

Incorporação de PET triturado com substituição parcial do agregado miúdo em concreto

Incorporation of crushed PET as partial replacement of fine aggregate in concrete

¹Autor 1, ²Autor 2, ³Autor 3, ⁴Autor 4

¹Titulação do autor 1 – Instituição (email@email.com.br)

²Mestrando em Engenharia de Exemplos no Programa de Engenharia de Exemplo– Universidade Federal de Mato Grosso (exemplo@exemplo.com)

³Professor Associado do Programa de Engenharia de Exemplos da EX – Universidade Federal de Mato Grosso (exemplo@exemplo.com)

⁴Tamanho 10, justificado à direita

RESUMO: A crescente geração de resíduos plásticos representa um desafio ambiental, estimulando pesquisas voltadas ao reaproveitamento dos materiais em diferentes setores de produção. Nesse contexto, o estudo teve como objetivo avaliar a influência da incorporação do polietileno tereftalato (PET) triturado como substituto parcial do agregado miúdo em concreto, no estado fresco e endurecido, analisando sua trabalhabilidade e resistência à compressão, bem como seu potencial como alternativa sustentável para a redução do consumo de recursos naturais e a destinação adequada de resíduos plásticos. Foram produzidos três traços experimentais contendo 0%, 5% e 10% de PET triturado em substituição à areia natural, mantendo-se constante o traço base de dosagem. Os corpos de prova cilíndricos foram moldados conforme as normas técnicas vigentes e submetidos aos ensaios de abatimento do tronco de cone, o “Slump Test” para a avaliação da trabalhabilidade e de resistência à compressão aos 7, 14 e 28 dias de cura. Os resultados indicaram que a incorporação de PET não provocou alterações na trabalhabilidade do concreto, mantendo valores de abatimento próximos ao traço de referência. Em relação à resistência à compressão, foi observado que o concreto com substituição de 5% de PET apresentou desempenho semelhante ao concreto convencional nas idades iniciais, enquanto o concreto com incorporação de 10% de PET resultou em uma redução mais acentuada da resistência mecânica. Conclui-se que pequenas porcentagens de PET reciclado podem ser utilizadas a aplicações não estruturais, contribuindo para o reaproveitamento de resíduos plásticos e para a redução do consumo de agregados naturais.

Palavras-chave: Materiais alternativos. Reaproveitamento de resíduos. Resíduos plásticos. Concreto sustentável.

ABSTRACT: The increasing generation of plastic waste has become a significant environmental concern, encouraging the development of alternative reuse strategies across different productive sectors. In this context, this study investigates the use of recycled polyethylene terephthalate (PET) as a partial replacement for fine aggregate in concrete, aiming to evaluate its effects on fresh and hardened properties, as well as its potential as a sustainable material. Three concrete mixtures were produced with 0%, 5%, and 10% PET replacing natural sand, maintaining a constant base mix design. Cylindrical specimens were prepared according to current technical standards and subjected to slump tests to assess workability, as well as compressive strength tests at 7, 14, and 28 days. The results indicated that the incorporation of PET did not significantly affect the workability of the mixtures, with slump values remaining close to the reference concrete. Regarding compressive strength, the mixture containing 5% PET showed performance comparable to conventional concrete at early ages, while the 10% replacement level led to a more pronounced reduction in strength. It can be concluded that low percentages of PET can be feasibly used in non-structural applications, contributing to plastic waste reuse and reducing the demand for natural aggregates, thus supporting more sustainable construction practices.

Keywords: Alternative materials. Waste reuse. Plastic waste. Sustainable concrete.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil tem sido um dos setores que mais consome recursos naturais no mundo, especialmente os agregados minerais para a produção do concreto, como areia e brita. Paralelamente, o aumento da geração de resíduos sólidos, em especial os resíduos plásticos,

tem se tornado um problema ambiental crescente, exigindo soluções que promovam a reutilização desses materiais em diferentes cadeias produtivas (SILVA et al., 2022). Diante disso, a incorporação de resíduos reciclados em materiais de construção tem sido amplamente investigada como alternativa para reduzir impactos ambientais e promover práticas mais sustentáveis.

O polietileno tereftalato (PET) constitui um dos principais resíduos plásticos gerados, amplamente utilizado na fabricação de embalagens devido às suas propriedades de resistência, leveza e durabilidade. No entanto, essas mesmas características dificultam sua degradação no meio ambiente quando descartado de maneira inadequada. Com isso, a utilização do PET reciclado tem sido investigada como material alternativo na produção de concretos e outros compostos cimentícios, como forma de mitigar impactos ambientais e agregar valor a esse resíduo (ABUBAKAR et al., 2024).

