Industrialização, Digitalização, Desempenho

5º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção e 5º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos

FLORIANÓPOLIS-SC | 20 a 22 de agosto

[1]CONTRIBUIÇÕES AO ESTUDO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DO CONCRETO UTILIZANDO PLÁSTICO PET COMO AGREGADO MIÚDO

Study of the behavior of concrete using plastic PET as fine aggregate

Bruna Santana Oliveira
Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza / Faculdade De Tecnologia Victor Civita | São Paulo, SP | bruna.oliveira91@fatec.sp.gov.br

Luciana Midori Barranco
Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza / Faculdade De Tecnologia Victor Civita | São Paulo, SP | Luciana.barranco@fatec.sp.gov.br

Vanessa Montoro Taborianski
Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza / Faculdade De Tecnologia Victor Civita | São Paulo, SP | vanessa.taborianski@fatec.sp.gov.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho é apresentar uma opção de reuso para o plástico utilizando-o na produção do concreto por meio da substituição de parte do agregado miúdo (areia) por agregado miúdo reciclado de PET. Utilizou-se um traço padrão em massa de 1:2:2,5:0,60. Realizaram-se ensaios de resistência à compressão axial em misturas de concreto com substituição de 5%, 10% e 15% da areia por PET, tendo-se por base uma mistura controle sem adição de PET. Os corpos-de-prova foram ensaiados aos 7, 14, 21, 28 e 170 dias para avaliação de suas resistências. Os resultados mostram que o plástico foi responsável por diminuir a resistência do concreto, resultando em um material mais poroso e menos trabalhável. Conclui-se que o uso de misturas de concreto e plástico é mais adequado para ocasiões em que o concreto não tenha função estrutural.

Palavras-chave: Concreto; PET; Areia; Sustentabilidade

ABSTRACT

The objective of this work is to present a reuse option for plastic using it in the production of concrete by replacing part of the fine aggregate (sand) with recycled PET fine aggregate. A standard mass trace of 1:2:2.5:0.60 was used. Axial compressive strength tests were carried out on concrete mixtures with replacement of 5%, 10% and 15% of the sand by PET, based on a control mixture without the addition of PET. The specimens were tested at 7, 14, 21, 28 and 170 days to evaluate their resistance. The results show that plastic was responsible for decreasing the strength of the concrete, resulting in a more porous and less workable material. It is concluded that the use of concrete and plastic mixtures is more suitable for occasions when concrete has no structural function.

Keywords: *Concrete; Sand; PET; Sustainable*

[1]OLIVEIRA, B.S.; BARRANCO, L.M.; TABORIANSKI, V.M. Contribuições ao estudo da resistência à compressão axial do concreto utilizando plástico pet como agregado miúdo. In: V WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS, 2025, Florianópolis. **Anais [...].** Porto Alegre: ANTAC, 2025.

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um material construtivo amplamente disseminado, podendo ser encontrado em casas, rodovias, ferrovias, pontes, edifícios e em muitos outros lugares e construções, estimando-se um consumo anual mundial de aproximadamente 11 bilhões de toneladas no mundo (SOUSA et al., 2009).

Ele é um material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários, que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (ABNT NBR 12655, 2015).

A fabricação de cimento é um processo realizado em três etapas: coleta e preparação da matéria-prima, produção do clínquer e, posteriormente, sua moagem com outros componentes para se produzir o cimento. Diferentes matérias-primas são misturadas e moídas até se transformarem em um pó homogêneo, a partir do qual o clínquer é produzido em fornos de alta temperatura onde ocorrem emissões diretas de CO_2 (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2018).

Além disso, normalmente de 30% a 40% das emissões diretas de CO_2 são geradas a partir da queima de combustíveis e o restante vêm das reações químicas envolvidas na conversão de calcário ao óxido de cálcio, um precursor para a formação de silicatos de cálcio, que conferem ao cimento a sua resistência. De maneira global, a indústria cimenteira é responsável por cerca de 5% do CO_2 gerado por atividades antrópicas e liberado anualmente na atmosfera (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2018).

O agregado miúdo mais comumente utilizado, tanto no concreto quanto em argamassas é a areia, podendo ser fina, média ou grossa. Quanto ao agregado graúdo, o mais comumente utilizado é a brita, que possui diferentes tamanhos, desde a brita 0 até a brita 5.

Por outro lado, o plástico é um material formado pela união de grandes cadeias moleculares chamadas polímeros, que, por sua vez, são formadas por moléculas menores, chamadas monômeros. Os plásticos são produzidos através de um processo químico chamado polimerização, que proporciona a união química de monômeros para formar polímeros (SIMPLAST, 2015). No Brasil, mais de 11 milhões de quilogramas de plástico são gerados e só 1,28% desse valor passa pelo processo de reciclagem (LARA, 2020).

