
Influência do teor de material fino na aderência de revestimentos contendo RCC

Influence of dusty material content on adhesion on rendering with CDW

Influencia del contenido de material fino en la adhesión de capas de revoco con RCC

Helena Carasek

Universidade Federal de Goiás

hcarasek@ufg.br

Paulo César Martins Filho

Universidade Federal de Goiás

paulocesar.martins@discente.ufg.br

Aline Crispim Girardi

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano

aline.crispim@ifgoiano.edu.br

Resumo

A Construção civil gera grande quantidade de resíduos - RCC, sendo necessários, além de estudos que ajudem a reduzir essa geração, investigações para garantir o reaproveitamento deles. Os RCC podem ser utilizados para a produção de argamassas de revestimento de paredes em substituição total ou parcial à areia natural. No entanto, algumas das características físicas dos agregados reciclados, como o teor de materiais finos (TMF), dificulta a sua utilização, podendo acarretar em manifestações patológicas. Relativo aos revestimentos de argamassa, a aderência é o principal indicador de desempenho desses sistemas. Assim, o presente trabalho visa analisar, por meio de uma pesquisa experimental, complementada por análise de dados da literatura, a influência do TMF dos agregados reciclados na aderência dos revestimentos. Dois tipos de RCC foram utilizados, misto e cimentício, além da areia natural (referência). Foi realizada uma ampla caracterização dos agregados, das argamassas no estado fresco e endurecido, além da avaliação da extensão e da resistência de aderência à tração dos revestimentos aplicados sobre blocos cerâmicos. Como principais resultados, foi observada que há uma forte correlação entre TMF dos agregados e a aderência dos revestimentos. Obteve-se uma função quadrática para explicar a resistência de aderência em função do TMF. Constatou-se a existência de um teor ótimo de materiais finos nos agregados reciclados, em torno de 5%. Observou-se também a tendência de correlação linear inversamente proporcional entre TMF e extensão de aderência, sinalizando a existência de uma redução da extensão de aderência à medida que se aumentam os finos dos agregados reciclados.

Palavras-chave: Revestimento. Argamassa. Aderência. Resíduo de Construção Civil. Teor de Material Fino.

Abstract

Civil Construction generates a large amount of waste (CDW) requiring, besides studies to help reduce its generation, investigations to ensure their reuse. The CDW can be used to produce coating mortars in total or partial replacement of natural sand. However, some of the physical characteristics of recycled aggregates, such as the fines content (FC) makes its use difficult and may lead to pathological manifestations. Regarding rendering mortars, adhesion is the main performance indicator of these systems. The present work aims to analyze, through an experimental research, complemented by literature data analysis, the influence of FC of recycled aggregates on the adhesion of coatings. Two types of CDW were used, mixed and cementitious, in addition to natural sand (used as reference). A broad characterization of the aggregates, of the mortars in the fresh and hardened state was carried out, in addition to the evaluation of the extension and the tensile bond strength of the rendering applied on ceramic blocks. As main results, it was observed that there is a strong correlation between the FC of aggregates and adhesion of renderings. A quadratic function was obtained to explain the bond strength as a function of FC. It was found the existence of an optimal content of fine materials in recycled aggregates, around 5%. It was also observed a trend of inversely proportional linear correlation between FC and adhesion extension, signaling the existence of a reduction in the adhesion extension as the fines of recycled aggregates increase.

Keywords: Rendering. Mortar. Bond. Construction and Demolition Waste. Fines Content.

Resumen

La Construcción Civil genera una gran cantidad de residuos - RCC, requiriendo, además de estudios para ayudar a reducir esta generación, investigaciones para asegurar su reutilización. Se pueden utilizar lo RCC para producir morteros de capa de revoco en sustitución total o parcial de la arena natural. Sin embargo, algunas de las características físicas de los áridos reciclados, como el contenido de materiales finos (CMF), dificultan su uso y pueden dar lugar a manifestaciones patológicas. En cuanto a las capas de revoco de mortero, la adherencia es el principal indicador de rendimiento de estos sistemas. Así, el presente trabajo tiene como objetivo analizar, por medio de una investigación experimental, complementada con el análisis de datos de la literatura, la influencia de CMF de agregados reciclados en la adherencia de capa de revoco. Se utilizaron dos tipos de RCC, mixtos y cementosos, además de arena natural (referencia). Se realizó una amplia caracterización de los áridos, de los morteros en estado fresco y endurecido, además de la evaluación de la extensión y resistencia a la tracción de las capas de revoco aplicadas sobre bloques cerámicos. Como principales resultados, se observó que existe una fuerte correlación entre CMF de agregados y adherencia de recubrimientos. Se obtuvo una función cuadrática para explicar la fuerza de unión en función de CMF. Se constató la existencia de un contenido óptimo de materiales finos en áridos reciclados, en torno al 5%. También se observó una tendencia de correlación lineal inversamente proporcional entre CMF y extensión de la adherencia, lo que indica la existencia de una reducción en la extensión de la adherencia a la medida que aumentan los finos de los agregados reciclados.

Palabras clave: Capa de Revoco. Mortero. Adherencia. Residuos de la Construcción Civil. Contenido de Materiales Finos.

Introdução

A indústria da construção civil possui uma grande importância no cenário econômico brasileiro, sendo reconhecida como uma das mais importantes atividades para o desenvolvimento econômico e social, mas que

acaba gerando grandes impactos sociais, econômicos e ambientais (PINTO, 2005; KARPINSK et al., 2009; GRABASCK, 2016).

