



## O ESTADO DA ARTE ACERCA DA INCORPORAÇÃO DE AGREGADO MIÚDO RECICLADO EM ARGAMASSAS CIMENTÍCIAS

The state of the art regarding the incorporation of recycled fine aggregate in cementitious mortars

**Thiago Ewerton Cobra de Castro**

Universidade Federal de Minas Gerais | Belo Horizonte, Minas Gerais | thiagoeccastro@ufmg.br

**Paulo Henrique Vaz da Silva**

Universidade Federal de Minas Gerais | Belo Horizonte, Minas Gerais | pauloh.vazs@gmail.com

**Fernando do Couto Rosa Almeida**

Universidade Federal de Minas Gerais | Belo Horizonte, Minas Gerais | fernando@demc.ufmg.br

### Resumo

*A reinserção dos resíduos da construção e demolição (RCD) no setor da construção civil é uma alternativa sustentável que vem sendo amplamente estudada. O presente trabalho objetivou apresentar o estado da arte de algumas das principais propriedades de argamassas cimentícias confeccionadas com agregado miúdo reciclado oriundo de RCD. Apesar de possível perda de resistência à compressão e flexão, aumento da retração e da absorção de água do material endurecido, além de aumento da consistência no estado fresco, observou-se que os teores de substituição e tipo de agregados são determinantes para a melhoria das propriedades das argamassas.*

**Palavras-chave:** Resíduo de construção e demolição; Argamassas; Agregado miúdo reciclado.

### ABSTRACT

*The reinsertion of construction and demolition waste (CDW) in the civil construction sector is a sustainable alternative that has been widely studied. This paper aimed to present the state of the art of the main properties of cementitious mortars made with recycled fine aggregate from CDW. Despite of possible loss in compressive and flexural strength, increased shrinkage and water absorption of the hardened material, as well as increased consistency in the fresh state, it was observed that substitution levels and type of aggregates are decisive for improvement of mortars' properties.*

**Keywords:** Construction and demolition waste; Mortars; Recycled fine aggregate.

## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil representa 3,2% do PIB brasileiro, além de corresponder à 5,9% dos trabalhadores formais no país (CBIC, 2021). Entretanto, esse setor é responsável por uma alta demanda de recursos naturais para produção de materiais, além de uma significativa geração de resíduos sólidos. Somente em 2021, foram coletados pelos municípios brasileiros mais de 48 ton. de resíduos de construção e demolição (RCD) (ABRELPE, 2022). Nesse contexto, a reinserção de RCD tem se mostrado uma alternativa ecoeficiente para produção de concretos e argamassas (ABNT, 2021; CONAMA, 2002).

Atualmente, existem diversos estudos que utilizam o RCD como agregado graúdo (ZHOU, CHEN, 2017; DATTA *et al.*, 2022), mas poucos são os estudos que consideram a porção miúda do agregado reciclado. Isso devido a uma maior dificuldade de reintrodução no mercado, devido à alta absorção de água e à existência de possíveis contaminantes, a menos que um processamento mineral possa alterar suas características (ULSEN *et al.*, 2021). Entretanto, essa questão ainda se mostra inconclusiva, abrindo possibilidades para uso também do agregado miúdo reciclado em argamassas e concretos.

Nesse contexto, o presente trabalho busca avaliar o estado da arte de argamassas cimentícias constituídas integral ou parcialmente por agregados miúdos reciclados provenientes de RCD.

## 2 METODOLOGIA

O levantamento dos artigos foi realizado através do Portal de Periódicos CAPES, utilizando as palavras-chave apresentadas na Tabela 1. A escolha dessa base de dados se justifica pela vasta abrangência de revistas acerca do assunto abordado e facilidade de acesso no país. Outros parâmetros de busca foram: artigos publicados em periódicos internacionais (em inglês), revisados por pares, entre 01/01/2018 até 01/04/2023. A primeira busca resultou em um total de 204 artigos. Em seguida, realizou-se um alinhamento dos assuntos abordados através da leitura dos títulos, resumo e leitura integral (nessa ordem), como forma de reduzir o número de publicações (total de 9 artigos).

Tabela 1: Métodos de seleção de artigos em cada etapa da pesquisa

Palavras-chave	Nº artigos encontrados inicialmente	Nº de artigos após leitura do título	Nº de artigos após leitura do resumo	Nº de artigos após leitura integral
"Aggregate Recycled" AND "Properties"	19	8	3	1
"Recycled Aggregate" AND "Fine" AND "Mortar"	185	70	15	8
<b>Total de artigos</b>	<b>204</b>	<b>78</b>	<b>18</b>	<b>9</b>

A seleção focou naqueles trabalhos que tratassem do desempenho de argamassas cimentícias constituídas de forma integral ou parcial por agregado miúdo reciclado de RCD. É válido ressaltar que os materiais reciclados utilizados em cada estudo possuem distintas origens e características, e as argamassas produzidas, diferentes traços. Desse modo, analisou-se a tendência geral dos resultados obtidos para cada propriedade no estado fresco e endurecido, e não valores absolutos encontrados pelos diferentes autores.