Pesquisas recentes investigam a substituição parcial de agregados naturais por resíduos plásticos, avaliando os efeitos dessa incorporação no desempenho do concreto no estado fresco e estado endurecido. De modo geral, observa-se que a incorporação de resíduos de PET como substituição parcial de agregados no concreto pode influenciar suas propriedades mecânicas, sendo comum a redução da resistência à compressão com o aumento do teor de PET na mistura, devido às diferenças de rigidez e à menor interação entre o material plástico e a pasta cimentícia (ASKAR et al., 2023; KANGAVAR et al., 2023; ABUBAKAR et al., 2024).

Por outro lado, pesquisas recentes indicam que, em teores controlados, geralmente entre 5% e 10%, o PET pode contribuir para melhorias em propriedades como ductilidade, absorção de energia e redução da massa específica do concreto, ampliando seu potencial de aplicação em elementos não estruturais e em soluções construtivas sustentáveis (ASKAR et al., 2023).

Dessa forma, a presença de partículas ou fibras de PET influencia diretamente características como trabalhabilidade, resistência mecânica, porosidade e comportamento reológico da mistura, tornando indispensável a realização de análises experimentais para avaliação de sua viabilidade técnica. Para essa finalidade, são adotados procedimentos experimentais consolidados na engenharia civil, incluindo a moldagem de corpos de prova, ensaios de abatimento do tronco de cone para avaliação da trabalhabilidade e ensaios de resistência à compressão em diferentes idades de cura, permitindo a comparação entre concretos convencionais e modificados (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Com base nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar a influência da incorporação de PET reciclado como substituto parcial do agregado miúdo nas propriedades do concreto, no estado fresco e endurecido, analisando sua trabalhabilidade e resistência à compressão, bem como seu potencial como alternativa sustentável para a redução do consumo de recursos naturais e a destinação adequada de resíduos plásticos.

2. MATERIAIS E MÉTODO

O estudo foi desenvolvido no Laboratório de engenharia do Centro Universitário Presidente Antônio Carlos de Barbacena, Minas Gerais, com o objetivo de avaliar a influência da incorporação de PET triturado como substituto parcial do agregado miúdo em concreto. Para isso, foram produzidos três traços experimentais, diferenciados pelo teor de substituição de areia natural por PET reciclado, sendo: 0%, 5% e 10%.

O traço de referência adotado foi 1: 2,3: 2,7: 0,62, correspondente à proporção de cimento, areia, brita e água, respectivamente, conforme referência proposta por Pelisser et al. (2011). A partir desse traço, foram definidas as dosagens utilizadas em cada mistura experimental, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Dosagem dos materiais utilizados nos traços experimentais

Traço	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (L)	PET triturado (kg)
0% PET	4,00	9,13	10,73	2,46	0,00
5% PET	4,00	8,67	10,73	2,46	0,46
10% PET	4,00	8,22	10,73	2,46	0,913

Os materiais empregados na produção do concreto foram: cimento Portland CP II F com resistência característica de 32MPa, como agregado miúdo foi utilizada areia média lavada, limpa e seca, preparada na condição SSD (*Saturated Surface Dry* – Saturada com Superfície Seca), como agregado graúdo utilizou-se a brita 01, com faixa granulométrica entre 9,5 mm e 19 mm, limpa e na condição SSD.

O PET empregado como substituto parcial do agregado miúdo foi fornecido pela empresa Total PET Reciclagem de Plásticos Ltda., localizada no estado de Santa Catarina. É importante ressaltar que a obtenção de PET triturado com a granulometria correta para utilização de misturas em concreto, mostrou-se limitada, uma vez que poucas empresas no Brasil realizam esse tipo de processamento do material. O material fornecido apresentou granulometria intermediária, com granulometria um pouco maior que a areia natural e menor que as do agregado graúdo. A Figura 1 apresenta o PET triturado usado na pesquisa.

Figura 1 – PET triturado



Após a pesagem dos materiais, realizou-se a mistura dos componentes em betoneira até a obtenção de massa homogênea. Em seguida, foi executado o ensaio de abatimento do tronco de cone (*Slump Test*), com a finalidade de avaliar a trabalhabilidade dos concretos produzidos. O ensaio foi realizado conforme a ABNT NBR NM 67:1998 – Determinação da consistência de concreto fresco – Ensaio do abatimento do tronco de cone, utilizando o cone de Abrams, molde tronco-cônico com altura de 30 cm, diâmetro inferior de 20 cm e diâmetro superior de 10 cm. O procedimento constitui no preenchimento do molde em três camadas sucessivas, sendo cada camada adensada com 25 golpes de haste metálica, conforme estabelecido por norma.

