

Avaliação da substituição total de areia natural por RCC em argamassa de assentamento

Evaluation of total replacement of natural sand by CDW in masonry mortars

Luciano Bernardon(1); Jackson Luís Waechter(2); Rodrigo de Almeida Silva(3); Richard Thomas Lermen(4); Jéssica Flesch Novaes(5)

1 IMED, Passo Fundo, RS, Brasil.

E-mail: luciano_bernardon@hotmail.com

2 IMED, Passo Fundo, RS, Brasil.

E-mail: jacksonlwaechter@gmail.com

3 IMED, Passo Fundo, RS, Brasil.

E-mail: rodrigo.silva@imed.edu.br

4 IMED Passo Fundo, RS, Brasil.

E-mail: richard.lermen@imed.edu.br

5 IMED Passo Fundo, RS, Brasil.

E-mail: jessicafleschn@gmail.com

Revista de Arquitetura IMED, Passo Fundo, vol. 9, n. 2, p. 173-192, julho-dezembro, 2020 - ISSN 2318-1109

DOI: <https://doi.org/10.18256/2318-1109.2020.v9i2.4003>

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*

Editora-chefe: Grace Tibério Cardoso

Como citar este artigo / How to cite item: [clique aqui! / click here!](#)

Resumo

A alta geração de resíduos da construção civil (RCC) e os problemas causados pela destinação incorreta deste resíduo, assim como a escassez dos recursos naturais faz crescer o número de estudos para reaproveitar o RCC em matrizes cimentícias. Contudo, poucos estudos são efetuados nos agregados reciclados finos (menor que 4,75mm) não beneficiados. O objetivo deste trabalho é avaliar a utilização da parte fina do RCC como substituição total da areia natural em argamassas de assentamento, realizando a caracterização dos agregados e das propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido e verificando a influência temporal do resíduo durante um período de seis meses. Foram confeccionadas 7 argamassas, uma com o agregado natural, e outras seis, considerando uma para cada mês de coleta do resíduo, com a substituição total do agregado natural pelo agregado reciclado. O traço utilizado nas argamassas foi de 1:1:6 (cimento: cal: agregado), em massa. Os resultados mostram que as argamassas com agregado reciclado tiveram resultados inferiores para a densidade, retenção de água, resistência à tração e à compressão e superiores para absorção de água por capilaridade quando comparado com a argamassa com agregado natural. Em geral, os agregados reciclados se mantiveram constantes ao longo do tempo analisado. Contudo, os agregados reciclados atingiram limites superiores ao mínimo permitido por normas brasileiras, sendo uma alternativa viável a sua utilização em argamassas de assentamento.

Palavras-chave: Resíduo da construção civil (RCC). Argamassa de assentamento. Agregado miúdo reciclado.

Abstract

The high generation of construction waste (CW) and the problems caused by the incorrect disposal of this waste as well as the scarcity of natural resources increase the number of studies to reuse CW in cementitious matrices. However, few studies are performed on non-processed fine recycled aggregates (less than 4.75mm). The objective of this work is to evaluate the use of the thin section of the CW as a total substitution of natural sand in masonry mortars by characterizing aggregates and mortar properties in the fresh and hardened state and checking temporal influence of the residue for six months. Seven mortars were made, one with the natural aggregate, and another six for each month of waste collection, with the total replacement of the natural aggregate by the recycled aggregate. The mix used in mortars was 1: 1: 6 (cement: lime: aggregate) by mass. The results show that recycled aggregate mortars had lower results for density, water retention, flexural and compressive strength and superior results for capillary water absorption when compared to natural aggregate mortar. In general, recycled aggregates remained constant over time analysed. However, the recycled aggregates have reached limits above the minimum allowed by Brazilian standards, being a viable alternative to their use in mortars.

Keywords: Construction waste (CW). Masonry mortar. Recycled fine aggregate.

1 Introdução

A construção civil é uma das atividades mais antigas que se tem conhecimento e desde os primórdios gera grande quantidade de resíduos (INSLAM et al, 2019). É um dos setores ainda com muitas restrições no sentido de reaproveitamento de materiais e utilização de novas técnicas, é responsável por impactos ambientais, sociais e econômicos e muito da parcela negativa é em razão da disposição irregular do resíduo da construção civil (RCC) (BRASILEIRO; MATOS, 2015; RIBEIRO et al, 2016; MORAES, 2018). O RCC é gerado a partir de novas construções, demolições, reparos, preparação e escavação do solo e possui composição variada, podendo ser constituído de materiais como cerâmica, concreto, argamassas, rochas naturais, vidros, asfalto, entre outros (FERNANDEZ, 2018).

