

Concreto produzido com **agregado reciclado polimérico** em substituição ao **agregado natural**

FERNANDA M. C. DE MELO – ENG./PROF.^a, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0122-8336> – fernanda.melo@ifs.edu.br;
HERBET A. DE OLIVEIRA – DR./PROF., ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4159-6325>; VANESSA G. DE OLIVEIRA
ALMEIDA – ENG./PROF.^a, ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9740-1940>; KAROLINE S. GAMA – GRAD.;
HANDELLON K. DE JESUS SANTOS – GRAD.; MARCELA REIS CARVALHO – GRAD., DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL, IFS

R E S U M O

Os resíduos poliméricos exercem um efeito nocivo sobre o meio ambiente devido à sua baixa biodegradabilidade. Assim, esta pesquisa teve como objetivo a produção de concreto com agregado reciclado, oriundo de resíduo de cola polimérica. Foram dosadas seis formulações, com substituição do agregado gráudo natural por agregado reciclado, em 0%, 10%, 20%, 40%, 60% e 100%. Os materiais componentes das misturas foram caracterizados. Os concretos foram produzidos e ensaiados quan-

to à sua consistência, massa específica aparente, teor de ar e resistência à compressão. Os resultados mostraram que ao substituir o agregado natural pelo reciclado ocorreu aumento (2% - 26%) da consistência; diminuição (3% - 29%) da massa específica aparente; acréscimo do teor de ar, a partir de 20% de substituição, e uma redução (43% - 90%) na resistência à compressão. Concluiu-se que é possível utilizar o resíduo de cola polimérica como agregado reciclado para concreto, inclusive, leve, sem fins estruturais.

PALAVRAS-CHAVE: AGREGADO RECICLADO, COLA POLIMÉRICA, CONCRETO.

1. INTRODUÇÃO

O ambiente natural enfrenta sérias ameaças da industrialização global. O descarte intencional e de forma inadequada de resíduos poliméricos têm causado sérios danos ao meio ambiente. De acordo com o Conselho de Controle da Poluição Central, o mundo produz cerca de 150 milhões de toneladas de plástico por ano, representando quase 4,8 toneladas por segundo e uma produção *per capita* de 25 kg/ano. Estima-se que a produção mundial de resíduos plásticos dobre a cada 10 anos [1].

Vale ressaltar que o excesso de resíduos plásticos exerce um efeito nocivo sobre o meio ambiente devido à sua baixa biodegradabilidade [2]. Atualmente, para a remoção dos resíduos poliméricos do meio ambiente existem três métodos utilizados: o aterro, incineração ou a reciclagem. Nesse sentido, a reciclagem de materiais plásticos tornou-se uma solução potencial para o gerenciamento de tais resíduos [3].

Sendo assim, existem várias linhas de pesquisa que procuram meios alternativos para o descarte correto dos polímeros. Estudos constataram que a adição de agregados poliméricos em materiais cimentícios parece fornecer materiais de boa absorção de energia, sendo especialmente interessantes para várias aplicações de engenharia civil, como estruturas sujeitas a esforços dinâmicos ou de impacto [4]. Além de melhorar a ductilidade do concreto, uma das características mais promissoras do agregado é a baixa condutividade térmica, acústica e elétrica, portanto esses agregados são excelentes opções para a produção de concreto isolante térmico e acústico [5].

Apesar de muitos trabalhos na literatura abordarem a produção de concreto com a incorporação do agregado reciclado polimérico, nota-se escassez de pesquisas sobre o uso de resíduo de cola polimérica a base de poliuretano em concretos. Assim, este estudo buscou avaliar o desem-

penho técnico de concretos produzidos com substituição parcial e total de agregados naturais (brita granítica) por agregado reciclado polimérico, de modo a contribuir para destinação adequada do resíduo de cola polimérica, gerado por uma fábrica de portas e componentes de madeira, na cidade de Estância – SE.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Os pontos a seguir expõem de forma mais detalhada a caracterização dos materiais e a metodologia de desenvolvimento da pesquisa. Os ensaios foram realizados no laboratório de Materiais de Construção Civil do Instituto Federal de Sergipe.