Os ensaios à compressão foram realizados aos 7, 14 e 28 dias de cura, conforme os procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR 5739:2018 – Concreto: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. O ensaio consiste na aplicação de carga axial crescente em prensa hidráulica sobre os corpos de prova até a ruptura, permitindo determinar a resistência à compressão do concreto. Os valores obtidos foram expressos em MPa e utilizados para avaliar a evolução da resistência mecânica das misturas com diferentes teores de substituição do agregado miúdo por PET.

Comentado [A1]: Falta espaço entre número e unidade de medida

Comentado [A2]: Qual é essa granulometria?

Comentado [A3]: A nova norma para esse ensaio é a NBR 16889

Comentado [A4]: Quantas repetições foram feitas?

Comentado [A5]: Quantas repetições?

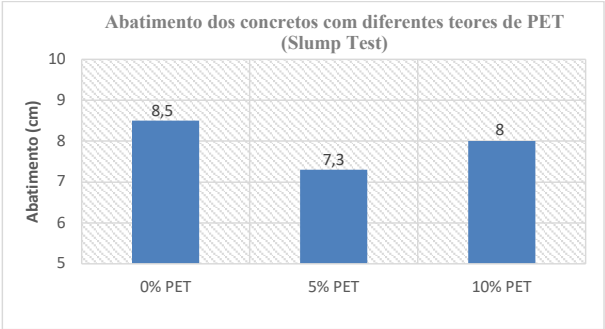
Para análise dos dados experimentais, adotou-se uma abordagem, baseada em estatística descritiva de caráter exploratório, por meio da utilização de representações gráficas. Os resultados foram organizados e apresentados em gráficos, permitindo a visualização das tendências de comportamento das misturas ao longo do tempo de cura e em função dos diferentes teores de substituição do agregado miúdo por PET.

3. RESULTADOS/ DISCUSSÕES

3.1 Trabalhabilidade (*Slump Test*)

Os resultados do ensaio de abatimento indicaram que a incorporação do PET reciclado não provocou alterações na trabalhabilidade do concreto. O traço de referência, com 0% de PET, apresentou abatimento de 8,50 cm, enquanto os traços com 5% e 10% de PET apresentaram valores de 7,30 cm e 8,0 cm, respectivamente, como mostra o Gráfico 1.

Gráfico 1 – Resultados do ensaio de abatimento do tronco de cone (*Slump Test*)



Essa variação pode estar associada à forma irregular e à baixa absorção de água do PET quando comparado aos agregados naturais. De acordo com Silva et al. (2022), o PET apresenta comportamento hidrofóbico, não absorvendo a água da mistura, o que resulta em maior quantidade de água livre no concreto. Além disso, a geometria e a textura das partículas podem causar alterações no atrito interno e consequentemente, no abatimento (SAIKIA; BRITO, 2014; SILVA et al., 2022).

Durante a realização do ensaio de abatimento do tronco de cone, é possível observar que os concretos com 0% e 5% de PET apresentaram um abatimento regular. Porém, o concreto com 10% de PET apresentou comportamento caracterizado por ruptura por cisalhamento da mistura após a retirada do molde. Esse comportamento está relacionado à menor coesão e maior rigidez da mistura, resultando em uma deformação irregular da amostra. De acordo com Saikia e Brito (2014), a incorporação de resíduos plásticos pode reduzir a coesão da mistura devido à baixa aderência entre o plástico e a pasta de cimento. O aumento do teor de plástico tende a comprometer a homogeneidade e a estabilidade do concreto fresco, favorecendo comportamentos irregulares, como a ruptura por cisalhamento no ensaio de abatimento (SILVA et al., 2022). A ocorrência desse comportamento pode ser observada na Figura 2, que mostra a ruptura da amostra durante a realização do ensaio.

Comentado [A6]: O procedimento é que ocorra repetição do ensaio nessa situação

Figura 2 – Abatimento por cisalhamento no concreto com 10% de PET



3.2 Resistência à compressão

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados aos 7 dias, 14 dias e 28 dias de cura submersa, com o objetivo de analisar a evolução da resistência mecânica dos concretos com diferentes teores de substituição por PET. As Figuras 3, 4 e 5 apresentam o aspecto dos corpos de prova com 0%, 5% e 10% de PET, respectivamente, após a ruptura no ensaio de compressão aos 7 dias de cura.