É sabido que um dos principais propiciadores da geração de RCC no século XXI será o crescimento urbano, pois se estima que até meados de 2050, aproximadamente 70% da população mundial será urbana, contrastando duramente aos 54% nos dias de hoje (UNITED NATIONS, 2014). Todos os países, principalmente os desenvolvidos e os em desenvolvimento, estão sofrendo com o excesso de geração de resíduos da construção civil, pois é muito difícil, pensando nas técnicas atuais, que haja crescimento econômico sem que haja também um aumento do RCC (BRASILEIRO; MATOS, 2015; BAKCHAN et al., 2019).

Em virtude do aumento da população nas cidades, a expansão da construção, demolição e reconstrução de edifícios a geração de RCC vem aumentando consideravelmente (YUAN; SHEN, 2011). Devido ao alto percentual do RCC no grupo de resíduos sólidos urbanos (RSU), esses resíduos precisam ser tratados com atenção especial para o entendimento quantitativo e qualitativo para possíveis aplicações para sua reutilização (BOVEA; POWELL, 2016).

No ano de 2018, os municípios brasileiros coletaram aproximadamente 44,5 milhões de toneladas de RCC, sendo que boa parte dos resíduos não tem a sua disposição final correta (ABRELPE, 2019). Quando disposto incorretamente, o resíduo produz impactos negativos como degradação e poluição do solo, comprometimento dos corpos de água e mananciais, obstrução de drenagem, intensificação de enchentes, degradação da paisagem urbana, ocupação de vias e logradouros públicos, proliferação de moscas, baratas, ratos e outros vetores de importância sanitária nos centros urbanos (KLEIN; DIAS, 2017; PINTO, 2005; LOPES, 2015; MAGALHÃES et al., 2017).

Os impactos ambientais e econômicos causados pela disposição de grandes quantidades de resíduos gerado pela construção civil fez com que fosse necessária a gestão deste resíduo a partir de sua reutilização e reciclagem (BAKCHAN et al, 2019). A prática de reutilização e reciclagem de RCC surgiu depois da segunda guerra mundial, na Europa, devido à destruição de muitas edificações que haviam sido bombardeadas

que acarretou a escassez de áreas para disposição final dos resíduos de construção (SORMUNEN; KÄRKI, 2019; RIBEIRO 2017).

A reutilização com aplicações diretas na própria construção civil, viabiliza a redução da exploração de jazidas com recursos naturais não renováveis. Além disso, contribui para a ampliação da vida útil dos aterros, especialmente em centros urbanos, onde a construção civil atua com maior intensidade e há escassez de área para deposição (LARUCCIA, 2014; BRASILEIRO, 2015; KLEIN; DIAS, 2017). A reciclagem de RCC como matéria-prima em novos produtos traz benefícios econômicos para as cidades em que é implantada, pois o custo do produto reciclado pode ser bem menor do que o valor considerado para o processo de exploração da matéria prima natural, por exemplo o agregado graúdo. Além da redução do impacto ambiental, uma vez que se tem uma redução no volume de resíduos que é descartado nos aterros industriais (MAGALHÃES, 2017; MEDEIROS, 2018).

A construção civil demanda, por natureza, uma grande quantidade de areia. Sendo ela utilizada essencialmente como agregado miúdo para a produção de matrizes cimentícias. No Brasil, a construção civil consumiu cerca de 349 milhões de toneladas de areia para o ano de 2015 (DNPM, 2016). A areia é extraída, principalmente, dos leitos dos rios e quando feita em demasia, causa desequilíbrio na dinâmica fluvial modificando as condições do canal a montante, jusante e lateralmente, impactando diretamente nos ecossistemas (OLIVEIRA; MELLO, 2007).