Nesse sentido, a construção civil é uma das atividades que mais gera resíduos sólidos urbanos (RSU) no mundo, sendo responsável por 56% do total de RSU gerado no Brasil (ABRELPE, 2019) e, segundo Pinto (2005), um dos grandes desafios do setor é encontrar uma maneira de desenvolver suas atividades produtivas de forma mais sustentável.

Desde 2002 está vigente a resolução CONAMA 307, que é voltada à gestão de resíduos da construção civil (RCC) e há alguns anos vem aumentando a discussão a respeito de questões ambientais, visto que o desperdício de materiais, seja na forma de RCC ou não, significa desperdiçar recursos naturais (BRASIL, 2002; SOUZA et al., 2004).

Em diversos países existe uma grande preocupação com os resíduos oriundos da construção civil (GRABASCK, 2016). De acordo com um levantamento feito em 74 países por Kaza et al. (2018), cerca de 4,28 bilhões de toneladas de RCC são gerados por ano. O Brasil representa cerca de 1% desse total, com a geração anual de aproximadamente 45 milhões de toneladas de RCC e ocupa a 19ª posição de maiores produtores de RCC desta lista, que é liderada pela China.

Segundo Grabasck (2016), existem duas questões centrais que desafiam a gestão de resíduos sólidos no Brasil: o descarte inadequado dos resíduos de construção civil e o tímido aproveitamento do RCC. Ainda pode ser destacada a dificuldade na obtenção de dados sobre a geração de resíduos devido à informalidade ainda presente no setor.

A preocupação com a quantidade de RSU produzida no Brasil levou o Governo Federal a aprovar a Lei nº12.305 (BRASIL, 2010), que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), contendo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, que abrange os variados tipos de RSU, inclusive os gerados pela construção civil, e estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão desses rejeitos.

A geração exacerbada de RCC, além de impactos ambientais, resulta em grandes gastos com o transporte e a disposição final desses resíduos, tanto para o gerador quanto para o poder público. Devido à grande quantidade de RCC gerado, pesquisas sobre o reaproveitamento de RCC se tornaram

comuns nas últimas décadas, mas também é importante destacar que a reciclagem do RCC gera alguns impactos negativos ao meio ambiente, devido as etapas envolvendo transporte e reprocessamento (ANGULO, 2000).

Outro aspecto relevante na construção civil refere-se aos revestimentos de argamassa, método mais convencional de acabamento. Desde o século XIX investiga-se a aderência entre argamassas e substratos, por considerar que esta é a propriedade mais importante dos revestimentos (CARASEK, 1996).

Existem diversas pesquisas sobre processamento do RCC para sua utilização como agregado miúdo na produção de argamassas, com teores de substituição do agregado natural variando de 5% a 100%, se destacando os trabalhos de Levy e Helene (1995), Miranda (2000, 2005), Bavaresco (2001), Angulo (2000), Angulo et al. (2004), Miranda e Selmo (2006), Corinaldesi (2009), Corinaldesi e Moriconi (2009), Neno (2010), Lapa (2011), Martínez et al. (2013), Jiménez et al. (2013), Malta et al. (2013), Ledesma et al. (2014), Girardi (2016), Girardi et al. (2016), Carasek et al. (2018), Pimentel et al. (2018), Andrade et al. (2018), Jesus et al. (2019), Kruger et al. (2020) e Souza et al. (2021).

Os principais desafios envolvendo a utilização de RCC como agregado em argamassas de revestimento estão em suas características físicas, como forma, textura, heterogeneidade e o elevado teor de materiais finos. Sendo este último, para grande parte dos autores, o responsável pelo surgimento de manifestações patológicas como a fissuração, principalmente quando há presença de material cerâmico no resíduo (OLIVEIRA, 2015).

No caso dos agregados reciclados mistos destinados ao preparo de concretos sem função estrutural, a ABNT NBR 15116/2021 limita o teor de finos menores do que 75 μm em 20%. No entanto, para o uso em argamassas, não há nenhuma norma brasileira que apresente requisitos ou estabeleça exigências técnicas mínimas para o seu controle. Isto ocorre apesar de estudos brasileiros mostrarem que a presença de finos pode trazer consequências no desempenho dos revestimentos de argamassa, como fissuras e redução da aderência (MIRANDA; SELMO, 2003).

Por sua vez, a norma europeia EN 13139/2013, limita em, no máximo, 5% o teor de finos (menores do que 63 μm) para o uso em argamassas de revestimento, independentemente da origem dos agregados, seja do processamento natural, manufaturado ou de material reciclado.

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho de revestimentos de argamassa produzidos com RCC quanto à aderência, tanto a resistência de aderência à tração como a extensão de aderência. Visou, portanto, analisar, com base em experimentos realizados pelos presentes autores e também na reunião de dados de outras pesquisas existentes na bibliografia, uma possível correlação entre aderência e teor de material fino (TMF) dos agregados reciclados.