Figura 3 – Concreto com 0% de PET



Figura 4 – Concreto com 5% de PET



Figura 5 – Concreto com 10% de PET



As Figuras 6, 7 e 8 apresentam os corpos de prova com 0%, 5% e 10% de PET, respectivamente, após a ruptura no ensaio de compressão aos 14 dias de cura.

Figura 6 – Concreto com 0% de PET



Figura 7 – Concreto com 5% de PET



Figura 8 – Concreto com 10% de PET



As Figuras 9, 10 e 11 apresentam os corpos de prova com 0%, 5% e 10% de PET, respectivamente, após a ruptura no ensaio de compressão aos 28 dias de cura.

Comentado [A7]: Somente apresentar as figuras não agrega; o que isso significa? Qual a diferença e a razão para essas figuras estarem no trabalho?

Figura 9 – Concreto com 0% de PET



Figura 10 – Concreto com 5% de PET



Figura 11 – Concreto com 10% de PET



Os valores obtidos foram expressos em MPa e comparados entre os traços, estão apresentados na Tabela 2, permitindo avaliar o efeito da incorporação do resíduo plástico o desempenho mecânico do material.

Tabela 2 – Resistência à compressão dos concretos com diferentes teores de PET

Tempo de cura (dias)	Resistência (MPa) 0% de PET	Resistência (MPa) 5% de PET	Resistência (MPa) 10% de PET
7	6,57	7,60	3,14
14	9,12	8,59	3,74
28	11,90	9,90	5,09

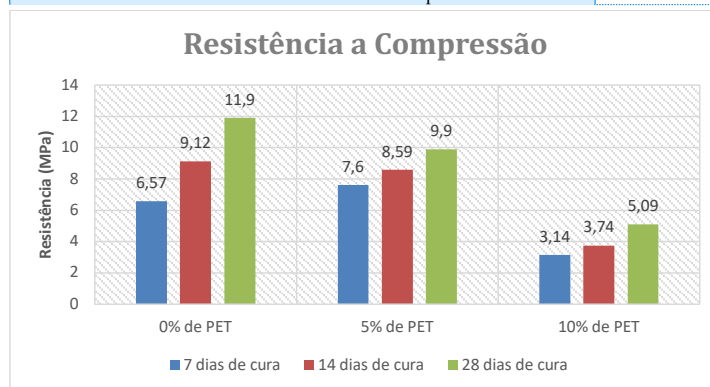
Comentado [A8]: Valores baixos para um concreto. O traço foi a melhor escolha para essa análise?

Os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão indicam que, aos 7 dias de cura, o concreto contendo 5% de substituição dos agregados miúdos por PET apresentou resistência ligeiramente superior à do concreto de referência. Esse comportamento sugere que pequenas quantidades de PET podem ser incorporadas à mistura sem comprometer o

desempenho mecânico inicial do material, enquanto teores maiores tendem a reduzir a resistência à compressão (LOPES; SILVA, 2020). A distribuição das partículas de PET na matriz cimentícia, em baixos teores, pode não interferir no processo inicial de hidratação do cimento, permitindo o desenvolvimento da resistência em níveis semelhantes ou até ligeiramente superiores ao concreto convencional.

De acordo com o Gráfico 2, com o avanço da idade de cura, observa-se uma redução progressiva da resistência à compressão à medida que aumenta a porcentagem de PET incorporada ao concreto. Aos 28 dias, o concreto de referência atingiu resistência de 11,90MPa, enquanto o traço com 5% de substituição apresentou 9,90MPa e o concreto de 10% de PET atingiu 5,09MPa. Comparativamente, o concreto com 5% de PET apresentou uma redução de aproximadamente 16,8% na resistência à compressão em relação ao concreto de referência. Já o concreto com 10% de substituição apresentou uma redução significativamente mais acentuada, da ordem de 57,2% em relação ao traço convencional. Quando comparado ao traço com 5% de PET, o concreto com 10% apresentou uma resistência cerca de 48,6% inferior, evidenciando a influência negativa do aumento do teor de substituição.

Gráfico 2 – Resultados do ensaio de resistência a compressão dos concretos



Comentado [A9]: Esse gráfico não traz nenhuma novidade em relação à tabela 2

Essa redução pode estar associada principalmente à menor aderência entre as partículas de PET e a pasta cimentícia, além da menor rigidez do material polimérico em comparação aos agregados minerais tradicionais. A incorporação de resíduos plásticos compromete a zona de transição interfacial devido à baixa aderência entre o plástico e a matriz cimentícia (SAIKIA; BRITO, 2014). Essas características comprometem a transferência de tensões no interior do concreto, favorecendo a formação de zonas de descontinuidade na matriz cimentícia e, consequentemente, resultando em menores valores de resistência à compressão, especialmente em teores mais elevados de substituição (FRIGIONE, 2010; SILVA et al., 2022).

