de busca virtual Google Scholar e bibliografias impressas.

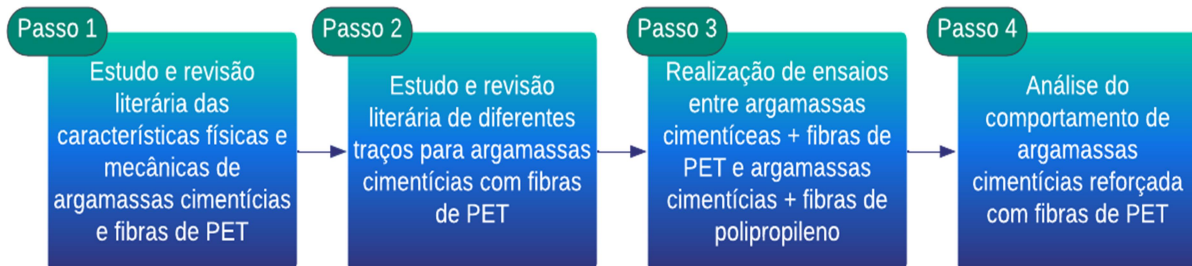


Figura 1: Fluxograma sintético das etapas metodológicas deste trabalho. Fonte: Autores do Trabalho.

A primeira etapa se destinou a seleção de palavras-chaves relacionadas a tema de interesse sendo elas: “Argamassas Cimentícias”, “Argamassas Estruturais”, “Fibras de PET”, com o intuito da busca e estudo de trabalhos relacionados a interações físicas e mecânicas destes materiais. Da mesma forma, a segunda etapa foi dedicada na seleção de palavras-chaves, porém desta vez relacionadas à temática de traços de argamassas reforçadas com fibras de PET. As palavras escolhidas foram: “Compósitos Cimentícios”, “Argamassas reforçadas com Fibras Sintéticas”, “Compósitos reforçados com fibras de PET” e “Concretos Reforçados”. Após a seleção, foi realizada a revisão da literatura, a fim de analisar os resultados das propriedades físicas e mecânicas desta fibra a argamassa, bem como os traços a serem utilizados.

Na terceira etapa, após a seleção de traços com maiores potenciais para o uso em argamassas cimentícias com características mínimas para a aplicação em peças estruturais, utilizando fibras de PET no formato de microfibras e *flakes* de PET e fibras de polipropileno (Figura 2).



Figura 2: Materiais utilizados em adição às argamassas estudadas. Fonte: Autores do Trabalho.

A microfibras de PET foi obtida a partir do processamento manual da lã de PET fornecida pela empresa Ecofiber (destinada ao isolamento termo acústico de vedações), a fibra de PP utilizada foi a macrofibras de polipropileno FF54 duristeel fornecida pela empresa MC-Bauchemie e o *flake* de PET foi obtido por meio do processamento mecânico em triturador, feito no laboratório de materiais de construção civil – LMCCivil/UFGD.

Como aglomerante, optou-se pela utilização do Cimento Portland do tipo CP-V, de alta resistência inicial e com baixo nível de adições, objetivando reduzir o número de possíveis interações entre o aglomerante e os polímeros a serem aglomerados.



Para avaliar o comportamento das fibras de PET em argamassas e aferir se as mesmas atingem os limites mínimos para a sua utilização em elementos estruturais, foi realizada a caracterização física dos agregados utilizados de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2022) e ensaios mecânicos nos corpos de prova (CP) de argamassas cimentícias (referência) e argamassas cimentícias reforçadas com fibras de PP, comparando com a argamassas cimentícias reforçadas com fibras e *flakes* de PET. Sendo esses ensaios: compressão simples de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2018) e tração por compressão diametral de acordo com a NBR 7222 (ABNT, 2011).

Por fim, a quarta etapa foi dedicada a análise do comportamento da argamassa reforçada com fibra de PET e a sua comparação com argamassa reforçada com fibra de polipropileno e sem fibras, para se identificar se as mesmas são compatíveis, sendo proposto, neste caso, o uso de fibras de PET recicladas em alternativa ao material sintetizado comercialmente.

