

COMPÓSITO CIMENTÍCIO COM GRÃOS DE POLIPROPILENO: RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL E À FLEXÃO

https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081123

COELHO,RIVALDO TEODORO[1]; DUCATTI, VITOR ANTONIO[2]; SALADO, GERUSA DE CÁSSIA[1]

[1]UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, FACULDADE DE TECNOLOGIA DE LIMEIRA - FT/ UNICAMP;

[2]UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO - FEC/UNICAMP

SÃO PAULO/SP, BRASIL.

E-MAIL DO AUTOR CORRESPONDENTE: R004594@DAC.UNICAMP.BR

RESUMO: O objetivo é analisar a resistência à compressão axial e à flexão de um compósito cimentício-polimérico a base de cimento Portland tipo CPV/ARI tendo como agregados a areia e grãos reciclados aglutinados de polipropileno (GRAPP) como substituto dos agregados graúdos. Os resultados demonstraram resistência à compressão axial de 31,96 MPa e resistência à tração na flexão de 5,59 MPa com 30% de substituição da areia e 100% do agregado graúdo rochoso pelo GRAPP na mistura tipo P_6, resultados que permitem indicar sua aplicação como material para a construção civil e contribuir para a redução dos impactos ambientais.

PALAVRAS-CHAVE: Compósitos, plásticos, reciclagem, polipropileno, engenharia de materiais.

ABSTRACT: The objective is to analyze the resistance to axial compression and bending of a cementitious-polymeric composite based on Portland cement type CPV-ARI having as aggregates the sand and recycled grains agglutinated polypropylene (GRAPP) as a substitute for the coarse aggregates. The results showed axial compressive strength of 31.96 MPa and tensile strength in the bending of 5.59 MPa with 30% sand substitution and 100% of the coarse aggregate rocky by GRAPP in the P_6 type mixture, results that allow indicating its application as a material for civil construction and contributing to the reduction of environmental impacts.

KEYWORDS: Composites, plastics, recycling, polypropylene, materials engineering.

1 | INTRODUÇÃO

Segundo dados da Associação Brasileira da Indústria Plástica - ABIPLAST (2018) (1), desde 1950 até 2015, a produção mundial de plásticos cresceu de 2 milhões de toneladas para 407 milhões de toneladas anuais. Estima-se que já foram produzidos cerca de 8300 milhões de toneladas das quais 6300 já foram descartadas. Deste descarte, apenas 9% foram reciclados, ou seja, aproximadamente 567 milhões de toneladas. O restante, 12%, foram incinerados e 79% dispostos em aterros sanitários ou no meio ambiente. Previsões da Fundação Heirich Böll, apresentadas em seu Atlas do Plástico 2020(2), até

2050, mantidas tais tendências, estima-se que a fabricação de plásticos poderá emitir 56 gigas toneladas de CO_2, equivalentes a 13% do limite estimado de emissões de CO_2 para que o aquecimento global não ultrapasse 1,5 graus Celsius.

No Brasil, ainda segundo dados ABIPLAST (2018) [(1)], a produção física de transformados plásticos em 2015 foi de 5,8 milhões de toneladas cuja principal resina consumida foi o PP-Polipropileno com 21,9%, seguido do PEAD-Polietileno de Alta Densidade com 17,5% e em terceiro lugar o PVC-Policloreto de Vinila com 15,7% e o PET-Polietileno Tereftalato, atingiu 7,2%. Dentre os materiais utilizados em compósitos cimentícios constantes em revisões sistemáticas no Brasil e internacionais[1], destacam-se as fibras de vidro, fibras de madeiras, fibras de polipropileno, flocos de polipropileno, flocos de PET, polipropileno moído, PET moído, cinza da casca do arroz, nano compósitos de polietileno-grafite, borracha moída, EPS, PVC, escória de alto forno, resíduos de construção e demolição (RCD), aparas de couro, dentre outros. Com relação ao polipropileno na forma de grãos reciclados aglutinados, ou GRAPP, existem poucas pesquisas nacionais e internacionais, sendo mais frequentes os formatos de fibras, pellets, flocos, e outros grãos lisos.