Os problemas ocasionados pela produção e consumo de plástico são ainda maiores devido ao seu baixo potencial de se degradar no meio ambiente e ao descarte inadequado desses materiais (PEREIRA; FERREIRA, 2011), que na maioria das vezes são depositados em áreas impróprias e de pouca estrutura, contaminando solo e água.

Além disso, a produção do plástico também gera emissões de CO_2. Por meio de estudos de Análise de Ciclo de Vida, estimou-se que, em 2015, os plásticos estavam ligados à produção de 1,7 gigatoneladas de CO_2 equivalente ($GtCO_2eq$) e, em 2050, este número deverá aumentar para aproximadamente 6,5 $GtCO_2eq$, correspondente a 15% do orçamento global de carbono (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2021).

Os prejuízos ambientais ocasionados pelo grande volume de plástico liberado no ambiente anualmente é uma preocupação atual e futura, no que se refere a sustentabilidade do planeta em conviver com essa problemática durante as gerações, demonstrando a necessidade de medidas mitigadoras para reduzir tais impactos (ARIELLY; LUCAS, 2019).

Na área da construção civil, tecnologias e métodos construtivos menos poluentes estão surgindo cada vez com mais força e a preocupação com os impactos gerados por essa área aumenta consideravelmente. A utilização de resíduos é uma das formas de adotar a sustentabilidade tornando possível a redução dos impactos ambientais dos materiais. Há uma grande possibilidade de se reaproveitar o agregado artificial em substituições parciais ou totais do agregado natural e é nesse meio que estudos em relação a substituição parcial do agregado miúdo por areia de polietileno tereftalato (PET) surgem.

O PET é um polímero termoplástico encontrado em embalagens e garrafas para uso alimentício e ou hospitalar, cosméticos e outros produtos. É muito utilizado por ser transparente, inquebrável, impermeável e muito leve (EMBAPEL, 2020). Além disso, o PET possui propriedades como: resistência mecânica, resistência

térmica, resistência à tração, resistência à gorduras, resistência à abrasão e resistência química. Ainda apresenta leveza, transparência e brilho (MANO, 2004).

Dessa forma, Jardim (2016) estudou a substituição, em volume, de 10% e 15% do agregado miúdo (areia) por agregado miúdo reciclado de PET, mantendo fixa a relação água/cimento de 0,50 em todas as misturas. No ensaio de resistência à compressão axial, os corpos-de-prova foram rompidos aos 7 e aos 28 dias. Em seu estudo, os resultados obtidos com as duas substituições foram comparados a uma mistura de concreto convencional e, ao final, a autora relata que a mistura com substituição de 15% apresentou resistência à compressão axial maior que a mistura de concreto convencional.

Já o estudo realizado por Pagoto, Nunes, Teixeira (2021) contemplou uma substituição de 5% e 10% do agregado miúdo (areia) por agregado miúdo reciclado de PET e seus resultados também foram comparados a uma mistura de concreto convencional. No ensaio de resistência à compressão axial, os corpos-de-prova foram rompidos aos 28 dias. Entretanto, os autores obtiveram resultados diferentes e relataram que, conforme a porcentagem da substituição foi maior, a resistência à compressão axial da mistura de concreto foi diminuindo em relação a mistura de concreto convencional. A incorporação de resíduo de PET também alterou notavelmente a consistência das misturas, havendo a necessidade de aumento do fator água/cimento de 0,55 (controle) para 0,60 (5% e 10% de PET).

Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar uma opção de destinação para o plástico PET utilizando-o na produção do concreto por meio da substituição de parte do agregado miúdo (areia) por agregado miúdo reciclado de PET e analisando sua resistência à compressão axial aos 7, 14, 21, 28 e 170 dias com a mesma relação água/cimento em todas as misturas.

2 METODOLOGIA

Com base nos trabalhos de Jardim (2016) e de Pagoto, Nunes, Teixeira (2021), foram realizadas 4 misturas de concreto diferentes:

a) Controle: mistura de referência com concreto convencional;

b) Mistura com substituição de 5% da areia por plástico PET triturado;

c) Mistura com substituição de 10% da areia por plástico PET triturado, e

d) Mistura com substituição de 15% da areia por plástico PET triturado.

Foram realizados ensaios de resistência à compressão axial e granulometria para se avaliar as características das misturas propostas.

Com cada mistura foram confeccionados 5 corpos de provas, que foram rompidos com idades de 7, 14, 21, 28 e 170 dias contados da data da realização da moldagem. O ensaio aos 170 dias foi realizado para observar a durabilidade das misturas com plástico e para conferir se, com o passar do tempo, há significativa diminuição da resistência do concreto por causa dessa adição plástica.