RESULTADOS

De acordo com Papayianni et al. (1995), as argamassas se distinguem em três tipos: argamassa para o revestimento de pavimentos, argamassa para reboco e argamassa estrutural. As argamassas com funções de reboco e revestimento de pavimentos não possuem muitas exigências quanto à resistência, diferente da argamassa estrutural (SAKIR et al., 2020). A necessidade da utilização da argamassa estrutural teve um aumento nos últimos anos. Algumas das aplicações mais usuais são como reparo para concreto e estruturas em geral, ligações em trabalhos de alvenaria, além de matrizes cimentícias reforçadas (SAKIR et al. 2020). Ainda, segundo Sakir et al. (2010) os requisitos de resistência à compressão para argamassas estruturais em suas atribuições vão de 17,2 MPa a 45MPa aos 28 dias. Desta forma, para o presente trabalho, considerou-se que os traços analisados precisam ter, no mínimo 75% da resistência final mínima, descrita por Sakit et al. (2010), ou seja, 12,9 MPa aos 7 dias, haja visto que está sendo utilizado o cimento Portland CP-V.

Segundo Bonifácio e Godinho (2014), o traço em massa do concreto em análise com adição de 0,5% do volume total em fibras de vidro ou polipropileno, para resistência característica à compressão de 30 MPa e classe de agressividade ambiental III, é de 1: 2,85: 3,15: 0,014 (cimento, areia, brita, fibra) com relação água/cimento de 0,55.

Já para Silva et al. (2019), o traço em massa de argamassa com 2% de adição de fibra de polipropileno, para resistência característica à flexão de 40 Mpa, é de 1: 2,17: 0,6: 0,02 (cimento, agregado miúdo e a/c respectivamente).

As fibras, apresentam em materiais de matrizes cimentícias, relativa melhora nas características físicas e mecânicas dos mesmos, sendo observado, porém, que o aumento dos ganhos de resistências mecânicas não é linearmente proporcional ao aumento das concentrações de fibras. Há uma concentração ideal, a depender do traço adotado, matriz de formação da fibra, suas dimensões características, tipo de cimento Portland, agregados e relação água-cimento (Tabela 1).

Tabela 1. Resistência média à compressão das argamassas.

Fonte: Adaptado de Silva et al. (2019).

Traço	Volume de fibras	7 dias (N/mm ²)	28 dias (N/mm ²)	63 dias (N/mm ²)
01:03	0%	13,72	16,31	15,38
01:01:06	0%	3,27	5,69	4,84
01:01:06	0,50%	5,19	4,92	6,39
01:01:06	1%	3,64	5,44	5,48
01:01:06	1,50%	3,84	5,8	5,69

As fibras, apresentam em materiais de matrizes cimentícias, relativa melhora nas características físicas e mecânicas dos mesmos, sendo observado, porém, que o aumento dos ganhos de resistências mecânicas não é linearmente proporcional, sendo que, para este trabalho adotou-se como traço referência o adotado por Silva et al. (2019), ou seja, uma parte de aglomerante para três partes de agregado miúdo (1 : 3), com 0,5% de adição de fibras.

Na Tabelas 2 são apresentados os resultados obtidos para as tensões de ruptura nos ensaios de compressão simples para cada CP nas idades de 3 e 7 dias respectivamente, bem como tensão média, variância e desvio padrão das amostras.

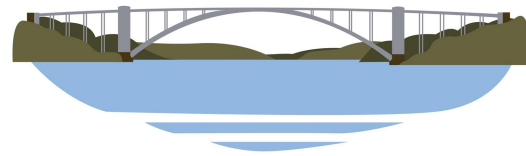


Tabela 2. Resistência à compressão das argamassas de referência e argamassas com fibras para 3 e 7 dias.
Fonte: Autores do Trabalho.