2.1 Materiais

O cimento utilizado na preparação dos corpos de prova foi o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V ARI). Os ensaios de caracterização estão apresentados na Tabela 1 e atenderam aos requisitos

normativos especificados pela NBR 16697 (ABNT, 2018).

O agregado miúdo utilizado na produção do concreto de referência foi uma areia natural e o agregado graúdo natural foi a brita granítica. O agregado graúdo reciclado foi oriundo de resíduo de cola polimérica, base de poliuretano, utilizada em uma fábrica de portas e componentes de madeira. Esta é adquirida em tonéis, na forma líquida, e como o equipamento não consegue extrair todo o conteúdo do recipiente, geram-se sobras, que endurecem e ficam em grandes pedaços (Figura 1). Após a coleta do resíduo, este foi fragmentado em um equipamento triturador de resíduos. Por seguinte, foi realizada a correção da distribuição granulométrica do agregado reciclado, em atendimento aos limites indicados na Tabela 6 da NBR 7211 (ABNT, 2019). Após essa etapa, o agregado passou pelos ensaios de caracterização (Figura 2).

Na Tabela 2, é apresentada a caracterização realizada nos agregados. Destaca-se que a absorção do agregado reciclado foi de 0%, logo este não absorve água da mistura. A densidade encontrada foi de 1075 kg/m³, portanto, de acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2015) é classificado como agregado leve (≤ 2000 kg/m³). Em relação à massa



Figura 1
Resíduo de cola polimérica antes de ser triturado
Fonte: Os autores (2022)

Tabela 1
Caracterização do Cimento Portland

Características	Resultados	Requisitos normativos	Normas adotadas
Índice de finura (%)	1,9	$\leq 6,0$	NBR 11579:2013
Consistência normal (% de água)	30,4	—	NBR 16606:2018
Início de pega (min.)	170	≥ 60	NBR 16607:2018
Massa específica (g/cm ³)	3,15	—	NBR 16605:2017
Expansibilidade <i>Le Chatelier</i> a quente (mm)	3,9	$\leq 5,0$	NBR 11582:2016
Resistência à compressão (MPa)			
1º dia	20,7	$\geq 14,0$	NBR 7215:2019
3º dia	30,5	$\geq 24,0$	
7º dia	35,7	$\geq 34,0$	

Fonte: Os autores (2022)

unitária, em comparação com o agregado convencional, este apresentou uma redução em torno de 70%.

O índice de forma do agregado reciclado, obtido no ensaio, foi de 2,50, e assim como o agregado convencional, esse valor está de acordo com o estabelecido na NBR 7809 (ABNT, 2019), cujo valor limite é superior ou igual a 3. O percentual de perda de massa por abrasão do agregado reciclado foi de 0%, o que já era esperado considerando a natureza do material (polimérico). A NBR 7211 (ABNT, 2019) estabelece que

a perda de massa por abrasão deve ser menor que 50%. Além disso, registra-se um aumento de até 56% no índice de vazios do agregado reciclado polimérico, em relação ao convencional.

As curvas granulométricas dos agregados são apresentadas na Figura 3. Nota-se curvas com distribuição contínua, com uma variação de tamanho dos grãos. De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2019), o módulo de finura do agregado miúdo se encontra na zona utilizável inferior, que varia de 1,55 a 2,20, portanto, considerada



Figura 2
Ensaios de caracterização realizados no agregado reciclado, (a) densidade e absorção, (b) granulometria, (c) massa unitária e índice de vazios, (d) desgaste por abrasão e (e) índice de forma.
Fonte: Os autores (2022)