Devido ao aumento do consumo de matérias primas não renováveis, passaram a surgir leis e resoluções que abordam a elaboração de planos de gerenciamento de resíduos sólidos e com isso houve uma elevação da consciência ambiental. Essas medidas dão fomento a novos estudos que propiciam o reaproveitamento de materiais, fazendo com que sejam reincorporados nos processos da construção civil, inclusive. Exemplo disto são os estudos de Taveira (2010), Yuan e Shen (2011), Lucas (2015), Girardi (2016), Fernandez (2018), Shi et al. (2019), Moraes (2018), Wu et al. (2019).

São encontrados diferentes comportamentos de argamassas com RCC que são causados por diferenças em diversas propriedades físicas da areia reciclada, como granulometria, teor de finos e absorção de água (LI et al, 2016). Esta variabilidade nas propriedades dos agregados reciclados é devido à composição do resíduo processado, do equipamento utilizado entre outros fatores (NENO, 2010).

O RCC pode possuir até vinte vezes mais finos que um agregado convencional, massa específica e unitária em sua maioria, menores que o agregado convencional (MACHADO, 2014; DHIR et al, 2019). Devido a essas propriedades do RCC, quando aplicado em argamassas, é a possível ocorrência de retração e perda de massa em virtude da saída de água dos poros e à carbonatação, respectivamente (MIRANDA, 2005).

Vários estudos foram realizados em argamassas, nos quais ocorreram substituição parcial ou integral dos agregados naturais por agregados reciclados na

produção de argamassas de alvenaria. Como Vegas et al., (2008); que concluiu que as argamassas podem conter até 25% de agregado miúdo reciclado; Jiménez et al., (2013) incorporaram até 40% de resíduos cerâmicos; Corinaldesi e Moriconi (2009) avaliaram a substituição em 100% de resíduos de concreto pré-fabricado, resíduos de cerâmica e resíduos de uma usina de reciclagem; Martínez et al., (2013) substituiu 100% da areia natural por resíduos; Ferreira et al. (2019) substituíram diferentes agregados reciclados, com diferentes proporções de substituição a areia natural; Cuenca-Moyano et al. (2020) determinaram a influência de parâmetros sobre o estado fresco e endurecido das argamassas, sendo que o principal fator de influência foi a relação água/cimento; Jesus et al (2019) analisaram o comportamento de argamassas com a incorporação de agregados reciclados finos chegando a resultados nessas argamassas com desempenho melhor do que a argamassa de referência.

Poucos estudos são efetuados em resíduos não beneficiados, que constitui os finos gerados durante as obras de construção, demolição e transporte. O uso deste material é pouco explorado na literatura, não estando abordados de forma clara os efeitos que estas variações podem causar no desempenho de produtos gerados com estes resíduos.

Visando ampliar as possibilidades de utilização de reaproveitamento do RCC, este trabalho tem como objetivo avaliar a possibilidade de utilização dos resíduos finos de construção civil através do estudo das propriedades das argamassas para assentamento, considerando a substituição total do agregado natural por agregado reciclado, produzido em uma usina de triagem de uma cidade de aproximadamente 200.000 habitantes, caracterizando o agregado reciclado para aplicação em argamassas de assentamento, comparando as propriedades das argamassas em relação à referência e verificando a influência temporal na coleta do resíduo.

2 Programa experimental

2.1 Aglomerantes

Foram utilizados como aglomerantes o cimento Portland tipo CP II Z, que é um cimento comercial largamente utilizado na região, e cal hidratada do tipo CH-II DB, dita pelo fabricante que cumpre com as exigências físicas e químicas de caracterização mínima especificada pela NBR 7175 (ABNT, 2003).

2.2 Agregados

Foram utilizados dois tipos de agregados: areia natural (AN) e areia reciclada (AR) proveniente de resíduo da construção civil de uma planta de reciclagem na cidade de Passo Fundo/RS. A AR foi coletada de pilhas depois de ser peneirado para

remover partículas maiores que 4,75 mm na própria planta de reciclagem. Antes do peneiramento foram retirados, manualmente, materiais como vidros, plásticos e gesso. Tendo em vista que a AR é um material heterogêneo e que sua composição depende dos tipos e das quantidades de obras que são realizados na região onde é feita a retirada, foi realizado uma coleta para cada mês durante um período de seis meses a fim de avaliar a variabilidade do resíduo ao longo do tempo.