Materiais e métodos

A presente pesquisa contou com uma etapa experimental e posterior complementação de dados investigados na literatura. A pesquisa experimental teve como variável independente o tipo de agregado empregado na produção das argamassas, tendo sido utilizados três tipos: um agregado reciclado misto constituído por materiais cerâmicos e cimentícios; um agregado reciclado de composição apenas cimentícia; e uma areia natural quartzosa, adotada como agregado de referência. Esta variável (tipo de agregado) gerou outra variável na presente pesquisa que foi o TMF dos agregados. Por outro lado, as principais variáveis dependentes, analisadas, foram a resistência de aderência à tração e a extensão de aderência. Os demais ensaios das argamassas, no estado fresco e endurecido, foram utilizados como caracterização das misturas em estudo. A seguir são detalhados os materiais e as etapas da pesquisa.

Materiais

Para produção das argamassas, utilizou-se o cimento Portland tipo CP II Z-32 e cal hidratada do tipo CH-I, além dos três tipos de agregados nomeados da seguinte forma:

- A. Agregado reciclado misto, constituído por materiais cerâmicos e cimentícios;
- B. Agregado reciclado apenas cimentício; e
- C. Agregado natural, constituído de areia quartzosa, proveniente de rio.

Os agregados reciclados foram obtidos em duas indústrias de reciclagem da região metropolitana de Goiânia-GO, produzidos com o mesmo tipo de equipamento.

Na Tabela 1 são apresentadas as principais características do cimento utilizado, fornecidas pelo fabricante.

Tabela 1 – Caracterização do cimento

Propriedade	Método	Resultado
Massa específica (g/cm ³)	NBR 16605/2017	2,98
Finura Blaine (cm ² /g)	NBR 16372/2015	3,54
Resíduo na peneira 75 µm (%)	NBR 11579/2013	2,12
Resíduo na peneira 45 µm (%)	NBR 12826/2014	10,57
Tempo de início de pega (h,min)	NBR 16607/2017	3,28
Tempo de fim de pega (h,min)		4,19
Resistência à compressão (3 dias – MPa)	NBR 7215/2019	27,60
Resistência à compressão (7 dias – MPa)		33,80
Resistência à compressão (28 dias – MPa)		41,90
Teor de MgO (%)	NBR NM 14/2012	3,24
Teor de SO ₃ (%)		2,34

Na Tabela 2 está resumida a caracterização física e química da cal, bem como as especificações mínimas exigidas pela NBR 7175/2003.

Tabela 2 – Caracterização da Cal

Propriedade	Resultado	Limite (NBR 7175/2003)
Finura (% retida acumulada)	Peneira 600 µm	0,26% ≤ 0,5%
	Peneira 75 µm	9,10% ≤ 10%
Plasticidade	120,75	≥ 110
Anidro Carbônico (CO₂)	4,05%	≤ 5%
Óxidos de Ca e Mg não hidratados	5,96%	≤ 10%
Óxidos totais na base de não voláteis	97,04%	≥ 90%

No Gráfico 1 podem ser observadas as curvas granulométricas dos agregados desta pesquisa com a indicação do percentual retido acumulado.

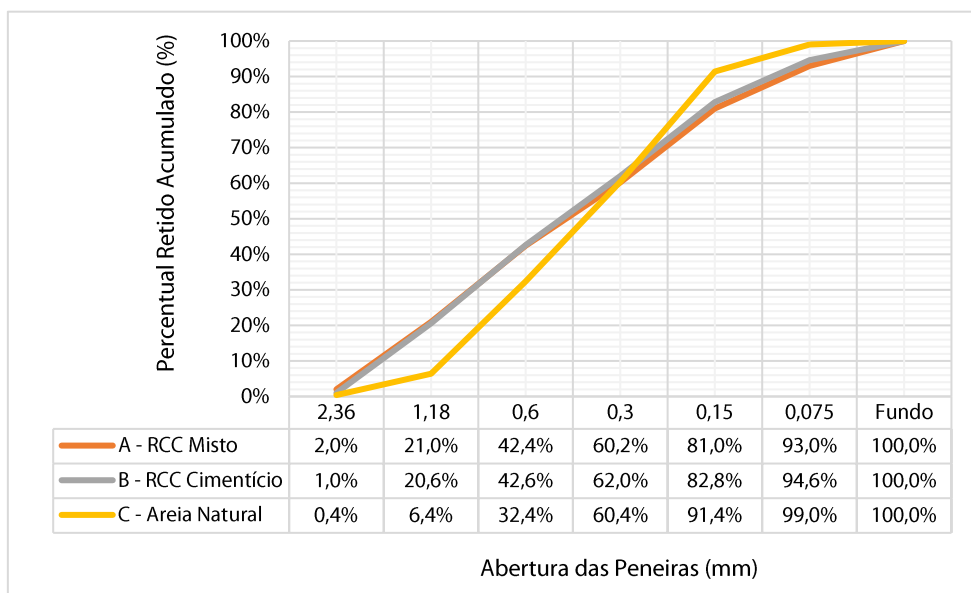


Gráfico 1 – Agregados utilizados na pesquisa

A fim de caracterizar os agregados utilizados, realizaram-se os ensaios descritos na Tabela 3.