Tabela 2

Caracterização dos agregados

Características	Agregado miúdo	Agregado graúdo natural	Agregado graúdo reciclado	Normas adotadas (ABNT)
Diâmetro máximo (mm)	4,75	19	19	NBR NM 248:2003
Módulo de finura	1,97	6,9	6,9	
Densidade (g/cm ³)	2,67	2,61	1,08	NBR 16916:2021
Absorção de água (%)	0,5	3,86	0	
Índice de forma	—	2,87	2,50	NBR 7809:2019
Perda de massa por abrasão (%)	—	28,4	0	NBR 16974:2021
Massa unitária no estado solto (g/cm ³)	1,494	1,297	0,423	NBR 16972:2021
Massa unitária no estado compactado (g/cm ³)	1,547	1,369	0,490	
Índice de vazios no estado solto (%)	44	39	61	
Índice de vazios no estado compactado (%)	42	37	54	

Fonte: Os autores (2022)

uma areia fina. Conforme a Tabela 6 da NBR 7211 (ABNT, 2019), o agregado graúdo pode ser classificado na faixa (9,5/25). Ressalta-se que o agregado reciclado utilizado para produção dos concretos possuía a mesma composição granulométrica que o agregado natural convencional.

A água utilizada para produção do concreto foi obtida a partir da distribuição de água potável pelo sistema de abastecimento público. Optou-se pela

adição de 0,5% de aditivo superplastificante, a fim manter inalterada a relação água/cimento.

2.2 Dosagem e preparação dos corpos de prova

O traço de dosagem do concreto foi especificado para uma resistência à compressão de 30 MPa, aos 28 dias. Foram dosadas seis formulações (Tabela 3), para o estudo das proprieda-

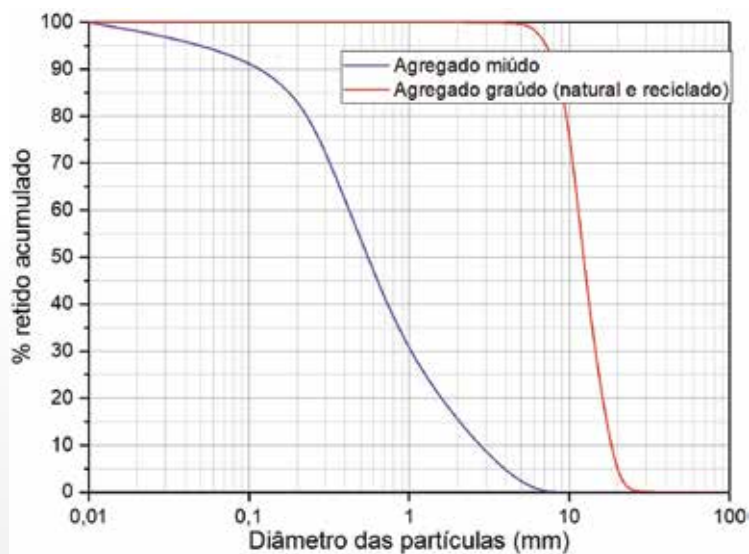


Figura 3

Curvas granulométricas dos agregados

Fonte: Os autores (2022)

des do concreto com o resíduo de cola polimérica.

Inicialmente, foi produzido um concreto de referência, com traço em massa de 1:1,76:2,82:0,46 (cimento:agregado miúdo:agregado graúdo:água), ou seja, sem a incorporação do resíduo ($F_{100,0}$), e posteriormente, outras cinco formulações, com a substituição em volume do agregado convencional pelo reciclado em 10%, 20%, 40%, 60% e 100%.

2.3 Ensaios para caracterização dos concretos no estado fresco

No estado fresco, os concretos foram ensaiados para determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (*slump test*), de acordo com a NBR 16889 (ABNT, 2020). Após a realização do *slump test*, foi realizado o ensaio de massa específica aparente e do teor de ar pelo método gravimétrico, conforme a NBR 9833 (ABNT, 2009).

2.4 Ensaios para caracterização dos concretos no estado endurecido

No estado endurecido, foi determinada a resistência à compressão dos concretos produzidos. Assim, foram moldados seis corpos de prova cilíndricos, com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm, segundo a NBR 5739 (ABNT, 2018). Os corpos de prova foram rotulados, desmoldados com 24 horas e colocados no processo de cura por imersão em água, onde permaneceram até a idade de 28 dias, de acordo com as orientações da NBR 5738 (ABNT, 2016). As rupturas dos corpos de prova foram realizadas, conforme a Figura 4, em prensa hidráulica Pavi-test HD-200T.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico, serão apresentados os resultados dos ensaios de caracterização dos concretos produzidos, tanto no estado fresco quanto no endurecido.