Akinyele, Salim e Oyeti, (2015) [(3)], por exemplo, realizaram e publicaram experiência com o polipropileno na forma de grão reciclado, na África do Sul. Utilizando os grãos na forma de pellets, a pesquisa consistiu no ensaio de comportamento de vigas prismáticas compostas por compósito cimentício à base de cimento Portland e grãos de polipropileno nas quais constataram perdas de desempenho em todas as propriedades mecânicas ensaiadas e ao final recomendaram o uso do compósito para concretos leves não estruturais.

Neste trabalho foram utilizados grãos reciclados aglutinados de polipropileno – GRAPP, com formato arredondado e estriados, industrialmente modificados, obtidos a partir de descartes industriais compostos por recortes, sobras ou peças não-conformes retiradas dos processos de fabricação nas linhas de produção. Neste contexto, justifica-se a importância de estudar o polipropileno na forma de grãos reciclados aglutinados como potencial componente de compósitos de matriz cimentícia, contribuindo no desenvolvimento de novos materiais compósitos aplicáveis na construção civil, praticando a reciclagem de materiais plásticos, prolongando seus ciclos de vida e gerando benefícios diretos na redução de impactos ambientais bem como desenvolvendo alternativas de solução para as questões sociais habitacionais.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir o objetivo deste trabalho, foram ensaiados corpos de prova cúbicos e cilíndricos para determinar algumas propriedades mecânicas no estado endurecido do compósito resultante, principalmente a resistência à compressão axial e a resistência à tração na flexão. Importante ressaltar que, os ensaios utilizados consistem nas versões das Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas disponíveis à época do início destes estudos, entre os anos de 2004 e 2005. Tais estudos continuam inéditos e foram reiniciados em 2019 por meio de estudos de pós-graduação, doutorado em tecnologia na área de ciência dos materiais onde são desenvolvidos novos ensaios, desta vez com

1 Ver nota contendo link com mapas resumidos de revisão bibliográfica base Scopus e Portal CAPES CAF(e), após o item 4. Referências.

normativas vigentes atualmente.

2.1 Materiais componentes do concreto

O cimento utilizado no desenvolvimento desta pesquisa foi o CP-V-ARI - Resistência Inicial - ABNT NBR 5733:1991[4], com a finalidade de se obter altas resistências desde as primeiras idades do compósito e próximas daquelas atingidas aos 28 dias. Com relação ao agregado miúdo, a areia utilizada foi ensaiada para determinação de sua massa específica aparente, massa unitária e curva granulométrica e a massa especifica aparente da areia foi determinada pelo ensaio do frasco de Chapman pelo método NBR 7217:1987 [5], sendo que tais resultados estão registrados na tabela 2, item 3.1. Utilizou-se o aditivo químico superplastificante com base em uma cadeia de éter carboxílico modificado (policarboxilatos), isento de cloretos, compatível com as prescrições da Norma ASTM/C-494 (tipos A e F) [6], ASTM/ C-1017 [7]. Os agregados graúdos foram totalmente substituídos por grãos reciclados aglutinados de polipropileno (GRAPP) cuja curva granulométrica foi obtida por meio do ensaio determinado pela Norma brasileira NBR 7211:83 [8]. Neste ensaio, também foi determinada a dimensão máxima característica dos grãos de polipropileno aglutinado reciclado (9,50mm) e seu módulo de finura (5,81) utilizando-se a mesma Norma.