Tabela 3 – Caracterização dos agregados

Característica	Metodologia	Resultados		
		A	B	C
Absorção de água (%)	NBR 16916/2021	12	17	3
Massa unitária (g/cm³)	NBR 16972/2021	2,69	2,54	2,73
Massa específica (g/cm³)	NBR 16916/2021	1,46	1,28	1,44
Teor de material fino – TMF (%)	NBR 16793/2021	14	18	4
Dimensão Máxima Característica (mm)	NBR NM 248/2003	2,36	2,36	2,36
Módulo de Finura	NBR NM 248/2003	2,07	2,09	1,91
Coefficiente de Inchamento	NBR 6467/2006 Errata 2:2009	1,66	1,50	1,49

A base escolhida para os revestimentos de argamassa foi um bloco cerâmico de vedação com furos horizontais e dimensões nominais de (9x19x29) cm que atendessem à NBR 15270/2017. Visando reduzir ao máximo a influência das características do substrato nas variações dos resultados de aderência dos revestimentos, os blocos foram criteriosamente selecionados, de um mesmo lote com base nas propriedades geométricas e físicas, bem como pelo índice de absorção de água inicial (AAI), cujos resultados estão compilados na Tabela 4.

Tabela 4 – Caracterização dos blocos cerâmicos empregados como substrato para os ensaios de aderência

	Índice de Absorção de Água - Total	Absorção de Água Inicial (AAI)
Média:	22%	12,5 g/193,55cm ² .min
Desvio Padrão:	0,43%	1,5 g/193,55cm ² .min
C.V.	2%	6%

Produção das argamassas e moldagem dos corpos de prova

Buscou-se manter o teor de finos total das argamassas (que representa o total de finos $\leq 0,75$ mm, provenientes, tanto dos ligantes como dos agregados, conforme índice proposto por Luherta Vargas; Monteverde Comba, (1984) apud Carasek (2010) em $28,5 \pm 1\%$). Assim, o proporcionamento (traço) das argamassas com agregado reciclado, em massa, foi fixado em 1:5,8 (cimento:agregado reciclado) e para a argamassa referência em 1:1:5,8 (cimento:cal:areia), tendo a cal o papel de contribuir também como fino plastificante no caso da argamassa com areia natural, uma vez que a areia natural apresenta um baixo TMF (apenas 4%, enquanto que os agregados reciclados têm TMF superior a 10%). A mistura ocorreu em betoneira de eixo vertical e a relação água/cimento foi fixada em 1,6, garantindo-se, por meio de testes prévios, uma trabalhabilidade adequada para todas as misturas.

A preparação dos blocos cerâmicos consistiu em aspersão de solução de cal a um teor de 14%, 24 horas antes da aplicação dos revestimentos. Imediatamente antes da aplicação da argamassa os blocos foram umedecidos

com água potável, evitando a rápida sucção inicial da água que prejudicaria a formação dos compostos hidratados do cimento.

Adotou-se a espessura de 3 cm para o revestimento, que foi aplicado de forma manual utilizando colher de pedreiro, tendo sido sarrafeado e desempenado. A cada 5 minutos, durante 30 minutos, foi realizada a cura úmida por meio de aspersão de água e, posteriormente, os revestimentos foram mantidos em câmara climática, com temperatura ($23 \pm 2^\circ\text{C}$) e umidade ($75 \pm 10\%$) constantes até o momento do ensaio de resistência de aderência. Na Figura 1 está ilustrada a argamassa aplicada ao substrato já na câmara climática.



Figura 1 – Aplicação da argamassa

Fonte: Autores (2021).

Avaliação da Aderência

Foram realizados ensaios para a avaliação da resistência de aderência à tração e da extensão de aderência das argamassas aplicadas ao substrato cerâmico. Para a resistência seguiu-se as prescrições da NBR 13258/2019, sendo ensaiados 12 corpos de prova (CP). Na Figura 2 é possível observar a execução do ensaio de resistência de aderência à tração, além do aspecto do CP após o ensaio.



Figura 2 – Determinação da resistência de aderência à tração: (a) realização do ensaio; (b) CP após teste.

Fonte: Autores (2021).

Para a obtenção da extensão de aderência aplicou-se a metodologia proposta por Carasek (1996). Assim, foram analisados 12 CPs de cada traço (Figura 3), obtidos por meio de fotografia digital e utilizando o software Adobe Photoshop CS6 para visualização da extensão de aderência entre argamassa e substrato. O procedimento detalhado desses ensaios com as argamassas contendo RCC encontra-se no trabalho de Martins Filho et al. (2019).



Figura 3 – Avaliação da extensão de aderência

Fonte: Autores (2021).

Compilação de dados adicionais

Além dos resultados de aderência obtidos para os revestimentos produzidos na presente pesquisa, foram buscados resultados de outros trabalhos experimentais disponíveis na literatura. O critério de busca foi encontrar estudos experimentais com revestimentos de argamassas produzidas contendo 100% de agregado reciclado e aplicados sobre substratos de blocos cerâmicos sem chapisco, da mesma forma como foi realizado na presente pesquisa. Esta etapa foi realizada uma vez que se identificou, ao analisar os resultados experimentais, uma tendência de relação entre a resistência de aderência e o teor de materiais finos (TMF) dos agregados reciclados; no entanto necessitava-se comprovar a hipótese com uma quantidade razoável de pontos. Dessa forma, foram buscados na literatura trabalhos experimentais que apresentassem resultados de caracterização dos agregados reciclados, com o valor de TMF deles, e também tivessem realizado avaliações da aderência, da resistência à tração e/ou da extensão.

Resultados e discussões

Na Tabela 5 são apresentados os resultados da caracterização das argamassas nos estados fresco e endurecido.