3.1 Ensaios de caracterização dos concretos no estado fresco

Na Figura 5, são apresentados os

► Tabela 3

Composição para dosagem em massa do lote de concreto

Formulações	Cimento (g)	Agregado miúdo (g)	Agregado graúdo natural (g)	Agregado graúdo reciclado (g)	Água (g)	Aditivo (g)
F _{100,0}	4990	8782	14071	—	2295	25
F _{90,10}	4990	8782	12664	504	2295	25
F _{80,20}	4990	8782	11257	1007	2295	25
F _{60,40}	4990	8782	8442	2015	2295	25
F _{40,60}	4990	8782	5628	3022	2295	25
F _{0,100}	4990	8782	—	5036	2295	25

Fonte: Os autores (2022) — Legenda: F100,0 – F: Formulação; 100: percentual utilizado de agregado convencional (brita); 0: percentual utilizado de agregado reciclado

resultados do índice de consistência dos concretos, obtidos pela medida do abatimento do tronco de cone. Todas as formulações com substituição do agregado convencional pelo agregado reciclado apresentaram aumento da consistência, ou seja, redução no valor do índice. Esse aumento foi mais significativo na formulação com 10% de incorporação do agregado reciclado, quando comparada à composição de referência. A partir da formulação com 20% do resíduo, foi observado um aumento da consistência do concreto, que variou entre 2 a 26%, em comparação com a amostra de referência. Esse mesmo comportamento foi observado por outros pesquisadores [5] quando registraram que, em geral, a presença de agregado plástico

diminui a trabalhabilidade do concreto, pois esta depende principalmente do atrito entre as partículas de forma irregular do agregado polimérico.

Os resultados da massa específica aparente estão representados na Figura 6. Logo, verificou-se uma diminuição entre 3% a 29% da massa específica aparente do concreto, com o aumento da substituição do agregado convencional pelo agregado reciclado polimérico. Ferreira, Brito e Saikia [1] e Olofinnade, Chandra e Chakraborty [6] justificam essa diminuição da propriedade de massa específica aparente, devido aos vazios gerados pelos agregados de polímeros e por sua origem sintética ser mais leve que os agregados convencionais. Assim como verificado nos ensaios de caracte-

terização desta pesquisa, expostos na Tabela 2.

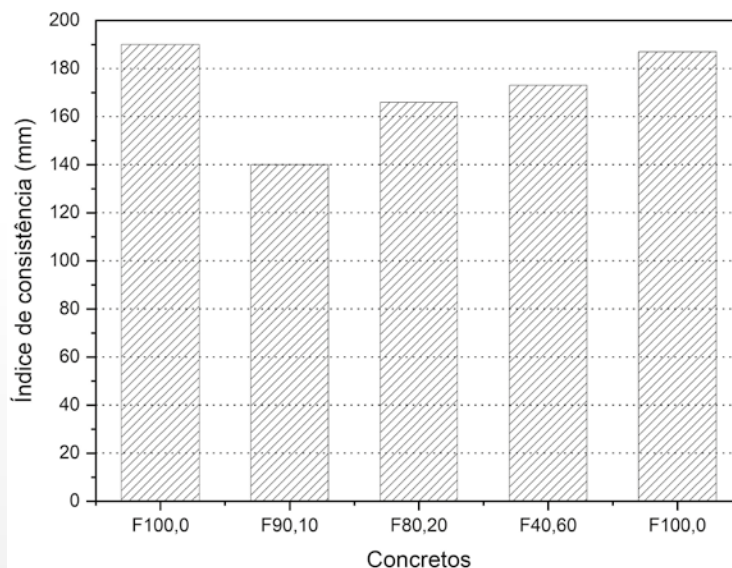
Na Figura 7, estão representados os resultados do teor de ar, obtidos nos ensaios realizados para cada formulação. Nota-se uma diminuição percentual do teor de ar para a primeira formulação com 10% do agregado reciclado polimérico e um aumento crescente do teor de ar a partir de 20% de substituição. Colangelo *et al.* [7] também mostraram em seus estudos que a quantidade de ar aprisionada aumenta com o aumento do teor de agregados poliméricos, e isso resulta em muito poros grandes e um maior percentual do teor de ar para o concreto. O resultado está consoante com o índice de vazios mensurado na caracterização do agregado, exposto na Tabela 2.