## 3 RESULTADOS E ANÁLISES

### 3.1 CONSISTÊNCIA NO ESTADO FRESCO

A consistência da argamassa no estado fresco foi avaliada por Dang *et al.* (2018) e Vaishnav, Trivedi (2022) utilizando agregados reciclados proveniente de tijolos de argila e concreto, respectivamente. Os autores observaram um aumento da consistência com o aumento da taxa de incorporação do resíduo fino. Isso é justificado pela maior porosidade do agregado reciclado que absorve mais água de amassamento e, consequentemente, diminui a trabalhabilidade da argamassa. Entretanto, esse efeito pode ser minimizado com uso de aditivos plastificantes.

### 3.2 RESISTÊNCIA MECÂNICA

A Tabela 2 apresenta o comportamento da resistência à compressão e tração observado em diferentes estudos.

Tabela 2: Comportamento da resistência à compressão e à flexão com a incorporação de agregado reciclado à argamassa

Artigo	Origem do agregado reciclado	Teores de substituição avaliados	Tendência da resistência à compressão com aumento da taxa de incorporação	Tendência da resistência à flexão com aumento da taxa de incorporação
(DANG <i>et al.</i> , 2018)	Tijolo de Argila	25%, 50%, 75% e 100%	Diminui com as taxas de 25% e 75%, aumenta com a taxa de 50%	Aumenta com as taxas de 25% e 50%, diminui com 75%
(JESUS <i>et al.</i> , 2019)	Concreto Misto	10%, 15% e 20%	Aumenta Diminui	Aumenta Diminui
(MORÓN <i>et al.</i> , 2021)	Cerâmico/Concreto	100%	Diminui	Diminui
(MORA-ORTIZ <i>et al.</i> , 2022)	Argamassa/Tijolo de Argila	10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 80% e 100%	Diminui acima de 40%	-
(VAISHNAV, TRIVEDI, 2022)	Concreto	25%, 50%, 75% e 100%	Diminui	-
(WU <i>et al.</i> , 2022)	Concreto	25%, 50% e 100%	Diminui	Diminui
(FANG <i>et al.</i> , 2021)	Concreto	50% e 100%	Diminui	-
(SUN <i>et al.</i> , 2021)	Concreto	100%	Comparável	Aumenta

Vaishnav, Trived (2022) e Wu *et al.* (2022) verificaram que os valores relacionados à resistência à compressão decaem com o aumento do teor de agregado miúdo reciclado devido à sua maior porosidade. Seguindo essa tendência, Jesus *et al.* (2019) e Morón *et al.* (2021) também observaram uma redução dessa propriedade, respectivamente com uso de agregados mistos e taxas de 100% de substituição. Entretanto, Jesus *et al.* (2019) observaram que a incorporação de resíduo reciclado somente de concreto resultou em um aumento da resistência. Essa discordância pode ser justificada pelo tamanho das partículas de agregados reciclados abaixo de 150  $\mu\text{m}$ , proporcionando um efeito filler e, conseqüentemente, um aumento da compacidade das argamassas (JESUS *et al.*, 2019). Além disso, Fang *et al.* (2021) observa também uma redução da resistência à compressão de argamassas produzidas com concreto reciclado, porém notou que a carbonatação do agregado miúdo de concreto proporciona um aumento dessa propriedade.

É válido ressaltar que Mora-Ortiz *et al.* (2022) pontuam que as amostras com incorporação de até 40%, tanto com resíduos de argamassa quanto de tijolo de argila, apresentaram bons desempenhos mecânicos, comparável a amostras de referência. E Dang *et al.* (2018) sustentam a ocorrência de um teor ótimo de substituição em torno de 50%.

Nas análises referentes à resistência à flexão, Dang *et al.* (2018) afirmam que a diferença desse parâmetro entre a argamassa de referência e a argamassa confeccionada com RCD de tijolo de argila diminui ao longo do tempo. Além disso, a resistência à flexão da argamassa reciclada pode até exceder o valor quando comparada à argamassa padrão, devido ao efeito pozolânico e ao efeito da cura interna do agregado reciclado. A alta porosidade do RCD funciona como reservatório de água extra para hidratação prolongada da pasta de cimento da argamassa. Essa conclusão se alinha aos resultados de Jesus *et al.* (2019) com RCD de concreto reciclado, onde foi observado um aumento da resistência à flexão, devido ao efeito filler, possível presença de cimento anidro no agregado de concreto, e menor teor de água no traço utilizado. Vale ressaltar que Sun *et al.* (2021) observaram um aumento na resistência à flexão devido a interação com agentes expansivos (teor ótimo de 9%).