2.1 Qualificação dos materiais utilizados

Antes da realização das misturas, realizaram-se cálculos para a quantificação dos materiais para a confecção do concreto.

Para a mistura do concreto utilizou-se um traço padrão em massa de 1:2:2,5:0,60, sendo uma parte de cimento Portland de alta resistência inicial (Cimento CPV ARI), duas partes de areia média, duas partes e meia de brita, cujos valores foram de 70% de brita 1 e 30% de brita 0 (pedrisco), e uma relação água/cimento de 0,60, baseada nos resultados apresentados por Pagoto, Nunes, Teixeira (2021).

Com o traço definido, realizaram-se cálculos para quantificar os materiais necessários, tendo por base os volumes dos moldes.

a) Volume das fôrmas para quantificação dos materiais

Para dar início a quantificação dos materiais, foi necessário calcular o volume dos moldes que seriam utilizados.

Considerando-se fôrmas cilíndricas com diâmetros de 10 cm e alturas de 20 cm e que seriam necessárias 5 fôrmas, uma para cada corpo-de-prova a ser rompido, no ensaio de resistência à compressão axial.

Assim, para preenchimento de todas as fôrmas seria necessário um total de 7,854 litros (L) de concreto para cada mistura.

b) Cálculo do consumo dos materiais

Para o cálculo do consumo de cada material utilizou-se o volume das peças calculado anteriormente, o traço e as massas específicas de cada componente, conforme a equação abaixo:

$$\mathrm{Cc\ (Kg)} = \frac{\text{Volume da peça (L)}}{\left(\frac{c}{\gamma c}\right)+\left(\frac{a}{\gamma a}\right)+\left(\frac{b}{\gamma b}\right)+\left(\frac{x}{\gamma x}\right)} \quad (1)$$

Sendo que:

Cc = consumo de cimento (em kg);

c = parte de cimento no traço;

γ_c = massa específica real do cimento (em kg/L);

a = parte de areia no traço;

γ_a = massa específica real da areia (em kg/L);

b = parte de brita no traço;

γ_b = massa específica real da brita (em kg/L);

x = parte de água no traço;

γ_x = massa específica real da água (em kg/L).

Para a massa real do CPV-ARI, considerou-se o valor de 3,12 g/cm³ ou 3,12 kg/L (Santos, 2009).

Para a areia e para a brita foram considerados os seguintes valores de massas específica real e unitária:

Figura 1: Valores habituais: massa específica real (ME) e massa unitária (MU)

Valores habituais:

Areia natural: ME ≈ 2,6 g/cm³ (ou kg/litro = t/m³)
MU ≈ 1,4 g/cm³

Brita comum: ME ≈ 2,7 g/cm³ (ou kg/litro = t/m³)
MU ≈ 1,5 g/cm³

Fonte: FREITAS JR (2013)

Por fim, considerou-se a densidade da água de1 g/cm³ ou 1 kg/L (Haynes; Lide; Bruno, 2014).

Entretanto, deve-se considerar a perda de material ao se realizar a mistura de concreto e moldagem das peças necessárias. Souza et al. (1999) apresentam os seguintes valores de perdas em relação ao concreto usinado: 1%, 5% e 13%. A partir da média desses valores se obtém o valor de 6,33%. Entretanto, como se trata de concreto feito no local e utilizando betoneira, sua perda é maior e por isso optou-se por considerar o dobro de

perda, arredondado para 12%. Então, acrescentando-se 12% de perda obtém-se, por meio da equação 1, um Cc de 3,363 kg.

Tendo como referência o consumo de cimento, em quilogramas, calculou-se o consumo dos outros componentes. O consumo de areia é igual a massa do cimento multiplicada pela parte de areia no traço, sendo que, nas misturas com plástico, esse valor total é reduzido em 5%, 10% e 15%, resultando em quantidades menores de areia comparadas com a mistura convencional. Já a quantidade de brita é igual a massa de cimento multiplicada pela parte de brita no traço. Considera-se ainda que 30% da brita equivale a pedrisco e 70% a brita 1. Por fim, a quantidade de água é igual a massa de cimento multiplicada pela parte de água no traço.

c) Correção dos materiais em razão do teor de umidade da areia

A resistência do concreto é caracterizada principalmente pela quantidade de água que nele é adicionada. A areia, mesmo que seca terá ainda umidade (Guerra, 2013) e, por isso, é importante saber o seu teor de umidade para a correção do traço em relação as quantidades de areia e água. Então, a areia foi submetida ao ensaio para determinação do teor de umidade pelo método da frigideira. Uma amostra de 20 g foi utilizada para obtenção da massa úmida. O teor de umidade foi calculado por meio da equação:

$$H = \frac{mh - ms}{ms} * 100 \quad (2)$$

Onde:

H = teor de umidade (%);

m_s = massa seca da areia;

m_h = massa úmida da areia.