2.2 Dosagem e misturas

Após a caracterização dos materiais, iniciou-se a dosagem das misturas para se determinar o limite de substituição do agregado graúdo (brita) pelo GRAPP considerando a formação de pasta suficiente para se trabalhar com as misturas, a resistência à compressão axial na idade de 7 dias, o aspecto dos compósitos resultantes, a necessidade (ou não) de ajuste do traço e seleção das misturas para dar sequência aos ensaios substituindo os corpos de prova cúbicos por corpos-de-prova cilíndricos. Foram desenvolvidas duas séries de misturas além de um traço de referência. A primeira série foi identificada pela letra "P" e numerada sequencialmente de 1 a 10 (P_1 a P_{10}), correspondente às misturas com substituição parcial da areia pelo GRAPP em intervalos de 5% da massa total dos agregados. Desta série, foram descontinuadas as análises das P_8 e P_9 pelo fato de não atingirem a meta de pelo menos 30 MPa em termos de resistência à compressão axial, valor este comum em concretos comerciais convencionais.

2.3 Confecção dos corpos de prova

2.3.1 Corpos-de-prova cúbicos:

Nesta etapa, e para esta série, foram moldados corpos-de-prova cúbicos com arestas na dimensão de 75 mm, partindo-se do traço inicial em massa 1:2 com relação água/cimento (a/c) 0,30 e aditivo superplastificante líquido na proporção de 1% em relação à massa do cimento. A segunda série foi identificada como P_{21} e P_{22}, correspondentes às misturas com substituição total da areia pelo GRAPP sendo seus traços respectivamente 1:0,3 e 1:0,4 mantendo-se as proporções para a relação água/cimento e superplastificante adotados na série A. O traço de referência foi identificado como P_0. Para iniciar os ensaios de resistência à compressão axial e resistência à tração na flexão, decidiu-se por um traço em massa 1: 2: 0,30 com o aditivo superplastificante a 1% da massa de cimento. Este traço, rico em cimento, foi escolhido com base em duas

premissas:

A primeira, considerando que um traço mais rico poderia compensar a eventual perda destas citadas resistências em função da retirada dos agregados miúdos (parcial e gradativamente) e graúdo (totalmente) e suas respectivas substituições pelos grãos de polipropileno. A segunda considerando a possibilidade de se obter altas resistências à compressão axial e à tração na flexão para evitar que os grãos de plástico se destacassem do concreto em obras prontas na construção civil, ou elementos pré-fabricados, contaminando novamente o meio ambiente com resíduos plásticos. Todas as substituições foram executadas em relação à massa total dos agregados (Coelho) [9].

2.3.2 Corpos de prova cilíndricos:

Após os ensaios realizados com os corpos-de-prova cúbicos, foram selecionadas três (03) misturas para os ensaios definitivos. Desta forma, foram moldados duas (02) misturas da Série A (com areia), a saber, P_6 e P_{10} e uma da Série B (sem areia), P_{22} sendo mantidos os traços iniciais, sem ajustes. Destas séries foram ensaiados com corpos-de-prova cilíndricos conforme Norma ABNT NBR-5738 [10], para determinar a resistência à compressão axial e à tração na flexão por meio de vigas prismáticas para ensaio de resistência à tração na flexão. Todos estes ensaios foram realizados com as idades de 7 e 28 dias.

2.3.3 Normas utilizadas na execução dos ensaios:

Os ensaios para a determinação da composição granulométrica, seguiram a Norma NBR 7217:1987[5]. Massa específica aparente dos grãos de polipropileno aglutinado foi por meio do frasco de Chapman, adaptando-a às características do agregado. A determinação da massa unitária em conformidade com a Norma ABNT NBR 7251:1982 [11]. A resistência à compressão axial, baseou-se na Norma ABNT NBR 7215:1996 [12]. A resistência à tração na flexão, orientada pela Norma NBR ABNT 12142:1992 [13].

3 | APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

3.1 Caracterização dos materiais

A tabela 1, acima, apresenta os resultados dos ensaios de granulometria da areia e do GRAPP incluindo a determinação da massa específica e massa unitária destes materiais.