Contudo, Wu *et al.* (2022) observaram efeitos contrários, ou seja, a diminuição da resistência à flexão atribuída à alta porosidade do agregado reciclado e seu efeito prejudicial nas zonas de transição interfacial das argamassas. Morón *et al.* (2021) também apontam essa diminuição na propriedade com teor de 100% de substituição.

### 3.3 RETRAÇÃO

A Tabela 3 apresenta resultados encontrados por diferentes autores acerca da retração em compósitos cimentícios com incorporação de resíduos reciclados.

Segundo Jesus *et al.* (2019), as argamassas com agregado reciclado apresentaram um aumento de retração quando comparadas às argamassas de referência, sendo um indicativo da possibilidade do aparecimento de fissuras no material. Essa conclusão se alinha aos resultados de Wu *et al.* (2022), em que argamassas com

agregado fino reciclado nas porcentagens de substituição de 25%, 50% e 100% apresentaram respectivamente uma retração de 4,5%, 10,6% e 38% maior em relação à argamassa de referência (100% de agregado natural).

Tabela 3: Comportamento da retração com a incorporação de agregado reciclado à argamassa

Artigo	Origem do agregado reciclado	Teores de substituição avaliados	Tendência da retração com aumento da taxa de incorporação
(JESUS <i>et al.</i> , 2019)	Concreto	20%	Aumenta
	Misto	15%	Aumenta
(MORÓN <i>et al.</i> , 2021)	Cerâmico/Concreto	100%	Aumenta
(WU <i>et al.</i> , 2022)	Concreto	25%, 50% e 100%	Aumenta

Nesse contexto, Morón *et al.* (2021) também obtém resultado convergente com os supracitados e, assim, indica que as argamassas com agregado miúdo reciclado apresentam menor estabilidade dimensional e maior susceptibilidade ao encolhimento. Jesus *et al.* (2019) sugere que o fenômeno ocorra em função do aumento da tensão dos poros capilares e aumento do teor de cimento das argamassas com agregado reciclado (material oriundo das argamassas primárias aderidas aos agregados). Além disso, Wu *et al.* (2022) relaciona o fenômeno com a maior secagem da água livre na argamassa devido à maior absorção do agregado.

### 3.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA

Análise da taxa de absorção de água de argamassas com agregado reciclado é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4: Comportamento da absorção de água com a incorporação de agregado reciclado à argamassa

Artigo	Origem do agregado reciclado	Teores de substituição avaliados	Tendência da absorção de água com aumento da taxa de incorporação
(JESUS <i>et al.</i> , 2019)	Concreto	10%, 15% e 20%	Diminui
(LETELIER <i>et al.</i> , 2022)	Concreto	15% e 30%	Aumenta
(MORÓN <i>et al.</i> , 2021)	Cerâmico/Concreto	100%	Aumenta
(MORA-ORTIZ <i>et al.</i> , 2022)	Argamassa/Tijolo de Argila	10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 80% e 100%	Aumenta
(WU <i>et al.</i> , 2022)	Concreto	25%, 50% e 100%	Aumenta

Morón *et al.* (2021) apontam que a absorção de água por capilaridade é maior nas argamassas recicladas quando comparada às argamassas tradicionais, especialmente aquelas com resíduos de cerâmicas. Porém, Letelier *et al.* (2022) mostram que não há um aumento significativo dessa propriedade em argamassas com teores de substituição de 15% e 30% do agregado convencional pelo RCD de concreto.

Nessa perspectiva, os estudos associam a taxa de absorção de água com a quantidade de poros presentes nos agregados reciclados, sendo que a porosidade do agregado reciclado está associada à dois parâmetros: a original composição da mistura do agregado miúdo reciclado e o processo de fabricação do agregado reciclado de concreto (LETELIER *et al.*, 2022; JESUS *et al.*, 2019).

A maioria das pesquisas convergem sobre o aumento da absorção de água com o acréscimo da quantidade de agregado reciclado (MARÓN *et al.*, 2021; LETELIER *et al.*, 2022; ORTIZ *et al.*, 2022; WU *et al.*, 2022). Porém, é válido ressaltar que o trabalho de Jesus *et al.* (2019) aponta para uma tendência diferente. Isso foi justificado ao efeito filer das partículas finas que reduz a porosidade das argamassas e diminui o volume de poros capilares, aumentando a resistência da argamassa à entrada de água.