Durante a pesagem do material após a secagem, a balança não identificou mudança em relação ao peso da massa úmida, então, o teor de umidade seria 0%. As possíveis causas para a incorreção do resultado do ensaio estão relacionadas com a baixa precisão da balança ou falta de calibração. Porém, por mais seca que esteja, a areia tem uma umidade natural próxima de 2% (Guerra, 2013) e a areia na obra apresenta-se normalmente úmida, com teor de umidade variando de 4 a 6% (UNIP, 2017). Assim, adotou-se um teor de umidade de 5%. A Tabela 1 apresenta os resultados para a quantidade de materiais corrigida para cada mistura e considerando uma perda de 12%.

Tabela 1: Quantidade corrigida de materiais para cada mistura e com perda de 12 %

Tipo de mistura	CPV ARI (kg)	Areia (kg)	Brita 1 (kg)	Pedrisco (kg)	Água (kg)	Plástico (kg)
Controle	3,363	7,062	5,886	2,522	1,917	--
Mistura com 5%	3,363	6,710	5,886	2,522	1,917	0,353
Mistura com 10%	3,363	6,356	5,886	2,522	1,917	0,707
Mistura 15%	3,363	6,003	5,886	2,522	1,917	1,059

Fonte: Os autores

2.2 Realização das misturas e moldagem dos corpos de prova

A separação dos materiais a serem utilizados no ensaio foi realizada no Laboratório de Materiais da FATEC Victor Civita. No caso da brita, foi necessário lavá-la e secá-la em razão do excesso de pó que poderia influenciar negativamente os resultados do ensaio.

A produção dos concretos e moldagem dos corpos de prova seguiu os procedimentos especificados na Norma ABNT NBR 5738 (2016).

Para a mistura de referência, na betoneira, primeiramente foram colocados metade da água total com as britas 0 e 1 e, em seguida, o cimento. Os materiais foram misturados durante 2 minutos, colocando-se em seguida toda a areia e o restante da água. Quando homogeneizada, a betoneira foi desligada e a mistura foi colocada em um recipiente plástico.

Em seguida, ocorreu a moldagem dos corpos de prova. Cada molde foi preenchido em duas camadas e cada camada recebeu 12 golpes com a haste metálica para realização de adensamento manual. Os golpes foram feitos de maneira uniforme e com cuidado para não ultrapassar a camada inferior. Para as misturas com plástico, o procedimento foi o mesmo, apenas trocando-se a areia e a água restante por plástico.

A partir de cada mistura foram moldados cinco corpos de provas, ou seja, um para cada idade a ser rompido no ensaio de resistência de compressão axial (7, 14, 21, 28 e 170 dias). Observa-se que a escolha de moldagem de apenas um corpo de prova para cada idade foi devido a restrições de materiais e financeiras, embora a norma ABNT 12655 (2015) especifique que, para cada idade, devem ser rompidos dois corpos de prova da mesma amassada, moldados no mesmo ato.

Após 24h da realização da mistura e moldagem dos corpos de prova, realizaram-se suas desmoldagens e submersão na água até a respectiva idade de ensaio, sendo que os corpos de prova com idade de 170 dias, foram tirados da cura junto com os de idade de 28 dias.

2.3 Ensaio de resistência axial do concreto

Os ensaios de resistência à compressão axial em todos os corpos-de-prova produzidos com as diferentes misturas foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção da FATEC Victor Civita.

O ensaio de compressão axial foi realizado em conformidade com a norma ABNT NBR 5739 (2018).

Os corpos-de-prova tiveram suas bases regularizadas com lixa e, com o paquímetro, foram medidos os valores de seus diâmetros.

Foram rompidos 5 corpos-de-prova para cada mistura, ou seja, aos 7, 14, 21, 28 e 170, contados da data da realização da moldagem.

A resistência à compressão axial de cada corpo-de-prova foi calculada multiplicando-se seu diâmetro por sua força de rompimento.

2.4 Ensaio de granulometria

No último dia de realização do ensaio de compressão também foi realizado o ensaio de granulometria do PET coletado. O ensaio de determinação granulométrica seguiu as especificações da ABNT NBR NM 248 (2003) e ABNT NBR 7211 (2022), com o objetivo de avaliar se o plástico utilizado estava de acordo com as especificações da areia média que foi utilizada na mistura de concreto.