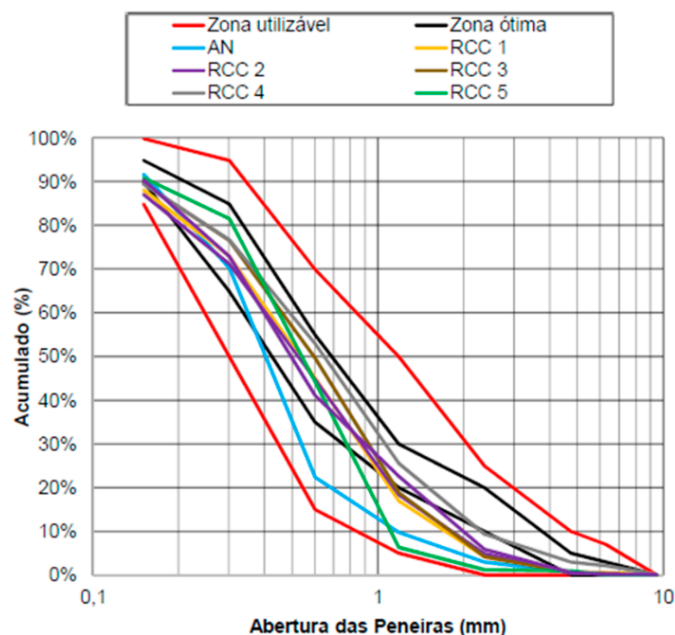
A Tabela 1 apresenta as propriedades físicas assim como as nomenclaturas adotadas para cada coleta. Os agregados reciclados apresentaram módulo de finura, índice de vazios, teor de material pulverulento e perda ao fogo maiores e massa unitária, massa específica, grau de compacidade menores do que a AN. Esses resultados são similares ao encontrados por Ledesma et al. (2015), Ferreira (2019) e estão dentro dos limites estabelecidos pela norma brasileira NBR 15116 (ABNT, 2004).

Na Figura 1 é mostrada a distribuição granulométrica da AN e dos agregados reciclados, determinado de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003) em comparação com a zona ótima e utilizável da NBR 7211 (ABNT, 2005). É possível observar que todos os agregados analisados ficaram dentro da zona utilizável, sendo que o RCC4 permaneceu dentro da zona ótima da norma brasileira.

Tabela 1. Características físicas dos agregados

ENSAIOS	Procedimento	AGREGADOS						
		AN	RCC1	RCC2	RCC3	RCC4	RCC5	RCC6
Diâmetro máximo característico (mm)	NBR NM 248:2003	2,36	2,36	2,36	2,36	4,75	2,36	4,75
Módulo de finura	NBR NM 248:2003	1,98	2,28	2,27	2,40	2,57	2,25	2,33
Massa unitária (g/cm ³)	NBR NM 45:2006	1,598	1,252	1,299	1,254	1,243	1,201	1,294
Massa específica (g/c ³)	NBR NM 52:2009	2,607	2,343	2,336	2,381	2,419	2,411	2,354
Índice de vazios	-	0,631	0,871	0,798	0,898	0,946	1,000	0,819
Grau de compacidade	-	0,612	0,534	0,556	0,526	0,513	0,498	0,549
Teor de material pulverulento (%)	NBR NM 46:2003	3,00	8,80	9,80	8,18	9,00	10,62	10,00
Perda ao fogo (%)	-	0,353	9,213	9,138	8,320	8,762	8,643	8,808
Umidade (%)	-	0,113	1,319	1,279	1,448	1,183	0,994	1,500

Fonte: Autores (2019).

Figura 1. Análise granulométrica dos agregados

Fonte: Autores (2019).

Na Tabela 2 são mostradas as análises químicas de 3 AR por espectrometria de fluorescência de raio X (FRX). É possível analisar que a AR teve pouca variação na sua composição entre as amostras analisadas com grande concentração de SiO_2 , CaO , Al_2O_3 e Fe_2O_3 . O silício é o elemento mais mineralizado da estrutura de quartzo nas areias (FILHO, 2018) sendo que o SiO_2 foi o composto que teve a maior concentração nas três amostras com AR, sugerindo que a AR tem características para a substituição da AN.