Resultados dos ensaios de Compressão Axial - Idade 3 dias							Resultados dos ensaios de Compressão Axial- Idade 7 dias								
Traço referência 1:3							Traço referência 1:3								
CP	Dimensões		Área (cm ²)	Carga (Kn)	Tensão de Ruptura (Mpa)	Média das Tensões	CP	Dimensões		Área (cm ²)	Carga (Kn)	Tensão de Ruptura (Mpa)	Média das Tensões		
	D (mm)	H (mm)						D (mm)	H (mm)						
1	50,12	88,10	19,73	33,61	17,04	$\sigma=$	17,44	3	50,23	89,55	19,82	44,71	22,56	$\sigma=$	20,91
2	50,51	91,16	20,04	35,77	17,85	Variância =	0,33	4	50,54	90,97	20,06	38,63	19,26	Variância =	5,47
						Desvio Padrão=	0,58							Desvio Padrão=	2,34
Traço 1:3 com adição de 0,5% de Fibras de Polipropileno							Traço 1:3 com adição de 0,5% de Fibras de Polipropileno								
CP	Dimensões		Área (cm ²)	Carga (Kn)	Tensão de Ruptura (Mpa)	Média das Tensões	CP	Dimensões		Área (cm ²)	Carga (Kn)	Tensão de Ruptura (Mpa)	Média das Tensões		
	D (mm)	H (mm)						D (mm)	H (mm)						
1	50,04	90,21	19,67	46,55	23,67	$\sigma=$	22,31	3	50,12	93,92	19,73	61,67	31,26	$\sigma=$	30,10
2	50,25	92,23	19,83	41,56	20,96	Variância =	3,68	4	50,22	92,50	19,81	57,31	28,93	Variância =	2,70
						Desvio Padrão=	1,92							Desvio Padrão=	1,64
Traço 1:3 com adição de 0,5% de Fibras de Politereftalato de Etileno (PET)							Traço 1:3 com adição de 0,5% de Fibras de Politereftalato de Etileno (PET)								
CP	Dimensões		Área (cm ²)	Carga (Kn)	Tensão de Ruptura (Mpa)	Média das Tensões	CP	Dimensões		Área (cm ²)	Carga (Kn)	Tensão de Ruptura (Mpa)	Média das Tensões		
	D (mm)	H (mm)						D (mm)	H (mm)						
1	50,18	100,29	19,78	30,14	15,24	$\sigma=$	14,99	3	50,06	98,64	19,68	30,64	15,77	$\sigma=$	15,95
2	50,29	99,65	19,86	29,26	14,73	Variância =	0,13	4	50,01	100,45	19,64	31,67	16,12	Variância =	0,06
						Desvio Padrão=	0,36							Desvio Padrão=	0,25
Traço 1:3 com adição de 0,5% de Flake de Politereftalato de Etileno (PET)							Traço 1:3 com adição de 0,5% de Flake de Politereftalato de Etileno (PET)								
CP	Dimensões		Área (cm ²)	Carga (Kn)	Tensão de Ruptura (Mpa)	Média das Tensões	CP	Dimensões		Área (cm ²)	Carga (Kn)	Tensão de Ruptura (Mpa)	Média das Tensões		
	D (mm)	H (mm)						D (mm)	H (mm)						
1	50,16	98,68	19,76	40,68	20,59	$\sigma=$	19,99	3	43,37	101,67	14,77	20,09	13,60	$\sigma=$	12,84
2	50,56	100,74	20,08	38,94	19,40	Variância =	0,71	4	43,43	102,11	14,81	17,91	12,09	Variância =	1,14
						Desvio Padrão=	0,84							Desvio Padrão=	1,07

Comparando valores de tensão de ruptura obtidos nos ensaios de compressão simples, para 3 dias, entre os traços com adição de fibras e o traço de referência (sem adição de fibras), observa-se um aumento de 27,9% na resistência média à compressão para os com fibras de PP, para o traço com a adição de 0,5% fibra de PET uma perda de resistência de 23,7%, porém utilizando 0,5% em *flake* de PET, observa-se um aumento na resistência de 14,6% (Tabela 2).

Comparando-se os traços com 0,5% de adição de fibras de PP e os que foram adicionados PET processados, temos uma perda de resistência de 10,4 % para fibra de PET e 57,32% para *flake* de PET aos 7 dias, sendo a adição de PP se destacando dentre as fibras sintéticas com maior ganho de resistência nesta idade (Tabela 2).

Para os valores de tensão de ruptura obtidos nos ensaios de compressão simples aos 7 dias, observa-se uma perda de resistência de 23,7% para fibras de PET e 38,6% para *flake*, comparando com argamassa de referência. Já para a adição de fibras de PP, verificou-se um ganho de resistência de 43,9%.

Todos os traços, com exceção do traço com adição de flakes de PET, apresentaram ganho de resistências mecânicas com o passar do tempo. Comportamento esperado ante a hidratação do cimento, porém, para o traço com *flakes* de PET houve um decréscimo nas resistências à compressão, tal fato pode ter sido ocasionado por diversos fatores, tais como, a não homogeneidade da mistura, sendo que, alguns CP's podem ter tido maiores quantidades de *flake* que outros; contaminação dos agregados reciclados com resíduos de componentes que estes serviam de embalagens, tais como refrigerantes, sucos e outros; má aderência entre a matriz cimentícia e os *flakes* dada as suas dimensões e outros. Ainda, todos os traços apresentaram resistências iguais ou superiores à 12,9 MPa aos 7 dias, sendo considerado que as argamassas ensaiadas podem ser empregadas em peças estruturais.