Antes de se iniciar o ensaio, todas as peneiras do conjunto foram pesadas individualmente para apuração final das massas retidas. Com o conjunto de peneiras organizados em ordem decrescente de cima para baixo e posicionado no agitador, foi colocada uma amostra de 500 g de PET. O processo de agitação se manteve por 5 minutos e depois cada peneira foi pesada novamente com as quantidades de plástico retidas.

Segundo Mehta; Monteiro (2008) e Neville (1997), para os concretos convencionais, quanto maior a partícula do agregado, menor a área superficial por unidade de massa a ser molhada. Dessa forma, aumentando-se a dimensão máxima do agregado, diminui-se a demanda de água de modo que, para uma dada trabalhabilidade e teor de cimento, a relação água/aglomerante pode ser reduzida com um consequente aumento da resistência. Entretanto, mantendo-se os demais fatores constantes, quanto maior o tamanho do agregado, mais alta será a relação água/aglomerante localizado na zona de transição da interface e em decorrência disto, menos resistente e mais permeável será o concreto.

Assim, com esse ensaio, obtiveram-se também a dimensão máxima característica do agregado miúdo e seu módulo de finura. A dimensão máxima característica corresponde à abertura em milímetros da malha da peneira na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa, enquanto o módulo de finura é a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100 (ABNT NBR 7211, 2022).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Sobre o ensaio de resistência axial do concreto

A Tabela 2 apresenta os resultados das resistências à compressão dos corpos-de-prova nas diversas misturas realizadas.

Para melhor comparação dos resultados nas diferentes misturas, apresenta-se a Figura 2 que representa a evolução da resistência em relação a idade de ensaio em cada mistura.

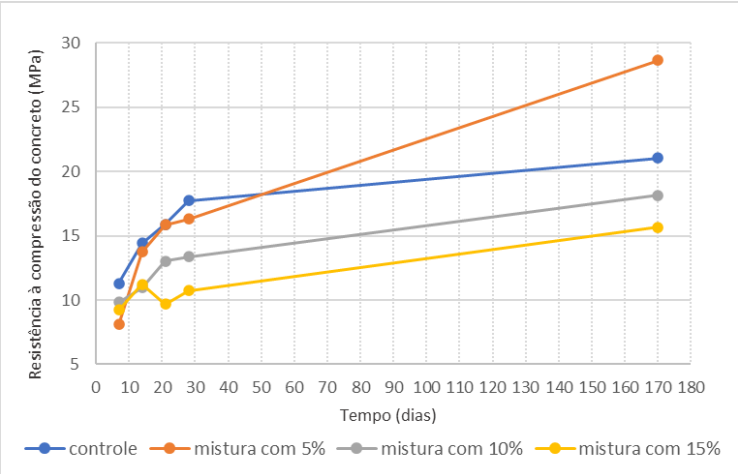
Como observa-se na Figura 2, com exceção do corpo-de-prova rompido aos 21 dias na mistura com 15% de plástico, a tendência foi a resistência à compressão aumentar conforme o tempo.

Tabela 2: Resultados das resistências à compressão dos corpos-de-prova

Misturas	Idade (dias)	Diâmetro (cm)	Área do CP (cm2)	Carga (ton)	Resistência à compressão (MPa)
Controle	7	9,95	77,76	8,80	11,32
	14	9,75	74,76	10,78	14,44
	21	9,99	78,38	12,45	15,89
	28	10,02	78,85	13,97	17,72
	170	9,96	77,91	16,40	21,05
Mistura com 5%	7	10,06	19,49	6,45	8,12
	14	9,60	72,38	9,98	13,73
	21	10,00	78,54	12,46	15,87
	28	9,98	78,23	12,76	16,31
	170	10,00	78,54	22,50	28,65
Mistura com 10%	7	10,14	80,75	7,93	9,83
	14	9,70	73,90	8,09	10,95
	21	10,02	78,85	10,27	13,03
	28	9,96	77,91	10,41	13,37
	170	10,00	78,54	14,25	18,15
Mistura com 15%	7	9,88	76,67	7,08	9,23
	14	9,80	75,43	8,47	11,23
	21	9,98	78,23	7,59	9,70
	28	10,00	78,54	8,44	10,75
	170	10,09	79,96	12,51	15,65

Fonte: Os autores

Figura 2: Evolução da resistência à compressão do concreto em relação a idade de ensaio em cada mistura



Fonte: Os autores

Ainda de acordo com esta figura, a tendência foi a resistência à compressão do concreto sem adição de plástico ser maior do que a dos concretos com adição de plástico, com exceção da mistura com 5% de plástico aos 170 dias. Portanto, quanto mais plástico foi adicionado, maior foi a diferença de resistência comparado à mistura de controle, salvo algumas discrepâncias de ensaio que serão apontadas.

