ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO POR RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL NA RESISTÊNCIA MECÂNICA À COMPRESSÃO AXIAL DE ARGAMASSAS MISTAS

https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081141

SCHILLER; ANA PAULA STURBELLE[1]; PALIGA; CHARLEI MARCELO[1]; TORRES; ARIELA DA SILVA[1]
[1] UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS.
ENG.ANAPSCHILLER@GMAIL.COM

RESUMO: Considerando o volume de resíduos gerados pelo setor da construção civil, o objetivo deste trabalho foi verificar a variação da resistência mecânica à compressão axial, em argamassas mistas, com substituição parcial do cimento por Resíduo de Construção e Demolição (RCD) e Resíduo da Industria de Pré-moldado (RIPM). A argamassa de referência foi confeccionada com o traço 1:2:8 e as substituições aconteceram nos teores de 5, 10 e 15%. Os resultados mostraram desempenho satisfatório entre as misturas confeccionadas com RCD, visto que aos 63 dias os três teores de substituição deste resíduo tornaram-se estatisticamente iguais ao traço de referência.

PALAVRAS-CHAVES: Resíduos de construção civil, resistência à compressão axial, argamassa mista, tecnologia da arquitetura.

ABSTRACT: Considering the volume of waste generated by the construction sector, the objective of this work was to verify the variation of mechanical resistance to axial compression in mixed mortars, with partial replacement of cement by Construction and Demolition Residue (RCD) and Precast Industry Residue (RIPM). The reference mortar was made with the trace 1:2:8 and the substitutions occurred at the levels of 5, 10 and 15%. The results showed satisfactory performance among the mixtures made with RCD, since at 63 days the three replacement levels of this residue became statistically equal to the reference trait.

KEYWORDS: Civil construction waste, axial compression resistance, mixed mortar, architecture technology.

1 | INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é uma importante atividade que traz benefícios para o desenvolvimento econômico e social do país. Em contrapartida, é um setor altamente degradante, e os impactos ambientais causados podem ser observados em todas as etapas de sua cadeia produtiva (LARUCCIA(1)).

De acordo com Valporto e Azevedo(2), o esgotamento de jazidas pela extração de matérias-primas, a emissão de gases poluentes, o gasto de energia para extração, a fabricação e transporte dos recursos naturais e a contaminação da água por processos industriais são alguns dos impactos ambientais causados pela construção civil.

Além dos impactos mencionados provenientes da extração e beneficiamento da matéria-prima, a construção civil também é responsável pela geração de grande

quantidade de resíduos sólidos urbanos. No ano de 2019, foram coletadas no Brasil 72,7 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU), sendo que, aproximadamente 61% deste total foram resíduos provenientes da construção civil, segundo o panorama da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE[3].

Assim, com o intuito de reduzir os impactos ambientais gerados pela construção civil nos últimos anos, vem crescendo a preocupação quanto à disposição final dos resíduos gerados pelo setor. A incorporação deles como matéria-prima para a produção de argamassas é uma alternativa para a minimização dos impactos no meio ambiente.

No estudo de Canova[4], o autor testou a influência da substituição do cimento por finos de britagem em argamassas confeccionadas com traço 1:1,5:9 (cimento, cal e areia), em volume. Foram testados os teores de substituição de 2,5, 5, 10, 15 e 20%, em massa, e as misturas foram ensaiadas no estado fresco e endurecido. Os resultados indicam a viabilidade da substituição dos teores de 5 e 10% do cimento por resíduos de finos de britagem.

Knob et al.[5] estudaram a substituição do agregado miúdo natural utilizado na confecção de argamassas de revestimento por resíduos de construção civil em porcentagens de 5, 25 e 50%. As argamassas recicladas foram comparadas ao traço de referência, confeccionado nas proporções em massa de 1:1:6 (cimento, cal e areia). Foram realizados ensaios no estado fresco e endurecido, que viabilizaram a utilização dos resíduos para a produção de argamassas de revestimento.

Já Pinz[6] estudou o efeito da substituição do cimento e do agregado por resíduos de cerâmica vermelha (RCV) em dois tipos de argamassas, hidráulica e mista, confeccionadas com traço em massa de 1:6 e 1:2:8, respectivamente. Foram testados os teores de substituição de 5, 10 e 15% do aglomerante, e de 10, 15 e 20% do agregado, ambos em relação à massa. Os resultados mostraram melhoramento da resistência mecânica das argamassas hidráulicas com substituição do aglomerante nos teores de 5 e 15%.