Os valores de tensão de ruptura nos ensaios de tração por compressão diametral para cada CP, bem como tensão média, variância e desvio padrão das amostras, são expressos nas Tabela 3, para as idades de 3 e 7 dias.



Tabela 3. Resistência à tração das argamassas de referência e argamassas com fibras para 3 e 7 dias.

Fonte: Autores do Trabalho.

Resultados dos ensaios de Tração por Compressão Diametral - Idade 3 dias							Resultados dos ensaios de Tração por Compressão Diametral - Idade 7 dias								
Traço referência 1:3							Traço referência 1:3								
CP	Dimensões		Área (cm ²)	Carga (Kn)	Tensão de Tração (Mpa)	Média das Tensões		CP	Dimensões		Área (cm ²)	Carga (Kn)	Tensão de Tração (Mpa)	Média das Tensões	
	D (mm)	H (mm)				σ =			D (mm)	H (mm)				σ =	
1	43,19	104,48	14,65	8,24	1,16	σ =	1,54	1	42,94	102,77	14,48	17,24	2,49	σ =	2,60
2	42,82	103,21	14,40	13,34	1,92	Variância =	0,29	2	43,36	102,37	14,77	18,94	2,72	Variância =	0,03
						Desvio Padrão=	0,54							Desvio Padrão=	0,16
Traço 1:3 com adição de 0,5% de Fibras de Polipropileno							Traço 1:3 com adição de 0,5% de Fibras de Polipropileno								
CP	Dimensões		Área (cm ²)	Carga (Kn)	Tensão de Tração (Mpa)	Média das Tensões		CP	Dimensões		Área (cm ²)	Carga (Kn)	Tensão de Tração (Mpa)	Média das Tensões	
	D (mm)	H (mm)				σ =			D (mm)	H (mm)				σ =	
1	50,09	98,47	19,71	15,03	1,94	σ =	1,83	1	50,26	99,00	19,84	18,40	2,35	σ =	2,05
2	50,05	98,35	19,67	13,34	1,73	Variância =	0,02	2	50,33	99,32	19,90	13,72	1,75	Variância =	0,18
						Desvio Padrão=	0,15							Desvio Padrão=	0,43
Traço 1:3 com adição de 0,5% de Fibras de Politereftalato de Etileno (PET)							Traço 1:3 com adição de 0,5% de Fibras de Politereftalato de Etileno (PET)								
CP	Dimensões		Área (cm ²)	Carga (Kn)	Tensão de Tração (Mpa)	Média das Tensões		CP	Dimensões		Área (cm ²)	Carga (Kn)	Tensão de Tração (Mpa)	Média das Tensões	
	D (mm)	H (mm)				σ =			D (mm)	H (mm)				σ =	
1	50,18	100,29	19,78	15,80	2,00	σ =	2,07	1	50,09	100,11	19,71	16,24	2,06	σ =	2,01
2	50,29	99,65	19,86	16,85	2,14	Variância =	0,01	2	50,21	99,57	19,80	15,30	1,95	Variância =	0,01
						Desvio Padrão=	0,10							Desvio Padrão=	0,08
Traço 1:3 com adição de 0,5% de Flake de Politereftalato de Etileno (PET)							Traço 1:3 com adição de 0,5% de Flake de Politereftalato de Etileno (PET)								
CP	Dimensões		Área (cm ²)	Carga (Kn)	Tensão de Tração (Mpa)	Média das Tensões		CP	Dimensões		Área (cm ²)	Carga (Kn)	Tensão de Tração (Mpa)	Média das Tensões	
	D (mm)	H (mm)				σ =			D (mm)	H (mm)				σ =	
1	50,16	98,68	19,76	16,76	2,16	σ =	2,22	1	50,18	98,83	19,78	14,30	1,84	σ =	1,94
2	50,56	100,74	20,08	18,25	2,28	Variância =	0,01	2	50,28	98,78	19,86	15,96	2,05	Variância =	0,02
						Desvio Padrão=	0,09							Desvio Padrão=	0,15

Comparando valores de tensão de ruptura obtidos nos ensaios de tração para 3 dias, observa-se um aumento de resistência de 34,2% para fibra de PET e 44,8% para *flake* de PET comparando com o traço de referência. Já comparando com a fibra de referência (PP), é possível verificar também um ganho de resistência de 12,9% para fibras de PET e 21,1% para *flake*.