Areia				GRAPP			
Dimensão Máxima Característica (mm)	Massa Específica (g/cm³)	Massa Unitária (g/cm³)	Módulo de Finura (areia fina)	Dimensão Máxima Característica (mm)	Massa Específica (g/cm³)	Massa Unitária (g/cm³)	Módulo de Finura
2,40	**2,62**	**1,39**	**1,57**	**9,50**	**0,93**	**0,34**	**5,81**

Tabela 1: Caracterização do agregado miúdo(areia) e do GRAPP

A tabela 2 apresenta os traços em massa e respectivas misturas utilizadas nos ensaios laboratoriais para a determinação da resistência à compressão axial e da resistência à tração na flexão para os quais foram preparadas duas séries sendo a "A" (P1 a P10) e série "B" (P21 e P22), com graduações de GRAPP a cada 5%, além do traço de referência.

Características das Amostras e Misturas					Traço em Massa (kg)				
Séries	**Misturas**	**Massa Especifica (g/cm³)**	**Redução da massa específica relativa a P0 (%)**	**Substituição da areia pelo GRAPP (%)**	**Cimento**	**Areia**	**GRAPP**	**Relação a/c**	**Aditivo**
Referência	**P0**	2,33	0,00	0,00	1,00	0,20	0,00	0,30	0,01
Série A	**P1**	2,21	5,30	5,00	1,00	0,19	0,01	0,30	0,01
	P2	2,09	10,60	10,00	1,00	0,18	0,02	0,30	0,01
	P3	1,96	15,80	15,00	1,00	0,17	0,03	0,30	0,01
	P4	1,92	17,60	20,00	1,00	0,16	0,04	0,30	0,01
	P5	1,83	21,30	25,00	1,00	0,15	0,05	0,30	0,01
	P6	1,75	24,80	30,00	1,00	0,14	0,06	0,30	0,01
	P7	1,63	30,00	35,00	1,00	0,13	0,07	0,30	0,01
	P10	1,37	41,50	50,00	1,00	0,10	0,10	0,30	0,01
Série B	**P21**	1,59	31,90	100,00	1,00	0,00	0,30	0,30	0,01
	P22	1,53	34,20	100,00	1,00	0,00	0,40	0,30	0,01

Tabela 2: Características dos traços das misturas com GRAPP

3.2 Análise dos resultados referentes às resistências à compressão axial e tração na flexão dos corpos de prova do tipo P_6.

Após a substituição dos agregados miúdo e graúdos por grãos de polipropileno e registrando perdas de 64,48% da capacidade de resistir a compressão axial e perda de menos de 2% de resistência na tração por flexão, o traço P_6 ainda manteve a sua capacidade de resistir aos esforços solicitantes de compressão axial acima de 30 MPa. A tabela 3 permite analisar e concluir que, as misturas de P_3 (cimento 1,00: areia 0,14: GRAPP 0,06: água/cimento 0,30) a P_6 (cimento 1,00: areia 0,14: GRAPP 0,06: água/cimento 0,30) registraram, entre elas, perdas de resistência à compressão axial

inferior a 10%, o que sugere que os grãos, a partir 15% a 30% de adição, oferecem os melhores resultados, em termos desta resistência, nos traços com cimento, areia e GRAPP. O compósito cimentício-polimérico resultante mostrou-se adequado para as aplicações que especifiquem materiais ou concretos capazes de absorver energia de impactos pois não foram observados lascamentos explosivos à medida em que os corpos de prova atingiam os limites de ruptura nos ensaios laboratoriais de resistência à compressão axial e à tração na flexão fato que indica potencial tenacidade. Com relação às perdas de resistências comparadas ao traço referência (P_0), pode ser considerada normal levando-se em consideração as duas premissas descritas no item 2.3.1. tendo também em vista que um traço rico em cimento CP-V-ARI pode compensar as perdas de resistências impostas pela redução do agregado miúdo e graúdo originárias de rochas ígneas vulcânicas como o granito e o basalto (pedras britadas).