Tabela 2. Composição químicas das amostras

Composto	RCC1	RCC3	RCC6
	Valor (%)	Valor (%)	Valor (%)
SiO_2	64,88	69,89	57,31
CaO	13,66	15,79	24,24
Al_2O_3	5,89	5,51	6,31
Fe_2O_3	4,07	2,87	4,38
SO_3	2,00	1,98	2,52
K_2O	1,62	1,85	2,04
MgO	1,69	1,31	2,1
TiO_2	0,84	0,46	0,73
Outros	0,35	0,35	0,31

Fonte: Autores (2019).

2.3 Produção de argamassas

Foram produzidos sete diferentes tipos de argamassa, uma argamassa apenas com areia natural e as outras seis argamassas, uma para cada mês de coleta do resíduo, com substituição total da areia natural pelo agregado reciclado.

O traço utilizado na confecção das argamassas foi de 1:1:6 (cimento, cal e agregado miúdo), em massa, com índice de consistência no valor de 260 ± 20 mm, sendo ajustada a quantidade de água para atingir o índice de consistência desejado. A Tabela 3 mostra a nomenclatura adotada para cada argamassa, traço e as relações de água/cimento (a/c) utilizadas.

É possível observar que as argamassas com agregado reciclado tiveram um aumento na relação a/c em comparação com a argamassa com agregado natural. Esse comportamento é devido ao agregado reciclado possuir maior quantidade de material pulverulento e matéria orgânica, absorvendo mais água que o agregado natural. Esse comportamento pode ser observado em estudos anteriores (FERREIRA et al., 2019).

Tabela 3. Nomenclatura e traço das argamassas

Data da coleta	Amostra	Traço cimento:cal:areia	Agregado miúdo	Relação a/c	Consistência (mm)
Agosto/18	NA	1:1:6	Areia natural	1,18	264
Agosto/18	RCC1	1:1:6	Areia reciclada	1,92	268
Setembro/18	RCC2	1:1:6	Areia reciclada	1,87	260
Outubro/18	RCC3	1:1:6	Areia reciclada	1,86	267
Novembro/18	RCC4	1:1:6	Areia reciclada	1,79	255
Dezembro/18	RCC5	1:1:6	Areia reciclada	1,87	262
Janeiro/19	RCC6	1:1:6	Areia reciclada	1,86	261

Fonte: Autores (2019).

2.4 Caracterização das argamassas

As argamassas foram avaliadas no estado fresco quanto às seguintes propriedades: retenção de água e densidade de massa aparente. A adição da água, em relação a a/c foi mensurada em função da trabalhabilidade/consistência não havendo, entretanto, restrição de valores. No estado endurecido, as argamassas foram avaliadas quanto às seguintes características: retração, absorção por capilaridade, densidade de

massa aparente, resistência à compressão e resistência à tração. A Tabela 4 mostra os ensaios realizados, as normas utilizadas, a quantidade e dimensões dos corpos de prova e o tempo de cura.

Tabela 4. Ensaios realizados nas argamassas no estado fresco e endurecido

Ensaio	Procedimento	Dimensões	Tempo de cura
Estado fresco			
Retenção de água	NBR 13277 (ABNT, 2005)	-	-
Densidade de massa aparente	NBR 13278 (ABNT, 2005)	-	-
Estado endurecido			
Absorção por capilaridade	NBR 9779 (ABNT, 2012)	3 Prismático (40 x 40 x 160 mm)	24 dias
Densidade de massa aparente	NBR 13280 (ABNT, 2005)	3 Prismático (40 x 40 x 160 mm)	24 dias
Resistência à compressão	NBR 13279 (ABNT, 2005)	3 Prismático (40 x 40 x 160 mm)	24 dias
Resistência à tração na flexão			