► Figura 4

Ensaio de resistência à compressão

Fonte: Os autores (2022)



► Figura 5

Resultados do índice de consistência dos concretos

Fonte: Os autores (2022)

3.2 Ensaios de caracterização dos concretos no estado endurecido

No estado endurecido, foi medida a resistência à compressão dos concretos. Na Figura 8, constam as médias

dos resultados dos ensaios para cada formulação. Assim, constata-se que todas as amostras contendo percentual a partir de 10% de agregado reciclado registraram uma redução em seus valores de resistência com o aumento

do teor de resíduo, sendo essa redução de 43% a 90% em relação à amostra de referência.

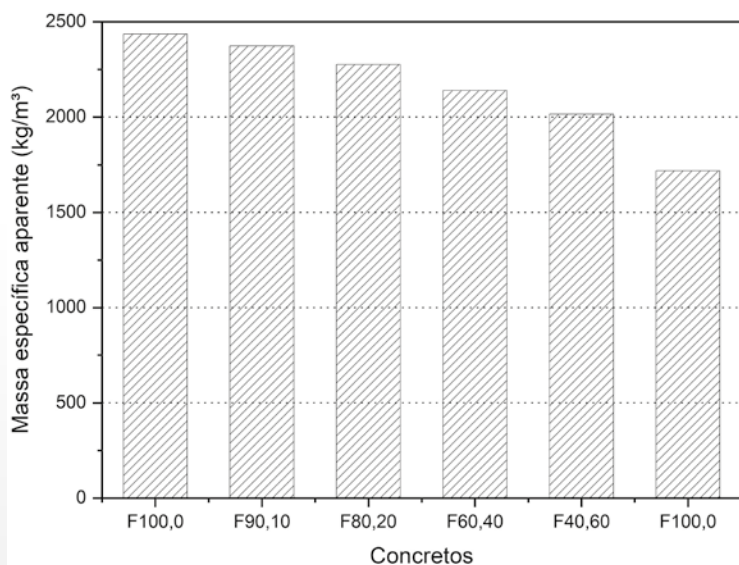
Vários fatores influenciam na diminuição da resistência à compressão: diferença na natureza, no diâmetro, na forma, no estado superficial e no módulo de elasticidade dos grãos [8]. Li, Ling e Mo [5] explicam que as propriedades hidrofóbicas e não hidratantes intrínsecas, bem como o tamanho, a forma e o conteúdo do agregado polimérico desempenham uma importante influência na resistência à compressão. Uma perda crescente nessa resistência é observada com o aumento do teor de agregado. Pois, na maioria dos estudos, o agregado polimérico causou maior porosidade e absorção de água no concreto, o que conseqüentemente resultou em menor resistência.

Acrescenta-se que essa diminuição pode ser justificada pela pouca interação do material reciclado com a matriz de cimento, devido ao polímero possuir uma superfície lisa, impermeável, menos resistente, causando uma dificuldade no transporte de água na pasta de cimento [7]. Além disso, a resistência mecânica dos polímeros é bem menor do que agregado de rocha granítica.

Olofinnade, Chandra, Chakraborty [6], que estudaram as micrografias, acreditaram claramente que a reduzida resistência de aderência nas *interfaces* entre os grânulos de polímero e a matriz de cimento pode ter resultado na baixa transferência de esforços e, conseqüentemente, baixos valores de resistência à compressão registrados especialmente em misturas de concreto contendo uma grande quantidade de grânulos de polímero reciclado.