Desta forma, considerando a relevância do tema, este trabalho tem como objetivo verificar a influência na resistência à compressão axial de argamassas mistas de cimento e cal, a partir da substituição parcial do cimento por dois resíduos de construção civil, sendo eles: Resíduo de Construção e Demolição (RCD), proveniente da demolição de um prédio industrial, e Resíduo da Industria de Pré-moldado (RIPM), derivado de uma fábrica de artefatos cimentícios, ambos os resíduos foram coletados na cidade de Pelotas/RS.

2 | PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Materiais

Os materiais utilizados para confecção das argamassas de revestimento foram cimento Portland CP IV 32, sendo comumente utilizado em obras da região sul do estado do Rio Grande do Sul, com massa específica de 2,77 g/cm³, cal hidratada de classe CH - II, areia média quartzosa lavada com massa específica de 2,41 g/cm³ e módulo de finura de 2,79, e água proveniente da Companhia Rio-grandense de Saneamento – CORSAN, companhia que fornece água para a cidade de Jaguarão/RS.

Já os resíduos empregados foram coletados em dois locais distintos da cidade de Pelotas/RS, sendo o primeiro material oriundo da demolição de um prédio industrial (RCD) e o segundo material foi coletado em uma indústria de artefatos cimentícios (RIPM). Nos locais das coletas, os resíduos foram retirados em quatro pontos distintos, e em cada um desses pontos retirou-se material em três alturas diferentes, sendo a camada inferior do ponto de coleta com distância superior a 20 cm do solo para evitar contaminação do material.

O primeiro material coletado (RCD) apresentava característica mista, com restos de material cerâmico, concreto, argamassa, madeira e aço. Desta forma, no ambiente de laboratório, esse resíduo passou por uma seleção visual, separando apenas fragmentos de concreto e argamassa.

Posteriormente, com finalidade de reduzir a granulometria das partículas e tornar possível a aplicação em argamassas, ambos os resíduos foram beneficiados em britador de mandíbulas verticais (MARCONI, modelo MA 2015) e, passaram por ensaios de caracterização seguindo as recomendações das normas vigentes da ABNT. Os resultados dos ensaios de caracterização física dos resíduos são apresentados na Tabela 1.

Parâmetros físicos	RCD	RIPM
Massa específica (NBR NM 52/2009)	2,51 g/cm³	2,33 g/cm³
Massa unitária solta (NBR NM 45/2006)	1,46 g/cm³	1,56 g/cm³
Índice de volume de vazios (NBR NM 45/2006)	30,5%	25,4%
Absorção (NBR NM 30/2001)	8%	4,7%

Tabela 1 – Parâmetros físicos dos resíduos

Para garantir maior homogeneidade dos resíduos, estes foram selecionados apenas os materiais que passaram na peneira 0,15mm e ficaram retidos na peneira 45μm.

2.2 Método

A definição do traço para a moldagem dos corpos de prova levou em consideração o estudo de Pinz[6], tendo sido usado como traço de referência a proporção em massa de 1:2:8 (cimento, cal e areia), e substituição em relação a massa do cimento por resíduos nos teores de 5, 10 e 15%.

Os corpos de prova foram moldados nas instalações do laboratório de Materiais de Construção e Mecânica dos Solos do IFSul, Câmpus Avançado Jaguarão. Inicialmente, tanto os resíduos quanto a areia foram previamente mantidos em estufa por 24h, de forma que a umidade fosse eliminada. O preparo da argamassa seguiu os procedimentos de execução prescritos na NBR 13276[7], com auxílio de uma argamassadeira automática de movimento planetário de duas velocidades (PROJETEST).

A quantidade de água necessária para o amassamento foi definida a partir do índice de consistência de 260 mm ± 5 mm, variando o consumo de água de acordo com

a necessidade de cada traço para atender o parâmetro e garantir a mesma fluidez entre as misturas. A Tabela 2 apresenta o índice de consistência e a relação água aglomerante para cada uma das misturas analisadas.

Traço	Teor de substituição (%)	Relação água / aglomerante	Índice de consistência
REF	0%	0,74	255
RCD 5%	5%	0,70	262
RCD 10%	10%	0,71	265
RCD 15%	15%	0,72	260
RIPM 5%	5%	0,72	265
RIPM 10%	10%	0,71	260
RIPM 15%	15%	0,73	265

Tabela 2 – Relação água aglomerante e índice de consistência

A moldagem dos corpos de prova foi feita logo após a verificação do índice de consistência, e seguiu as recomendações da NBR 7215[8]. Para isso, foram utilizados moldes metálicos cilíndricos, com as dimensões de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura. Foram moldados ao total quatro corpos de prova cilíndricos para cada idade e para cada traço de argamassa, totalizando 84 unidades.