Da mesma forma, porém aos 7 dias, temos uma perda de resistência de 21,1% para os traços com fibras de PP, 22,9% para fibras de PET e 25,4% para *flake* em comparação ao traço de referência. Além de uma perda de 2,3% para fibras de PET e 5,4% para *flake* comparando com argamassa reforçada com fibra de PP aos 7 dias (Tabela 3).

Porém, para as resistências à tração (aferidas pelo ensaio de compressão diametral) tais variações não são significativas, não sendo encontradas diferenças entre os valores encontrados, estatisticamente, como demonstrado nos gráficos de ganho de resistências, presente na Figura 3.

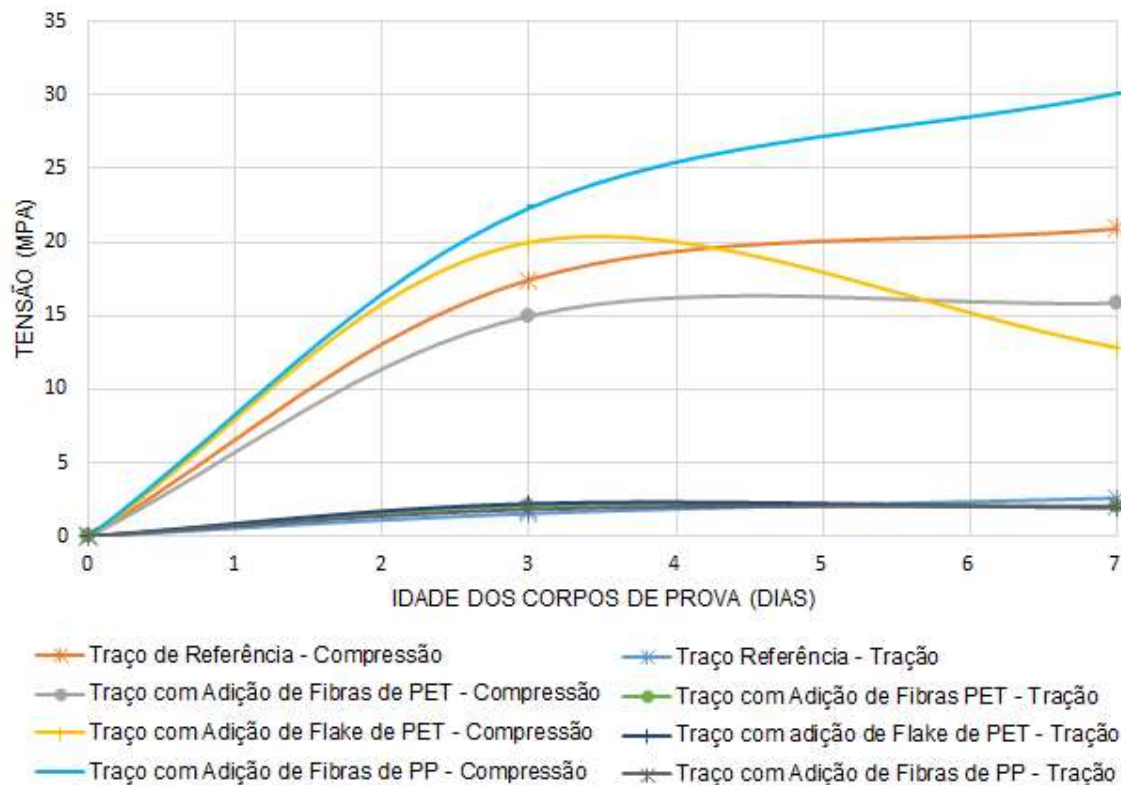


Figura 3: Evolução das resistências à tração e compressão em 3 e 7 dias. Fonte: Autores do Trabalho.

A curva do comportamento das resistências ao longo dos dias, para cada traço em análise, demonstra que a evolução dos traços com a adição de fibras de PET ou *flake* apresenta valores de resistência à compressão simples inferiores à argamassa de referência após 7 dias, porém apresentam resistência similar na resistência à tração.

Já, quanto ao consumo de água, os traços, para uma mesma trabalhabilidade apresentaram relações água/cimento (A/C) bastante próximas (Tabela 4).

Tabela 4. Teores de umidade nas misturas ensaiadas. Fonte: Autores do Trabalho.