4. CONCLUSÕES

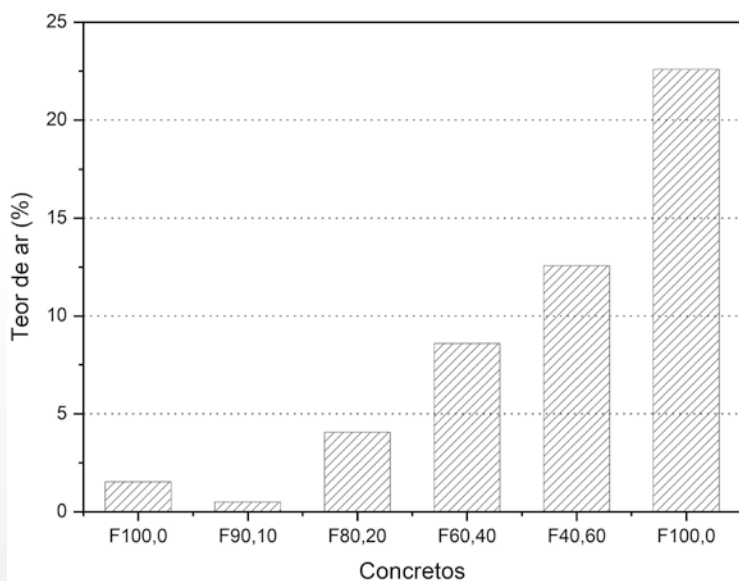
O objetivo principal deste estudo foi avaliar a influência da utilização de resíduo de cola polimérica como agregado reciclado, em substituição parcial e total do agregado graúdo natural na produção de concretos. Esta pesquisa possibilitou encontrar uma solução de destinação para esse tipo de resíduo, o que contribui para o desenvolvimento técnico e sustentá-



► Figura 6

Resultados da massa específica aparente dos concretos

Fonte: Os autores (2022)



► Figura 7

Resultados do teor de ar dos concretos

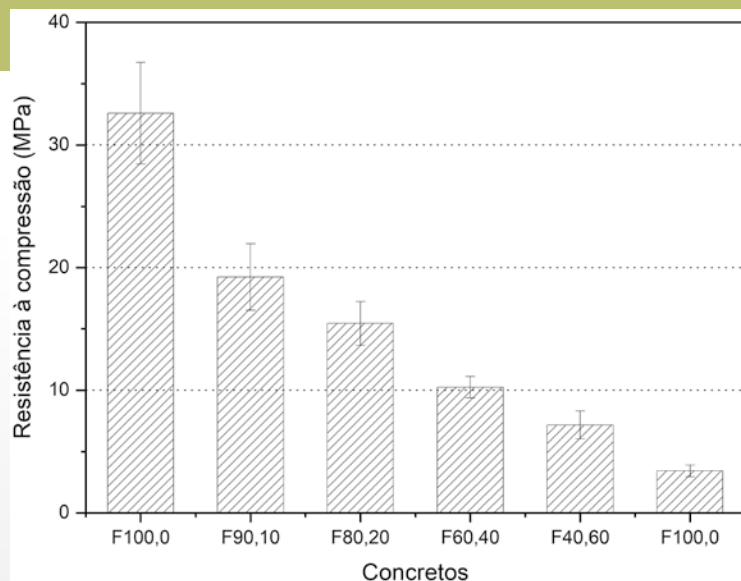
Fonte: Os autores (2022)

vel de materiais para construção civil.

A princípio, para as amostras de concreto com substituição parcial do agregado graúdo pelo resíduo de cola polimérica, foi possível concluir que à medida que é incorporado o resíduo, ocorre uma diminuição da consistência do concreto. Logo, identifica-se a necessidade de um estudo de dosagem, considerando que nesta pesquisa optou-se pelo valor constante da relação a/c e do percentual de aditivo na mistura, independente da formulação.