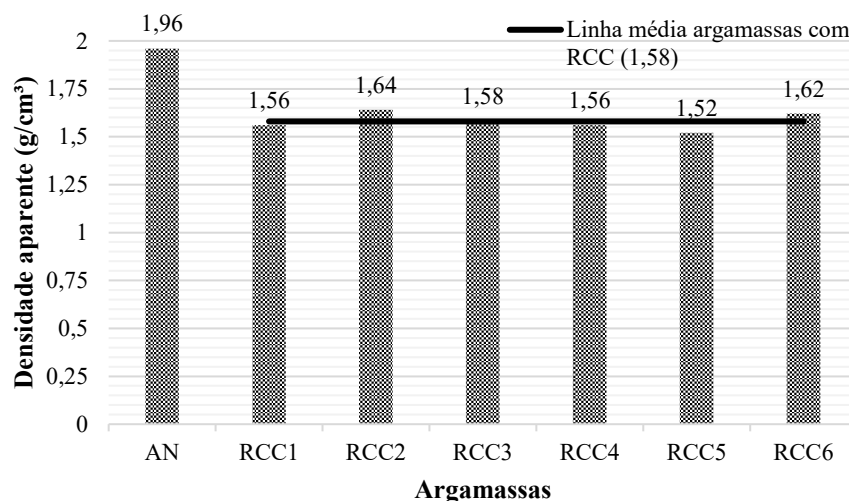
Fonte: Autores (2019).

4 Resultados e discussões

4.1 Propriedades das argamassas no estado fresco

4.1.1 Densidade aparente

Os resultados de densidade aparente das argamassas são mostrados na Figura 2. É possível observar que a substituição do agregado natural pelo agregado reciclado diminuiu, em média, 19% a densidade das argamassas. Entre as argamassas com agregado reciclado, as densidades não tiveram dispersão nos resultados, mostrando também a homogeneidade dos resíduos ao longo do período de coleta. Estes resultados corroboram com resultados obtidos em estudos anteriores (MACHADO, 2014; PEDROZO, 2008).

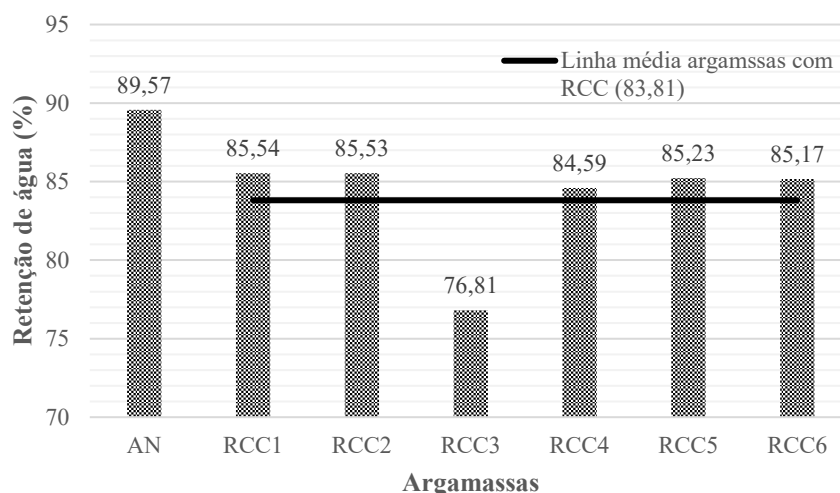
Figura 2. Densidades aparentes obtidas pelas amostras ensaiadas

Fonte: Autores (2019).

Esse resultado é devido aos agregados reciclados apresentarem densidades, unitária e específica, menores que a areia natural o que aumenta o índice de vazios dos agregados reciclados. Argamassas mais leves se tornam mais fáceis de transportar e de aplicar, aumentando a produtividade (FERREIRA et al., 2019). Por outro lado, argamassas com densidades baixas geralmente são porosas, o que afeta a durabilidade do material devido aos ataques de agentes agressivos penetrarem os poros (LEDESMA et al., 2015).

4.1.2 Retenção de água

A Figura 3 mostra os resultados obtidos para retenção de água das argamassas analisadas. O gráfico mostra que as argamassas com agregado reciclado retiveram menos água que as argamassas com agregado natural, sendo que essa diminuição foi de 6% em média. Apesar da argamassa que utilizou o RCC3 ter apresentado a maior diferença, devido à sua composição mineralógica, as demais argamassas tiveram comportamento parecido, com dispersão baixa entre os resultados.