Análise Seletiva dos Corpos de Prova						
Séries	**Cúbicos**		**Cilíndricos**			
	Resistência a Compressão Axial (MPa)	**Redução da Resistência a Compressão Axial (%)**	**Resistência a Compressão Axial (MPa)**	**Redução da Resistência a Compressão Axial (%)**	**Resistência a Tração na Flexão**	**Redução da Resistência Tração na Flexão (%)**
Referência P0	89,97	0,00	89,97	0,00	5,69	0,00
Série A P6	***29,51***	***-67,20***	***31,96***	***- 64,48***	***5,59***	***- 1,76***
Série A P10	11,26	-87,48	7,55	- 91,61	2,15	- 62,04
Série B P22	28,15	-68,71	19,02	- 78,86	3,15	- 44,64

Tabela 1: Análise dos resultados dos ensaios físico-mecânicos

4 | CONCLUSÕES

O GRAPP, grão reciclado aglutinado de polipropileno pode contribuir para a substituição parcial dos agregados minerais convencionais como a pedra britada e a areia e, quando bem combinados, areia e grãos podem oferecer um pacote granulométrico que se apresenta satisfatoriamente fechado, resultando em resistências mecânicas adequadas a diversas aplicações, em princípio, não estruturais, diminui as densidades aparentes do compósito, apresentou significativo ganho de ductilidade, potencialmente utilizável na produção de componentes construtivos pré-moldados ou pré-fabricados, a reduzindo o consumo de agregados naturais e a possível redução dos custos diretos e dos preços finais de produtos pré-fabricados além de beneficiar diretamente ao meio ambiente em razão de sua reciclagem.

AGRADECIMENTOS

- Às empresas Lafarge-Holcim Cimentos, Neuplast, e BASF Química;

- Equipe de funcionários do Laboratório de Materiais de Construção Civil da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas – FEC/UNICAMP-Campinas e professores e colaboradores da FT/UNICAMP-Limeira.

REFERÊNCIAS

1. ABIPLAST. **Brazilian Plastic Processed and Recycling Industry 2018 Profile – Preview**. Disponível em http://www.abiplast.org.br/publicacoes/preview-perfil/. Acesso em 14/04/2019.

2. Atlas do Plástico: Fatos e números sobre o mundo dos polímeros sintéticos. Organização: Marcelo Montenegro, Manoela Vianna, Daisy Bispo Teles. 1. ed. Rio de Janeiro: Fundação Heirich Böll, 2020.

3. AKINYELE, Joseph Olawale (a); SALIM, Ramadhan Wanjala (a); OYETI, Gbolahan (b). **Use of recycled polypropylene grains as partial replacement of fine aggregate in reinforced concrete beams**. (a) Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and the Built Environment, Tshwane University of Technology, Pretoria, South Africa, (b) Department of Civil Engineering, Federal University of Agriculture, Abeokuta, 0022 Nigeria Received 28 May 2015; accepted 06 July 2015.

4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733**: Cimento Portland de Alta Resistência Inicial. Rio de Janeiro, 1991.

5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-7217**: agregado: determinação da composição granulométrica: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987b.

6. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, **ASTM C-494**: Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete, USA, 2004.

7. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, **ASTM C1017 / C1017M-98**, Standard Specification for Chemical Admixtures for Use in Producing Flowing Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 1998.

8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: agregados para concreto: especificação. Rio de Janeiro, 1983.

9. COELHO, R. T. **Contribuição ao estudo da aplicação de materiais alternativos nos compósitos à base de cimento Portland; uso de grão de polipropileno reciclado em substituição aos agregados de concreto**. Campinas: FEC/UNICAMP. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2005.

10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: moldagem e cura de corpos-de-prova de concreto, cilíndricos ou prismáticos: procedimento. Rio de Janeiro, 1984.

11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-7251**: agregado em estado solto: determinação da massa unitária: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1982b.

12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1980.

13. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-12142**: concreto: determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1992.