Durante a moldagem dos corpos de prova observou-se que, conforme acrescentava-se plástico na mistura, esta tendia a ficar menos fluida e mais difícil de adensar, ou seja, sua trabalhabilidade era reduzida. Este resultado está condizente com o exposto por Askar et al. (2023) em que, à medida que a proporção de resíduos plásticos aumenta, a trabalhabilidade do concreto diminui, chegando a uma perda de 40% na trabalhabilidade com a substituição de 15% do agregado fino. Isso ocorre devido ao aumento da viscosidade da mistura, pois o plástico afeta sua viscosidade. Suas fibras formam uma estrutura de malha dentro da mistura, o que leva a uma grande redução no fluxo do concreto e, consequentemente, redução na trabalhabilidade do mesmo (MARTHONG, MARTHONG, 2015; DAWOOD, AL-KHAZRAJI, FALIH, 2021).

Além disso, quando foram rompidos os corpos-de-prova, as misturas com plástico ficaram mais porosas conforme sua porcentagem aumentava.

A mistura com 15% de plástico apresenta certa incoerência, já que as resistências calculadas aos 21 e 28 dias foram menores do que a resistência aos 14 dias, o que não deveria ter acontecido pois segundo a literatura, a resistência deveria aumentar conforme o aumento da idade do corpo-de-prova. O que pode ter ocorrido é que, como citado, as misturas com plástico foram ficando menos fluidas e mais porosas. Além disso, o fato de o material plástico utilizado não ser normatizado para essa finalidade e de não se saber ao certo a composição e tratamento realizado no material para lavagem e moagem, todos esses fatores pode ter influenciado na incoerência do resultado.

Ademais, soma-se a esses fatos o próprio desenvolvimento do ensaio que pode ter sido prejudicado em razão do cansaço humano, uma vez que todas as misturas foram feitas no mesmo dia e a mistura com 15% de plástico foi a última a ser realizada.

Os valores obtidos na idade de 170 dias serviram para verificar a durabilidade do concreto com plástico e se haveria diminuição da resistência. De acordo com os resultados, houve o aumento da resistência nos 170 dias, indicando que nesse período o plástico não comprometeu essa propriedade dos concretos nos quais ele foi adicionado.

Pode-se notar que aos 170 dias, a mistura com 5% de plástico obteve resistência de 28,65 MPa enquanto a mistura de referência obteve 21,05 MPa. Porém, isso não significa que o plástico fez o concreto ser mais resistente, mas sim que pode ter havido alguma interferência na moldagem dos corpos de prova e no ensaio de compressão, resultando nessa diferença.

Por fim, verifica-se que os resultados obtidos neste estudo são similares aos obtidos por Pagoto, Nunes, Teixeira (2021) em que, conforme a porcentagem da substituição da areia pelo plástico foi maior, a resistência à compressão axial da mistura de concreto foi diminuindo em relação a mistura de concreto convencional.

Esses resultados também estão de acordo com estudos realizados em outros países. Qaidi et al. (2023) avaliaram a substituição do agregado fino por PET nas proporções de 0%, 25% e 50% e concluíram que, de modo geral, e em todas as idades de teste (7, 14 e 28 dias), enquanto a taxa de substituição de partículas de PET aumenta, a tendência da resistência à compressão diminui. Umasabor; Daniel (2020) avaliaram quatro tipos de concreto com percentagens de 5 %, 10 % e 15 % em peso de PET substituindo o agregado fino convencional, mesmas misturas utilizadas neste estudo. Os resultados mostraram que o concreto contendo PET a 5% em peso apresentou maior resistência à compressão do que as outras misturas, nas idades de 7, 14 e 28 dias, chegando às mesmas conclusões que este resultado, conforme apresentado na Figura 2.

3.2 **Sobre o ensaio de granulometria**

Os resultados do ensaio de granulometria com as diferentes misturas, bem como a dimensão máxima característica e o módulo de finura são apresentados na Tabela 3.

Com os resultados da Tabela 3, obteve-se uma dimensão máxima característica de 2,4 mm. Do mesmo modo, calculou-se o valor do módulo de finura em 3,81.

Os valores da Tabela 3 foram comparados com os limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo dados pela ABNT NBR 7211 (2022) e apresentados na Tabela 4.