Tabela 5 – Caracterização das argamassas

Estado	Norma	Característica	A	B	C
Fresco	NBR 13278/2005	Densidade de Massa (g/cm ³)	1,95	1,79	1,97
	NBR 13276/2002	Índice de consistência (mm)	258	275	229
	-	Relação água/cimento	1,6	1,6	1,6
	-	Relação água/ materiais secos (%)	23	25	20
	-	Teor de finos totais da argamassa - ligantes e agregados, em massa (%)	29,4	27,7	28,2

Endurecido (28 dias)	NBR 15261/2005	Retração (mm/m)	1,24	1,76	0,89
	NBR 13279/2005	Resistência à tração na flexão (MPa)	1,62 (CV 2%)	1,18 (CV 15%)	2,15 (CV 2%)
	NBR 13279/2005	Resistência à compressão (MPa)	5,2 (CV 0,2%)	2,7 (CV 3%)	5,4 (CV 3%)
	NBR 13258/2019	Resistência de Aderência à Tração (MPa)	0,15 (CV 28%)	0,10 (CV 34%)	0,14 (CV 23%)
	-	Tipo de Ruptura	100% Sub/Rev	100% Sub/Rev	100% Sub/Rev
	-	Extensão de Aderência (%)	70,7 (CV 1,5%)	67,0 (CV 3,6%)	78,3 (CV 2,1%)

A partir da análise dos resultados obtidos com as argamassas, observa-se que existe uma propensão de aumento da retração das argamassas com o aumento da relação água/materiais secos e, no caso das argamassas com agregados de RCC (Traços A e B), com a relação água/cimento, uma vez que o cimento é o único ligante delas. O aumento da relação a/c pode ser explicado pelo aumento do TMF dos agregados, sendo necessário mais água para garantir a trabalhabilidade adequada das argamassas. Essa alteração da relação a/c explica também os resultados de resistência à compressão e de resistência à tração na flexão.

Também, com base nos resultados experimentais, notou-se uma tendência de queda da resistência de aderência com o aumento do TMF dos agregados reciclados. Como na presente pesquisa estavam disponíveis apenas dois resultados, foram buscados dados na literatura que pudessem comprovar ou refutar essa hipótese.

Na Tabela 6 são apresentados os resultados obtidos dessa pesquisa na bibliografia, onde foram compilados resultados de outros autores que estudaram revestimentos de argamassas produzidas com 100% de agregado reciclado também aplicadas sobre substratos de blocos cerâmicos sem chapisco. Nesse caso, agruparam-se os valores médios de resistência de aderência à tração com os respectivos valores de teor de material fino (TMF) dos agregados de RCC.

Tabela 6 – Compilação de resultados de resistência de aderência à tração com respectivos valores de TMF dos agregados reciclados

Autor	Agregado Reciclado	TMF (%)	Resistência de Aderência à Tração (MPa)
Bavaresco (2001)	Misto (Cimentício e Cerâmico)	7,2	0,26
Bavaresco (2001)	Cimentício	5,8	0,34
Martínez et al. (2013)	Cerâmico	13,0*	0,4*
Martínez et al. (2013)	Concreto	8,0	0,28
Martínez et al. (2013)	Misto (Cimentício e Cerâmico)	12,0	0,32
Silva et al. (2011)	Misto (Cimentício e Cerâmico)	16,7	0,09
Silva et al. (2011)	Misto (Cimentício e Cerâmico)	17,9	0,06
Pesquisa atual	Misto (Cimentício e Cerâmico)	14,0	0,15
Pesquisa atual	Cimentício	18,0	0,10

No gráfico de dispersão (Gráfico 2) elaborado com os dados levantados na literatura e os resultados da presente pesquisa (Tabela 6), observa-se existir uma correlação entre a resistência de aderência à tração e o TMF, com uma tendência de função quadrática. O dado marcado de amarelo no gráfico foi considerado espúrio. Ele também está marcado na Tabela 6 com um asterisco e justifica-se a sua retirada também por se tratar do único ponto disponível referente a agregado reciclado de composição totalmente cerâmica na base de dados estudada.

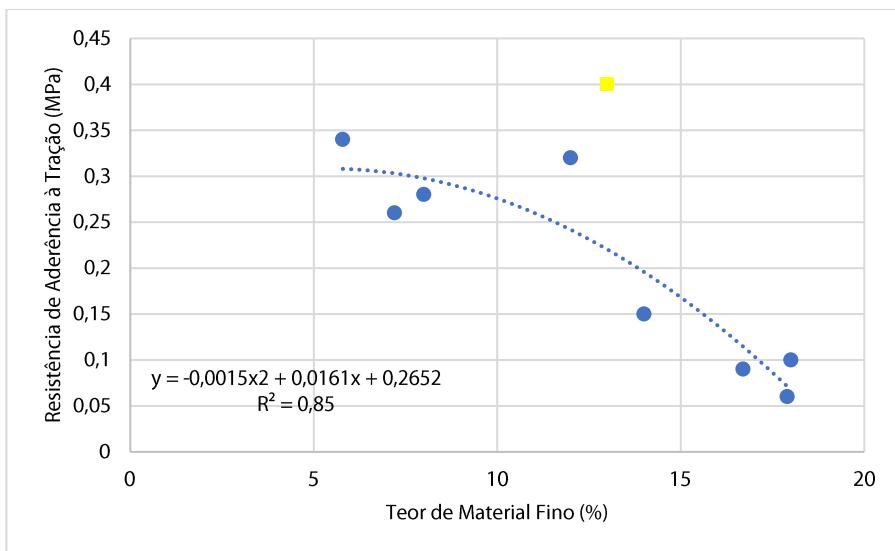


Gráfico 2 – Correlação entre resistência de aderência e TMF de agregados reciclados

O gráfico corrobora que há um percentual ótimo de TMF para os agregados reciclados. De acordo com os dados coletados, este valor está próximo a 5% (em massa), teor em que se obtém maiores valores de resistência de aderência à tração; no gráfico as coordenadas do vértice – ponto de máximo da função – são (5,4, 0,31). Ao extrapolar este limite, incrementando o TMF, há uma redução da resistência de aderência. Esta afirmação é balizada pelo coeficiente de determinação obtido $R^2 = 0,85$.