Sob a perspectiva da sustentabilidade, apesar da redução observada na resistência à compressão para maiores teores de PET, os resultados indicam que pequenas porcentagens desse material podem ser utilizadas em aplicações não estruturais. O reaproveitamento de resíduos plásticos na construção civil, contribui para a redução de impactos ambientais, além de diminuir o consumo de agregados naturais, promovendo alternativas mais sustentáveis para o setor da construção civil.

Comentado [A10]: Existem inúmeras pesquisas que analisam esse tipo de substituição, porque não tem nenhum dado de outros trabalhos comparando com o resultado obtido?

4. CONCLUSÃO/ CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificou-se que a adição do resíduo plástico promove alterações significativas no comportamento das misturas, evidenciando a sensibilidade do concreto à substituição por materiais poliméricos. No que se refere à trabalhabilidade, os ensaios do Slump Test indicaram redução progressiva da consistência com o aumento do teor de PET, comportamento associado à natureza hidrofóbica do material e à sua geometria irregular, que prejudicam a coesão e o empacotamento das partículas na matriz cimentícia.

Em relação às propriedades mecânicas, observou-se uma tendência de redução da resistência à compressão com o incremento do teor de PET, especialmente na substituição de 10%, o que pode ser atribuído à baixa aderência interfacial entre o polímero e a pasta de cimento, bem como à menor rigidez do material plástico em comparação aos agregados minerais. Contudo, para o teor de 5%, os resultados indicam desempenho ainda compatível com aplicações específicas, sugerindo a viabilidade técnica do uso do PET em concretos não estruturais.

Dessa forma, conclui-se que a incorporação de PET reciclado apresenta potencial como alternativa sustentável na produção de concreto, contribuindo simultaneamente para a redução do consumo de recursos naturais e para a mitigação de impactos ambientais associados ao descarte de resíduos plásticos. Entretanto, sua aplicação deve ser limitada a teores controlados e condicionada às exigências de desempenho do elemento construtivo.

5. REFERÊNCIAS

- ABUBAKAR, Lukman; YEASMIN, Nusrat; BHATTACHARJEE, Arjak. Waste polyethylene terephthalate (PET) as a partial replacement of aggregates in sustainable concrete. **Construction Materials**, v. 4, n. 4, p. 738-747, 2024. <https://doi.org/10.3390/constrmater4040040>
- ASKAR, Mand Kamal; AL-KAMAKI, Yaman SS; HASSAN, Ali. Utilizing polyethylene terephthalate PET in concrete: a review. **Polymers**, v. 15, n. 15, p. 3320, 2023. <https://doi.org/10.3390/polym15153320>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018. 14p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Determinação da consistência de concreto fresco – Ensaio do abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998. 4p.
- FRIGIONE, M. Recycling of PET bottles as fine aggregate in concrete. **Waste Management**, v. 30, n. 6, p. 1101–1106, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.01.030>
- KANGAVAR, M. E. et al. Development of sustainable concrete using recycled polyethylene terephthalate (PET) granules as fine aggregate. **Developments in the Built Environment**, v. 15, p. 100192, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100192>
- LOPES, A.; SILVA, C. Mechanical and durability properties of concrete with recycled PET aggregates. **Journal of Building Engineering**, v. 31, p. 101340, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101340>
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2014.

Comentado [A11]: Itálico

Comentado [A12]: Apresentar exemplos de aplicações

Comentado [A13]: Será? Se não houve repetição de amostras como vocês conseguem afirmar isso?

- 273 PELISSER, F.; ZAVANELLA, L.; GOMES, L. P. Concrete made with recycled tire rubber:
274 Effect of particle size and rubber content on strength. *Journal of Cleaner Production*, v. 19, n.
275 6–7, p. 757–763, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.11.014>
- 276 SAIKIA, N.; DE BRITO, J. Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete
277 preparation: A review. *Construction and Building Materials*, v. 34, p. 385–401, 2014.
278 <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.066>
- 279 SILVA, R. V.; DE BRITO, J.; DHIR, R. K. Use of recycled plastic in concrete: A review.
280 *Sustainability*, v. 14, n. 9, 5628, 2022. <https://doi.org/10.3390/su14095628>
281



O conteúdo deste trabalho pode ser usado sob os termos da licença Creative Commons Attribution 4.0. Qualquer outra distribuição deste trabalho deve manter a atribuição ao(s) autor(es) e o título do trabalho, citação da revista e DOI.