Tabela 3: Resultados do ensaio de granulometria com o plástico

Abertura da peneira (mm)	Massa peneira (g)	Massa peneira + areia (g)	Massa retida de areia (g)	% retida areia	% retida areia acumulada	% acumulada que passa
4,75	410	410	0	0	0	100,00
2,36	414	428	14	2,81	2,81	97,19
1,18	360	764	404	81,12	83,94	16,06
600 µm	334	398	64	12,85	96,79	3,21
300 µm	316	322	6	1,20	97,99	2,01
150 µm	286	292	6	1,20	99,20	0,80
Fundo	392	396	4	0,0	100,00	0,00
Soma	--	--	498	100,00	--	--

Fonte: Os autores

Tabela 4: Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

NOTA 1 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.
NOTA 2 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.
NOTA 3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

Fonte: ABNT NBR 7211 (2022)

Com relação aos resultados obtidos, observa-se que a granulometria do material utilizado não segue as especificações da ABNT NBR 7211 (2022) e nem estaria de acordo com a granulometria da areia média utilizada na mistura de concreto, pois os únicos valores que estão de acordo com a norma seriam os das peneiras de 4,75 mm, dentro da zona ótima, e das de 2,36 mm e 150 µm, dentro das zonas utilizáveis.

Verifica-se também que o módulo de finura do material utilizado também se encontra fora da zona utilizável superior, limitada a 3,50.

Dessa forma, conclui-se que o material retido nas outras peneiras, assim como o módulo de finura do material não estão em conformidade com a norma.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Utilizar o plástico na fabricação de materiais da construção civil ainda é algo recente e que precisa passar por muitos testes e desenvolvimento.

Na mistura de concreto, o plástico foi responsável por diminuir sua resistência e maleabilidade, resultando em um concreto mais poroso, menos trabalhável e com resistência gradativamente mais baixa do que o convencional conforme o aumento da porcentagem de material plástico presente na mistura. Esses resultados são similares aos obtidos no estudo de Pagoto, Nunes, Teixeira (2021).

Entretanto, com os resultados de resistência à compressão obtidos após 170 dias, observou-se que o plástico nesse período não acarretou a diminuição de resistência em relação as outras idades ensaiadas. Esse fato faz com que o cenário seja mais otimista para o uso desse material na mistura de concreto, porém o fator do tempo e resistência ainda deve ser observado em idades mais avançadas para se ter melhores comprovações.

É importante apontar que o fato de a granulometria do plástico não estar de acordo com as normas e não estar perto da granulometria da areia média pode ter influenciado negativamente os resultados. Recomenda-se, em futuros experimentos, se utilizar uma granulometria próxima à da areia e, com os ensaios necessários, verificar se, com a aproximação dos valores granulométricos, o concreto com plástico teria um desempenho melhor do que o verificado nesse trabalho.

Diante desses resultados, pode-se recomendar o uso de concreto misturado com plástico em ocasiões em que o concreto não tenha função estrutural, como por exemplo em peças para pavimentação, blocos para alvenaria de vedação, contrapisos, calçadas, guias, sarjeta e outras aplicações, porém realizando-se ensaios e estudo prévio da viabilidade do uso desse material para essas aplicações.

Por fim, observa-se que os resultados alcançados neste estudo foram obtidos com a moldagem e rompimento de apenas um corpo de prova para cada idade devido às limitações financeiras e de materiais. Em futuros, estudos, recomenda-se adotar os critérios estabelecidos nas normas vigentes para amostragem dos corpos de prova.

REFERÊNCIAS

ARIELLY, C.; LUCAS J. Plástico no meio ambiente: características gerais e impactos socioambientais. Conapesc, 2019. Disponível em: https://editorarealize.com.br/editora/anais/conapesc/2019/TRABALHO_EV126_MD1_SA7_ID126_28072019155257.pdf. Acesso em: 23 de set. de 2022.

ASKAR, M.K.; AL-KAMAKI, Y.S.S.; HASSAN, A. Utilizing Polyethylene Terephthalate PET in Concrete: A Review. Polymers, 2023, v.15, 3320. https://doi.org/10.3390/polym15153320.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211. Agregados para concreto – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655. Concreto de cimento Portland: Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248, Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739, Concreto — Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738, Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

DAWOOD, A.O.; AL-KHAZRAJI, H.; FALIH, R.S. Physical and mechanical properties of concrete containing PET wastes as a partial replacement for fine aggregates. Case Studies in Construction Material, v.14, 2021.

EMBAPEL. Você sabe o que significam os nomes de plásticos como pet ou pvc? 2020. Disponível em: https://embapel.com.br/voce-sabe-o-que-significam-os-nomes-de-plasticos-como-pet-ou-pvc/. Acesso em: 1 de out. de 2022.

FREITAS JR, José de Almendra. Agregados. UFPR, 2013. Apresentação de PowerPoint. 110 slides. Disponível em: https://pt.slideshare.net/ 99773490/agregados-38470642. Acesso em: 13 de mar. de 2023.