Destaca-se que quando o TMF supera 14% atinge-se a resistência de aderência mínima para revestimentos internos (0,20 MPa, conforme a NBR 13258/2019). Essa correlação é válida considerando a necessidade de finos plastificantes nas argamassas, os quais garantem uma trabalhabilidade adequada. Por sua vez, os teores elevados, apesar da boa trabalhabilidade, exigem maior quantidade de água, com consequente aumento da relação água/cimento, tornando a argamassa mais porosa e com menor resistência de aderência à tração e maior retração.

Com relação à extensão de aderência, observa-se que nos revestimentos produzidos, o maior valor foi obtido, como esperado, foi para o revestimento de referência (C), com redução de, aproximadamente, 14% para o revestimento B (RCC Cimentício) e de 10% para o A (RCC Misto). No Gráfico 3 apresenta-se a relação encontrada entre a extensão de aderência das argamassas e o teor de material fino dos agregados. Nesse caso, não foram encontrados outros resultados de extensão de aderência na literatura, uma vez que esse tipo de avaliação não é convencional. Assim, o gráfico foi construído apenas com os dados obtidos no presente experimento.

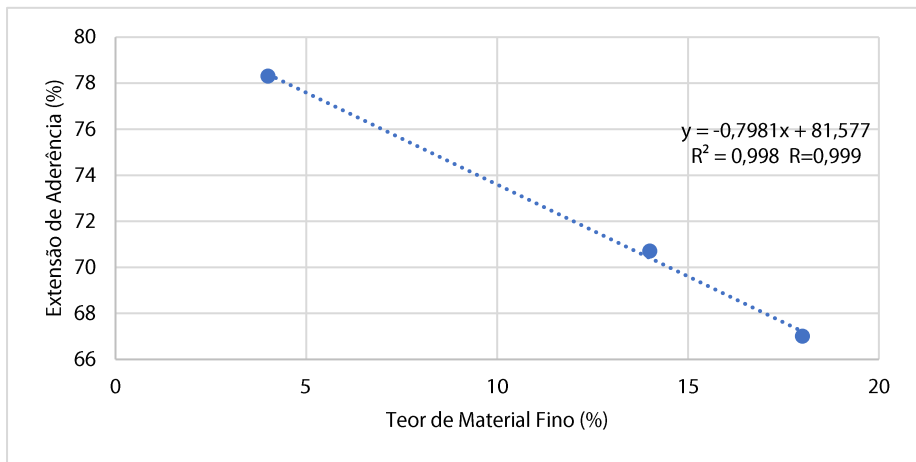


Gráfico 3 – Correlação entre extensão de aderência e o teor de material fino (TMF)

O valor do coeficiente de correlação de Pearson (R) foi muito próximo de 1,0; indicando uma correlação muito forte e que o teor de material fino do agregado pode influenciar de maneira inversamente proporcional na extensão de aderência dos revestimentos. No entanto, como são disponíveis apenas três pontos no gráfico, não é possível a validação dessa hipótese sinalizada, ficando esta afirmação limitada aos resultados do presente estudo, sendo um interessante tema para futuras pesquisas.

Ressalta-se que esse comportamento, encontrar relação entre extensão de aderência dos revestimentos e TMF dos agregados é lógico, uma vez que também foi encontrada correlação entre resistência de aderência e TMF. No trabalho de Carasek et al. (2014), apesar de se tratar de um sistema diferente

do estudado na presente pesquisa, em que foram investigadas argamassas de cal e azulejos históricos, existe a comprovação da correlação diretamente proporcional entre a resistência de aderência e a extensão de aderência.

Diante dos resultados obtidos, pode-se sugerir que o máximo de finos dos agregados de uma argamassa de revestimento seja limitado a 10%. Isto porque este valor, acima do teor ótimo (5%), ainda apresentou bons resultados de resistência de aderência (superiores a 0,20 MPa) e também valores de extensão de aderência adequados (superiores a 70%). Ademais o valor máximo de 10%, apesar de superior ao prescrito pela norma europeia EN 13139/2013 (máximo 5%) está abaixo do valor limite, de 20%, da NBR 15116/2021 que, apesar de se tratar da aplicação em concreto, é a única norma brasileira a respeito do assunto. Recomenda-se também que o percentual de substituição do agregado natural por RCC seja definido visando limitar o teor total de finos provenientes dos agregados, visto que o TMF do agregado natural é consideravelmente inferior ao dos agregados de RCC. Outra alternativa é trabalhar com o agregado reciclado lavado (NASCIMENTO; SELMO, 2007; MIRANDA, 2000; MIRANDA, 2005; SELMO, 1989), no entanto, nesse caso, deve-se garantir que os processos envolvendo a lavagem do agregado reciclado sejam sustentáveis.