Com base nos resultados encontrados na pesquisa, pode-se concluir que a presença dos resíduos na mistura do concreto alterou significativamente a massa específica aparente dos concretos, o que indica que o aumento dos percentuais de substituição do agregado convencional pelo reciclado influencia diretamente nesta propriedade e demonstra que o agregado reciclado poderia ser utilizado para produção de concretos leves, sem fins estruturais, a exemplo de alguns tipos de pré-moldados, onde se adota uma baixa resistência mecânica. No entanto, uma redução da massa específica traria ganhos significativos com a redução dos custos de transportes e manuseio das peças pelos operários.

Também foi observado uma variação significativa nos resultados de resistência à compressão, sendo apresentado por todas as formulações um



► **Figura 8**

Resultados da resistência à compressão dos concretos

Fonte: Os autores (2022)

valor inferior à amostra de referência. Isto se deve ao fato de o agregado polimérico ser um material hidrofóbico e, portanto, ter pouca interação com a matriz cimentícia. Como também, o fator do aumento de porosidade com o aumento do teor de vazios, que está ligado diretamente com a diminuição das propriedades mecânicas do concreto. Logo, hpa a necessidade de um estudo de dosagem, a exemplo da inclusão de adições como sílica ativa, correções na a/c e no teor de cimento, de modo a melhorar a resistência dos concretos.

Portanto, torna-se exequível o estudo do resíduo de cola polimérica como agregado reciclado para concretos. Ademais, a utilização deste tipo de resíduo em substituição parcial ou total ao agregado graúdo natural, na produção de concreto, proporciona alguns benefícios socioeconômicos no que diz respeito a uma finalidade mais sustentável dos resíduos industriais, o que causaria a diminuição das despesas com esses descartes, a redução da extração de grandes quantidades de matérias-primas e a diminuição da poluição desses materiais no meio ambiente. ☑

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FERREIRA, L.; BRITO, J. SAIKIA, N. Influence of curing conditions on the mechanical performance of concrete containing recycled plastic aggregate. *Construction and Building Materials*, [S.l.], v. 36, n. 1, p. 196-204, novembro de 2012.
- [2] GE, Z. *et al.* Physical and mechanical properties of mortar using waste Polyethylene Terephthalate bottles. *Construction and Building Materials*, [S.l.], v. 44, n. 1, p. 81-86, julho de 2013.
- [3] NEMATZADEH, M.; SHAHMANSOURI, A. A.; FAKOOR, M. Post-fire compressive strength of recycled PET aggregate concrete reinforced with steel fibers: Optimization and prediction via RSM and GEP. *Construction and Building Materials*, [S.l.], v. 252, n. 1, p. 119057, 20 de agosto de 2020.
- [4] GÓMEZ, M. *et al.* Stabilization of hazardous compounds from WEEE plastic: Development of a novel core-shell recycled plastic aggregate for use in building materials. *Construction and Building Materials*, [S.l.], v. 230, p. 116977, 20 de janeiro de 2020.
- [5] LI, X.; LING, T.C.; Kim MO, K.H. Functions and impacts of plastic/rubber wastes as eco-friendly aggregate in concrete – A review. *Construction and Building Materials*, [S.l.], v. 240, p. 117869, 20 de abril de 2020.
- [6] OLOFINNADE, O.; CHANDRA, S.; CHAKRABORTY, P. Recycling of high impact polystyrene and low-density polyethylene plastic wastes in lightweight based concrete for sustainable construction. *Journal of Building Engineering*, [S.l.], v. 38, n. 5, p. 2151-2156, 2021.
- [7] COLANGELO *et al.* Recycled polyolefins waste as aggregates for lightweight concrete. *Composites Part B: Engineering*, [S.l.], v. 106, p. 234-241, 1 de dezembro de 2016.
- [8] BOUCEDRA, A.; BEDERINA, M.; GHERNOUTI, Y. Study of the acoustical and thermo-mechanical properties of dune and river sand concretes containing recycled plastic aggregates. *Construction and Building Materials*, [S.l.], v. 256, p. 119447, 30 de setembro de 2020.