GUERRA, R. S. T. Umidade da areia, alteração de traço. Clube do concreto, 2013. Disponível em: https://shre.ink/clubeconcretoumidadeareia. Acesso em: 10 de maio de 2023.

HAYNES, W. M.; LIDE, David R.; BRUNO, T. J. Handbook of chemistry and physics. 95. ed. Boca Raton. CRC PRESS, 2014.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Technology Roadmap Low: Carbon Transition in the Cement Industry. IEA, 2018. Disponível em: https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-low-carbon-transition-in-the-cement-industry. Acesso em: 20 de set. de 2022.

JARDIM, R. R. Estudo da viabilidade da substituição parcial do agregado miúdo por agregado miúdo reciclado de pet em concretos convencionais. UNIPAMPA, 2016. Disponível em: https://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/riu/1896/1/estudo%20da%20viabilidade%20da%20substitui%c3%87%c3%83o%20parcial%20do%20agregado%20mi%c3%9ado%20por%20agregado%20mi%c3%9ado%20reciclado%20de%20pet%20em%20concretos%20convencionais.pdf. Acesso em: 1 de out. de 2022.

LARA, C. S. Objetivos de desenvolvimento sustentável: Resíduos sólidos: Plástico. TJAM, 2020. Disponível em: https://www.tjam.jus.br/index.php/documentos/eastjam-diversos/educacao-ambiental/11064-ods-dia-9-plasticos/file. Acesso em: 25 de set. de 2022.

MANO, B, E. Polímeros como Materiais de Engenharia. 2 ed. São Paulo: Edgard Blucher. 2004. p. 107-108

META, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. 3.ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MARTHONG, C.; MARTHONG, S. An experimental study on the effect of PET fibers on the behavior of exterior RC beam-column connection subjected to reversed cyclic loading. Structures, v.5, 175–185, 2015.

NEVILLE, A.M. Propriedades do concreto. 2° ed. São Paulo: Pini, 1997.

PAGOTO, L. M.; NUNES; E. M.; TEIXEIRA, S. H. C. Estudo Do Comportamento De Misturas De Concreto Com substituição Parcial Do Agregado Miúdo Por resíduo De Garrafas Pet. Revista Científica ANAP Brasil, 2021. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/anap_brasil/article/download/2911/2733. Acesso em: 1 de out. de 2022.

PEREIRA, J. C.; FERREIRA, M. Polímeros e meio ambiente: uma proposta para o ensino de química. Educação Ambiental em Ação, n. 36, 2011.

QAIDI, S.; AL-KAMAKI, Y.; HAKEEM, I.; DULAIMI, A.F.; ÖZKILIÇ, Y.; SABRI, M.; SERGEEV, V. (2023), Investigation of the physical-mechanical properties and durability of high-strength concrete with recycled PET as a partial replacement for fine aggregates. Frontiers in Materials, 2023.

SANTOS, A. Peso, massa ou densidade? Cimento Itambé, 2009. Disponível em: https://www.cimentoitambe.com.br/ massa-cinzenta/peso-massa-ou-densidade/. Acesso em: 22 de set. de 2022.

SIMPLAST. O plástico. 2015. Disponível em: http://simplast.com.br/o-plastico/. Acesso em: 23 de set.de 2022.

SOUSA, J. L. A. O. et al. Concreto: material construtivo mais consumido no mundo. Concreto & Construções, IBRACON, São Paulo, n. 53, jan./fev/mar. 2009. Disponível em: http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/ pdf/Revista_Concreto_53.pdf. Acesso em: 22 de set. de 2022.

SOUZA, U. E. L. et al. Anais do Simpósio Nacional Desperdício de Materiais nos Canteiros de Obras: a quebra do mito. São Paulo: EPUSP/PCC, 1999. Disponível em: https://www.sorocaba.unesp.br/Home/Graduacao/EngenhariaAmbiental/ SandroD.Mancini/Perdas_na_Construcao_Civil.pdf. Acesso em: 25 de maio de 2023.

UMASABOR, R.I; DANIEL, S.C. The effect of using polyethylene terephthalate as an additive on the flexural and compressive strength of concrete. Heliyon, v.6, n.8, August 2020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/ article/pii/S2405844020315437. Acesso em 03 de jun. de 2025.

UNIP. Agregados. 2017. Disponível em: https://adm.online.unip.br/img_ead_dp/ 66304.pdf. Acesso em: 10 de maio de 2023.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. From pollution to solution: a global assessment of marine litter and plastic pollution. UNEP, 2021. Disponível em: https://malaysia.un.org/en/171922-pollution-solution-global-assessment-marine-litter-and-plastic-pollution. Acesso em: 23 de set. de 2022.