Com objetivo de comparar a influência dos resíduos nas argamassas, os corpos de prova foram ensaiados quanto à resistência à compressão axial aos 7, 28 e 63 dias, seguindo as especificações da norma NBR 7215[8]. O ensaio foi realizado no laboratório de Materiais e Técnicas Construtivas da UFPEL com auxílio de uma prensa eletro hidráulica (Forney, modelo F-25 EX-F-CPILOT).

Após a execução do ensaio, os resultados passaram pela análise de variância (ANOVA) com nível de significância de 5%. Essa análise permite verificar a existência de diferenças significativas entre os grupos avaliados, no entanto, não identifica quais e quantas amostras são diferentes. Para identificar as médias diferentes, realizou-se o teste de Tukey com intervalo de confiança de 95%. Com base nesses resultados pôde-se determinar o melhor teor de substituição.

3 | APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Os resultados do ensaio de resistência à compressão axial nas idades de 7, 28 e 63 dias podem ser verificados na Figura 1. Com base nestes dados, verifica-se que as argamassas com resíduos apresentaram menor resistência à compressão axial que o traço de referência. Esse fato pode ser atribuído a menor quantidade de ligante entre as partículas, resultante da substituição do cimento por resíduos nas misturas. Entre as argamassas que utilizaram resíduos em sua confecção, percebe-se que aquelas com o RIPM obtiveram valores de resistência mais elevados, sendo o teor de substituição de 10% aquele que apresentou maior resistência.

Aos 28 dias, nota-se um expressivo ganho de resistência em todos os traços em decorrência da hidratação do silicato tricálcico, componente químico presente no cimento. Observa-se nessa idade que o melhor desempenho entre as amostras foi registrado pelo traço RCD 5%, que ultrapassou em 1,4% a resistência do traço de referência. Este ganho de resistência pode estar atrelado ao preenchimento dos vazios pelas finas partículas do resíduo RCD. No estudo realizado por Carasek et al.[9], os autores verificaram que o formato e o tamanho das partículas presentes nas argamassas proporcionam o empacotamento granulométrico, reduzindo os espaços vazios entre os grãos e aumentando o índice de consistência das misturas. Observa-se que a argamassa confeccionada com substituição de 5% do cimento por RCD apresentou um comportamento similar ao do estudo citado, onde necessitou-se uma menor quantidade de água para atender o parâmetro de consistência estipulado pela NBR 13276[7], em virtude do fechamento dos vazios da mistura.

Já aos 63 dias, observa-se um comportamento semelhante, onde o traço RCD 5% apresentou resistência 3,3% maior que o traço de referência. Nota-se nesta idade que as argamassas confeccionadas com RCD apresentaram os maiores ganhos de resistência entre as argamassas com resíduos. Entre o grupo de argamassa que utilizou RIPM em sua composição, observa-se que o traço RIPM 5% presentou o maior valor de resistência, e os traços RIPM 10% e RIPM 15% apresentaram redução de resistência de 0,5% e 5%, respectivamente.

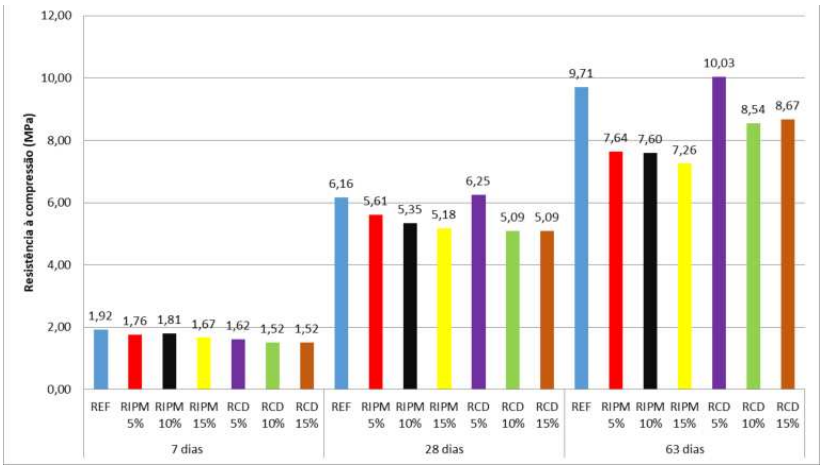

Figura 1 - Resultado de resistência à compressão

Fonte: Autores

Posteriormente, realizou-se a análise de variância (ANOVA) que constatou a significância estatística das variáveis relacionadas, sendo elas o teor de substituição e idade das amostras. Os resultados desta análise estão apresentados na Tabela 3.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Traços	18,17773046	6	3,029621743	12,90969298	1,87E-09	2,246407983
Idades	652,6098645	2	326,3049322	1390,436447	7,6E-53	3,142808517
Interações	16,03332878	12	1,336110732	5,693377193	1,6E-06	1,909325452
Dentro	14,78471797	63	0,234678063			
Total	701,6056417	83				

Tabela 3 – Anova ensaio de resistência à compressão

A análise de variância indicou a existência de pelo menos uma diferença significativa entre as médias. Desta forma, para identificar estas diferenças, realizou-se o teste de Tukey com um nível de confiabilidade de 95%.