## 4 CONCLUSÃO

O levantamento teórico acerca do estado da arte de argamassas cimentícias com incorporações de agregado miúdo reciclado indica que, embora seja uma aplicação ambientalmente vantajosa, as principais propriedades das argamassas estudadas podem ser prejudicadas, como consistência, resistência à compressão e flexão, retração e absorção de água. Entretanto, as conclusões indicam que o tipo e tamanho de agregado (especialmente aqueles provenientes de resíduo de concreto carbonatado e com tamanho menor que 150 µm, respectivamente), teor de substituição (em torno de 40-50% para agregado de argila, por exemplo) e uso de aditivos plastificantes podem contribuir para a manutenção ou melhoria das propriedades no estado fresco e endurecido de argamassas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação de Apoio à Pesquisa de Minas Gerais - FAPEMIG (Bolsa PROBIC e Processo #APQ-00062-22).

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E REUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil** – 2022. Disponível em: < <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2022/>>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT **NBR 15116**: Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland — Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2021.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Banco de dados CBIC**. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil>>. Acesso em: 27 maio. 2023.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA Nº 307, de 5 de julho de 2002.

DANG, Juntao; ZHAO, Jun; HU, Wenyuan; DU, Zhaohua; GAO, Danying. Properties of mortar with waste clay bricks as fine aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 166, p. 898-907, 2018.

DATTA, Shuvo Dip; SOBUZ, Md. Habibur Rahman; AKID, Abu Sayed Mohammad; ISLAM, Shoaib. Influence of coarse aggregate size and content on the properties of recycled aggregate concrete using non-destructive testing methods. **Journal of Building Engineering**, v. 61, p. 105249, 2022.

FANG, Xiaoliang; XUAN, Dongxing; SHEN, Peiliang; POON, Chi Sun. Fast enhancement of recycled fine aggregates properties by wet carbonation. **Journal of Cleaner Production**, v. 313, p. 127867, 2021.

JESUS, Sara; MAIA, Cinthia; FARINHA, Catarina Brazão; BRITO, Jorge de; VEIGA, Rosário. Rendering mortars with incorporation of very fine aggregates from construction and demolition waste. **Construction and Building Materials**, v. 229, p. 116844, 2019.

LETELIER, Viviana; BUSTAMANTE, Marion; MUÑOS, Pedro; RIVAS, Sebastian; ORTEGA, Jose Marcos. Evaluation of mortars with combined use of fine recycled aggregates and waste crumb rubber. **Journal of Building Engineering**, v. 43, p. 103226, 2021.

MORA-ORTIZ, René Sebastián; DÍAS, Sergio Alberto; ANGEL-MERAZ, Ebelia Del; MAGAÑA-HERNÁNDEZ, Francisco. Recycled fine aggregates from mortar debris and red clay brick to fabricate masonry mortars: mechanical analysis. **Materials**, v. 15, n. 21, p. 7707, 2022.

MORÓN, Alberto; FERRÁNDEZ, Daniel; SAIZ, Pablo; VEGA, Gabriela; MORÓN, Carlos. Influence of recycled aggregates on the mechanical properties of synthetic fibers-reinforced masonry mortars. **Infrastructures**, v. 6, n. 6, p. 84, 2021.

SUN, Junfang; CHEN, Ji; LIAO, Xin; TIAN, Angran; HAO, Jinxu; WANG, Yuchen; TANG, Qiang. The Workability and Crack Resistance of Natural and Recycled Aggregate Mortar Based on Expansion Agent through an Environmental Study. **Sustainability**, v. 13, n. 2, p. 491, 2021.

ULSEN, Carina; ANTONIASSI, Juliana Lívi; MARTINS, Isabel M.; KAHN, Henrique. High quality recycled sand from mixed CDW—is that possible?. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 12, p. 29-42, 2021.

VAISHNAV, Sanjay Kumar; TRIVEDI, Manoj Kumar. Performance evaluation of treated recycled fine aggregate on mortar properties. **Materials Today: Proceedings**, v. 62, p. 6641-6647, 2022.

WU, Huixia; WANG, Changqing; MA, Zhiming. Drying shrinkage, mechanical and transport properties of sustainable mortar with both recycled aggregate and powder from concrete waste. **Journal of Building Engineering**, v. 49, p. 104048, 2022.

ZHOU, Chunheng; CHEN, Zongping. Mechanical properties of recycled concrete made with different types of coarse aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 134, p. 497-506, 2017.