Conclusão

Com base nos resultados apresentados, restrito a agregados de RCC mistos e cimentícios, percebe-se que há uma forte correlação entre o teor de materiais finos (TMF) desses agregados e a aderência dos revestimentos de argamassa produzida com eles.

Quanto à resistência, obteve-se uma função polinomial de 2º grau para explicar a resistência de aderência à tração em função do TMF dos agregados reciclados, com um coeficiente de determinação igual a 0,85. Assim, observou-se a existência de um teor ótimo de materiais finos nos agregados de RCC, em torno de 5%. Essa correlação é válida considerando a necessidade de finos plastificantes nas argamassas, os quais garantem uma trabalhabilidade adequada que permite um contato efetivo entre ela e o substrato. Por sua vez, os teores elevados, apesar da boa trabalhabilidade,

exigem maior quantidade de água, com consequente aumento da relação água/cimento, tornando a argamassa mais porosa e com menor resistência de aderência à tração, além de poder aumentar a sua retração.

Observou-se também a tendência de correlação linear inversamente proporcional significativa entre o TMF dos agregados e a extensão de aderência. Apesar de um altíssimo coeficiente de determinação encontrado, próximo a 1,0, sinalizando a existência de uma redução da extensão de aderência à medida que se aumenta o TMF, são necessárias mais pesquisas, uma vez que ainda se dispõem de poucos resultados experimentais de extensão de aderência.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio financeiro do MCTI – Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações para o projeto Inovação e Sustentabilidade na Construção Civil: Gestão e Reaproveitamento de Resíduos de Construção.

Referências

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 6467:2006 Errata 2: Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo - Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 7175: Cal hidratada para argamassas - Requisitos*. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2019.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 11579: Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200)*. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 12826: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação do índice de finura por meio de peneirador aerodinâmico*. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 13258-3*: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Parte 3: Aderência superficial. Rio de Janeiro, 2019.

ABNT: 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, 2002.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 13278*: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e o teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 13279*: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 15116*: Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland - Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2021.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 15261*: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da variação dimensional (retratação ou expansão linear). Rio de Janeiro, 2005.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 15270*: Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria. Rio de Janeiro, 2017.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 16372*: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (método de Blaine). Rio de Janeiro, 2015.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 16605*: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 16607:2017 Emenda 1*: Cimento Portland - Determinação dos tempos de pega. Rio de Janeiro, 2017.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 16793*: Agregados - Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 μm por lavagem. Rio de Janeiro, 2021.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 16916: Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água*. Rio de Janeiro, 2021.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 16972: Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios*. Rio de Janeiro, 2021.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR NM 14: Cimento Portland - Análise química - Método de arbitragem para determinação de dióxido de silício, óxido férrico, óxido de alumínio, óxido de cálcio e óxido de magnésio*. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro, 2003.

ABRELPE: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2018/2019*. Abrelpe. São Paulo, SP, 2019.

ANDRADE, J.J.O., POSSAN, E., SQUIAVON, J.Z., ORTOLAN, T.L.P. Evaluation of mechanical properties and carbonation of mortars produced with construction and demolition waste. *Construction and Building Materials*, v. 161, 2018.

ANGULO, S. C. *Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados*. 2000. 172f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ANGULO, S. C.; JOHN, V. M.; ULSEN, C.; KALUN, H. *Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados separados por líquidos densos*. I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável – X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo, 2004.

BAVARESCO, C.R. *Utilização de entulho reciclado para produção de argamassas*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

BRASIL. Lei Federal no 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, 2 ago. 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução no 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, no 136, 17 de julho de 2002.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. *EN 13139 - Aggregates for mortar*. London, 2013.

CARASEK, H. *Aderência de Argamassas à Base de Cimento Portland a Substrato Porosos: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação*. 1996. 285 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

CARASEK, H. Argamassas. In: Isaia, G. C. (ed.). *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais*. São Paulo: IBRACON, 2010. p. 892-944.

CARASEK, H.; GIRARDI, A.C.C.; ARAÚJO, R.C.; ANGELIM, R.; CASCUDO, O. Estudo e avaliação de agregados reciclados de resíduo de construção e demolição para argamassas de assentamento e de revestimento. *Cerâmica*, v. 64, p. 288-300, 2018.

CARASEK, H.; JAPIASSÚ, P.; CASCUDO, O.; VELOSA, A. Bond between 19th Century lime mortars and glazed ceramic tiles. *Construction and Building Materials*, v. 59, p. 85-98, 2014.

CORINALDESI, V. Mechanical behavior of masonry assemblages manufactured with recycled-aggregate mortars. *Cement & Concrete Composites* 31: Elsevier, 2009.

CORINALDESI, V.; MORICONI, G. Behavior of cementitious mortars containing different kinds of recycled aggregate. *Construction and Building Materials*: Elsevier, 2009.

GIRARDI, A.C.C. *Avaliação da Substituição Total de Areia Natural por RCD em Revestimentos de Argamassa*. 2016. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, 2016.

GIRARDI, A.C.C.; MOREIRA, L.; MARTINS FILHO, P.C.; CARASEK, H. *Substituição total da areia natural por Resíduos de Construção e Demolição na produção de argamassas de revestimento*. In: 58º Congresso Brasileiro do

Concreto, 2016, Belo Horizonte. Instituto Brasileiro do Concreto. São Paulo: IBRACON, 2015. v. 1. p. 1-16.