Aos 7 dias, a comparação entre os grupos REF e RIPM apontou diferença significativa entre os traços REF e RIPM 15% e entre os grupos REF e RCD todos os traços de substituição demonstraram diferenças significativas. A análise entre os grupos RIPM e RCD verificou diferenças significativas para as comparações RIPM 5% e RCD 10%; RIPM 5% e RCD 15%; RIPM 10% e RCD 10% e; RIPM 10% e RCD 15%.

Aos 28 dias, os resultados demonstram que há diferença significativa entre o REF e o RCD nas seguintes aferições REF e RCD 10% e REF e RCD 15%. As comparações dentro do grupo de argamassas com RCD em sua composição demonstraram diferença significativa do RCD 5% quando comparado ao RCD 10% e RCD 15%. Entre os grupos que utilizaram resíduos em sua composição, constatou-se que apenas a comparação do RIPM 15% com o RCD 5% apresentou diferença significativa, o que indica que os demais traços apresentam estatisticamente a mesma resistência. O mesmo ocorre com o grupo de argamassas com RIPM em sua composição quando comparado com o traço de referência.

Por fim, aos 63 dias, a análise de Tukey indicou a existência de diferença significativa entre os grupos REF e RIPM para todos os teores de substituição. Já entre os grupos RCD e RIPM verificou-se desigualdade para as aferições entre RIPM 10% e RCD 5% e RIPM 15% e RCD 5%. Observa-se que, o grupo de argamassas que utilizou RCD em sua composição apresentou estatisticamente a mesma resistência daquelas do grupo de referência.

Seguindo os critérios da NBR 13281(10), as argamassas REF e RCD 5% podem ser classificadas na Classe P5 (5,5 a 9,0 MPa). Já os traços RCD 10%; RCD 15%; RIPM 5%; RIPM 10% e; RIPM 15% são classificados como classe P4 (4,0 a 6,5 MPa). Cabe destacar que, apesar de a norma categorizar as argamassas de acordo com a resistência, ela não faz especificações quanto ao local de aplicação de cada uma das classes.

4 | CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados, pode-se concluir que embora inicialmente a incorporação do RCD tenha proporcionado a redução da resistência à compressão axial das argamassas, ao longo do tempo essa diferença foi reduzindo, e aos 63 dias os teores

de substituição tornaram-se estatisticamente iguais ao traço de referência. Com relação ao RIPM, verifica-se que a resistência inicial dos teores de substituição de 5 e 10% foram estatisticamente iguais ao traço de referência, entretanto aos 63 dias nota-se que o resíduo apresentou resistência inferior ao traço de referência em todos os teores de substituição. Portanto, conclui-se que a utilização do RCD como substituinte parcial do cimento é uma alternativa viável, pois propicia a confecção de argamassas alternativas com a mesma resistência à compressão que a argamassa de referência.

REFERÊNCIAS

1. LARUCCIA, M.M. Sustentabilidade e impactos ambientais da construção civil. **ENIAC Pesquisa,** v. 3, n. 1, p. 69-84, Guarulhos, jan.-jun. 2014.

2. VALPORTO, M.S.; AZEVEDO, S. Gestão do design na identificação dos fatores de impactos ambientais da construção civil. **Estudos em Design**, v. 24, n. 1, p. 124-151, Rio de Janeiro, 2016.

3. **Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE.** Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. 2020. Disponível em: https://abrelpe.org.br/panorama/. Acessado em: 13/05/2021.

4. CANOVA, J. A. Substituição do cimento por finos de britagem em argamassa de revestimento. **Ciência & Engenharia,** v. 26, p. 11-26, Uberlândia, jul/dez 2017.

5. KNOB, G. P. L. et al. Viabilidade Técnica da utilização do resíduo da construção civil para a produção de argamassa de revestimento. In: **Anais Engenharia civil UCEFF,** v. 3, n.1, 2019/1.

6. PINZ, F. P. **Influência do resíduo de cerâmica vermelha em argamassas na substituição parcial do agregado ou do cimento.** 2019. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.

7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215:** Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2019.

9. CARASEK, H. et al. Parâmetros da areia que influenciam a consistência e a densidade de massa das argamassas de revestimento. **Revista Matéria,** v.21, n.3, p. 714 –732 , 2016.

10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.