Ensaio	Tipo de Fibra	Relação A/C
Tração	Sem adição de fibras	0,90
	Fibra de Polipropileno	0,89
	<i>Flake</i> de PET	0,92
	Fibra de PET	0,87
Ensaio	Tipo de Fibra	Relação A/C
Compressão	Sem adição de fibras	0,88
	Fibra de Polipropileno	0,88
	<i>Flake</i> de PET	0,92
	Fibra de PET	0,87

Tal característica se deve à natureza dos materiais incorporados, sendo que, os materiais poliméricos apresentam baixíssimos índices de absorção de umidade, área de contato similar aos agregados já utilizados e boa dispersão na mistura.



CONCLUSÕES

A partir do presente estudo, verificamos que a adição de fibras à materiais cimentícios influenciam diretamente nas suas características mecânicas, sendo que, para os traços analisados as resistências à compressão foram melhoradas aos 3 dias, sendo que esta tendência se inverteu aos 7 dias para materiais processados a partir de embalagens recicladas de PET. Para argamassas estruturais, a solicitação mínima exigida, aos 7 dias, é de 12,9 MPa, respeitadas as características mínimas para o seu comportamento físico sendo observado que todos os traços analisados atingiram este parâmetro mínimo.

Em suma, há um grande potencial para incorporar resíduos de PET em forma de fibras e *flakes* na produção de argamassas cimentícias reforçadas. Os resultados demonstraram que devido às resistências à tração semelhantes em traços com a adição de fibras de PP amplamente utilizada, tornando-se uma opção vantajosa por contribuir para uma destinação e incorporação na construção civil de forma sustentável desse resíduo.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a investigação do comportamento de argamassas cimentícias com diferentes concentrações, em idades avançadas e a análise da microestrutura da matriz cimentícia e as fibras incorporadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739 – Concreto e argamassa: Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739 – Concreto: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211 – Agregados para concreto**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
4. CORREA, P. M. **Estudo Comparativo da influência da adição de PET e PP pós-consumo na produção do concreto estrutural**. Porto Alegre, 2015.
5. FIGUEIREDO, A. D. **Concreto Reforçado com Fibras**. São Paulo, 2011.
6. OLIVEIRA, M. L. L. **Influência Da Adição De Fibras De Polipropileno Em Argamassas**. Florianópolis, 2001.
7. RODRIGUES, N. C. S.; CARVALHO, M. B.; BALBINO, A. V. M.; VASCONCELOS, A. L. R. **Fibra De Pet Na Produção De Concretos**. São Paulo, 2017.
8. PAPAYIANNI, I.; KARAVEZIROGLOU, M.; ATHANASSIOU, F.; GEORGISOUD, K.; REVITHIADOU, K. **Mortars used for intervention in archaeological site of Ancient Olynthos**. 1995.
9. SAKIR, S. **Utilization of By-Products and Wastes as Supplementary Cementitious Materials in Structural Mortar for Sustainable Construction**. 2020.
10. SENEZ, P. C. **Comportamento de uma Areia Reforçada com Fibras de Polietileno Tereftalato (PET)**. Rio de Janeiro, 2016.
11. TOLEDO FILHO, R. D.; GHAVAMI, K.; ENGLAND, G. L. **Comportamento Em Compressão De Argamassas Reforçadas Com Fibras Naturais: Relação Tensão-Deformação Experimental E Processo De Fratura**. Campina Grande, p.79-88, 1997.]
12. BONIFÁCIO, J. S. R.; GODINHO, D. S. S. **Estudo do Efeito das Fibras de Vidro e Polipropileno nas Propriedades Mecânicas do Concreto**, 2014. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/3028/1/J%C3%A9ssicaSpricigoRochaBonif%C3%A1cio.pdf>. Acesso em: 01/03/2023.
13. SILVA, V.; COSTA JÚNIOR, R.; VIANNA, A.; BARTK, N.; RODRIGUES JÚNIOR, A.; GOMES, G. **Análise do comportamento de estruturas de concreto com fibra de polipropileno sob flexão**. Revista Eletrônica Teccen, 2019.
14. PEREIRA DE OLIVEIRA, L. A.; CASTRO-GOMES, J. P. **Physical and mechanical behaviour of recycled PET fibre reinforced mortar**. *Construction and Building Materials*, v. 25, n. 4, p. 1712–1717, abr. 2011.
15. TAYLOR, G. D. **Construction Materials: An Introduction - 3ª edição**, 2000.
16. TANESI, J. e AGOPYAN, Vahan. **Compositos reforçados com fibras plásticas para construção civil**. 1997, Anais.. São Paulo: EPUSP, 1997. Acesso em: 01/03/2023.