GRABASCK, J. R. *Aspectos e impactos ambientais decorrentes da extração de agregado natural e produção de agregado reciclado: estudo de caso no RS*. São Leopoldo, 2016. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo. 2016.

JESUS, S. MAIA, C. FARINHA, C.B., BRITO, J., VEIGA, R. Rendering mortars with incorporation of very fine aggregates from construction and demolition waste. *Construction and Building Materials*, v. 229, 2019.

JIMÉNEZ, J. R.; AYUSO, J.; LÓPEZ, M.; FERNÁNDEZ, J.M.; DE BRITO, J. Use of fine recycled aggregates from ceramic waste in masonry mortar manufacturing. *Construction & Building Materials*, v. 40, p. 679-690, 2013.

KARPINSK, L. A. et al. *Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental*. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2009.

KAZA, S.; YAO, L.C.; BHADA-TATA, P.; VAN WOERDEN, F. *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Urban Development. Washington, DC: World Bank, 2018.

KRUGER, P. et al. Influência do teor de material pulverulento (<75 µm) do agregado miúdo de resíduos de construção e demolição em argamassas de cimento Portland. *Cerâmica*, São Paulo, 66 (380), 2020.
<https://doi.org/10.1590/0366-69132020663802976>.

LAPA, J. S. *Estudo de viabilidade técnica de utilização em argamassa do resíduo de construção oriundo do próprio canteiro de obra*. Dissertação. Universidade Federal de Minas Gerais – Escola de Engenharia. Belo Horizonte: UFMG, 2011.

LEDESMA, E. F. et al. Properties of masonry mortars manufactured with fine recycled concrete aggregates. *Construction and Building Materials* 71: Elsevier, 2014.

LEVY, S.M.; HELENE, P.R.L. *Reciclagem de entulhos na construção civil, a solução política e ecologicamente correta*. In: I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1995, Brasil.

MALTA, J.O.; SILVA, V.S.; GONÇALVES, J.P. Argamassa contendo agregado miúdo reciclado de resíduo de construção e demolição. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais* p. 176 a 188, 2013.

MARTÍNEZ, I.; ETXEBERRIA, M.; PAVON, E.; DÍAS, N. A comparative analysis of the properties of recycled and natural aggregate in masonry mortars. *Construction and Building Materials* 49: Elsevier, 2013.

MARTINS FILHO, P.C.; GIRARDI, A.C.C.; CARASEK, H. *Extensão de aderência em revestimentos de argamassa contendo resíduos de construção*. In: XIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2019, Goiânia. Anais do XIII SBTA - Goiânia - 2019, 2019. p. 617-624.

MIRANDA, L.F.R. *Estudos de fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado*. 2000. 190 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia e Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000.

MIRANDA, L.; SELMO, S. Argamassa com areia de entulho reciclado. *Revista Técnica*. São Paulo, v. 74, p. 68-71, maio, 2003.

MIRANDA, L.F.R. *Contribuição ao desenvolvimento da produção e controle de argamassas de revestimento com areia reciclada lavada de resíduos Classe A da construção civil*. 2005. 473 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia e Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.

MIRANDA, L.F.R.; SELMO, S.M.S. CDW recycled aggregate reinterings: part 1 – analysis of the effect of materials finer than 75 μm on mortar properties. *Construction and Building Materials* n. 20, p. 615-624: Elsevier, 2006.

NASCIMENTO, R.A.; SELMO, S.M.S. *Produção de areia reciclada lavada de resíduos classe A da construção civil: contribuição ao desenvolvimento de processo via úmida na usina de Socorro/SP, São Paulo 2007*. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, 207.

NENO, C.J.F. *Desempenho de argamassas com incorporação de agregados finos provenientes da trituração do betão: Integração de RCD*. 2010. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2010.

OLIVEIRA, R.P. *Estudo da influência do teor de finos dos agregados reciclados mistos nas propriedades de argamassas de revestimento*. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. 2015.

PIMENTEL, L.L. et al. Argamassa com areia proveniente da britagem de resíduo de construção civil – Avaliação de características físicas e mecânicas. *Matéria*, Rio de Janeiro, v. 23, n. 1, e-11969, 2018.
<http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620170001.0305>.

PINTO, T.P. (Coord.) *Gestão ambiental de resíduos da construção civil: a experiência do Sinduscon-SP*, São Paulo: Obra Limpa: I&T: Sinduscon-SP, 2005.

SELMO, S.M.S. *Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo de fachada de edifícios*. 1989. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SILVA, E.C.R.; BEZERRA, A.J.; SILVA, C.F.C.; MIRANDA, L.F.R. *Desempenho de revestimento de argamassa com areias recicladas produzidas em canteiros de obras*. IX Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassa. Belo Horizonte, 2011.

SOUZA, F.S., CARVALHO, J.M., SILVEIRA, G.G., ARAÚJO, V.C., PEIXOTO, R.A.F. Application of Construction and Demolition Waste in Civil Construction in the Brazilian Amazon—Case Study of the City of Rio Branco. *Materials*, v.14, 2021.

SOUZA, U.E.L. et. al., Diagnóstico e combate à geração de resíduos na produção de obras de construção de edifícios: uma abordagem progressiva. *Ambiente Construído*, v.4, n° 4, p.33-46, 2004.