Figura 3. Retenção de água obtidas pelas amostras ensaiadas

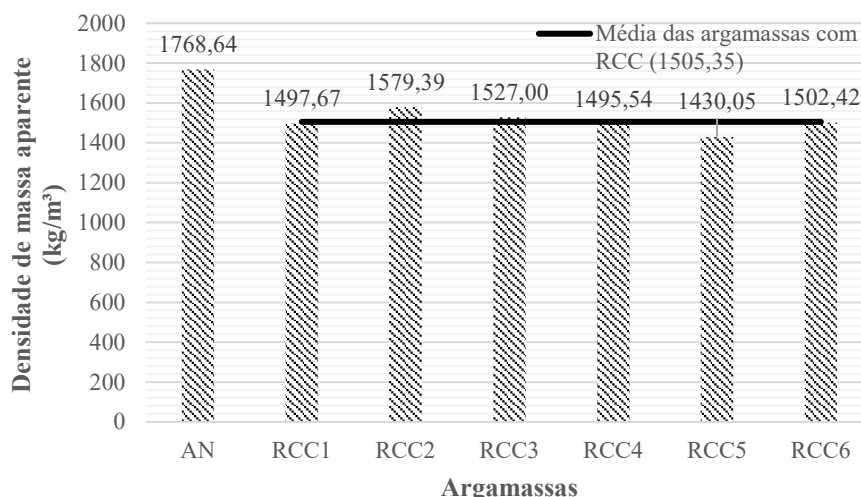
Fonte: Autores (2019).

Os resultados apresentados de retenção de água das argamassas com agregados reciclados ficaram próximos da argamassa com agregado natural. Isso significa que as argamassas com agregado reciclado não vão ter suas características de resistência, aderência e durabilidade prejudicadas quando em contato com superfícies de sucção elevada.

4.2 Propriedades das argamassas no estado endurecido

4.2.1 Densidade de massa aparente

A densidade de massa aparente no estado endurecido tem seus resultados expostos na Figura 4. A argamassa com areia natural foi classificada como M5, enquanto todas as argamassas com RCC foram classificadas como M4 perante a norma NBR 13280 (ABNT, 2005). A densidade das argamassas com agregado reciclado no estado endurecido foram, em média, 15% menores que a argamassa com agregado natural. Entre as argamassas com agregado reciclado, os resultados não apresentaram grandes variações. Esses resultados são justificados principalmente por fatores derivados da forma e dimensão dos grãos.

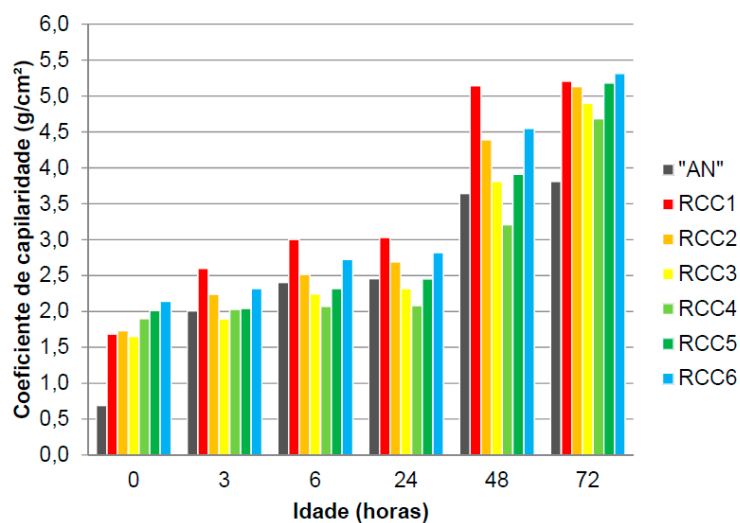
Figura 4. Densidade de massa aparente

Fonte: Autores (2019).

Os resultados corroboram com os estudos realizados por Machado (2014) e Pedrozo (2008) que afirmam que independentemente do tipo do agregado utilizado há uma redução de densidade nas argamassas quando comparadas com o agregado natural, podendo essas reduções serem devido à maior porosidade dos agregados reciclados.

4.2.2 Absorção de água por capilaridade

Os resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade nas argamassas são mostrados na Figura 5. Pode-se observar um aumento no coeficiente de capilaridade nas argamassas que utilizaram o RCC. Esses resultados podem estar associados a maior quantidade de água que essas argamassas necessitaram fazendo que aumente a quantidade de poros em sua estrutura.

Figura 5. Coeficiente de capilaridade obtidas pelas amostras ensaiadas

Fonte: Autores (2019).

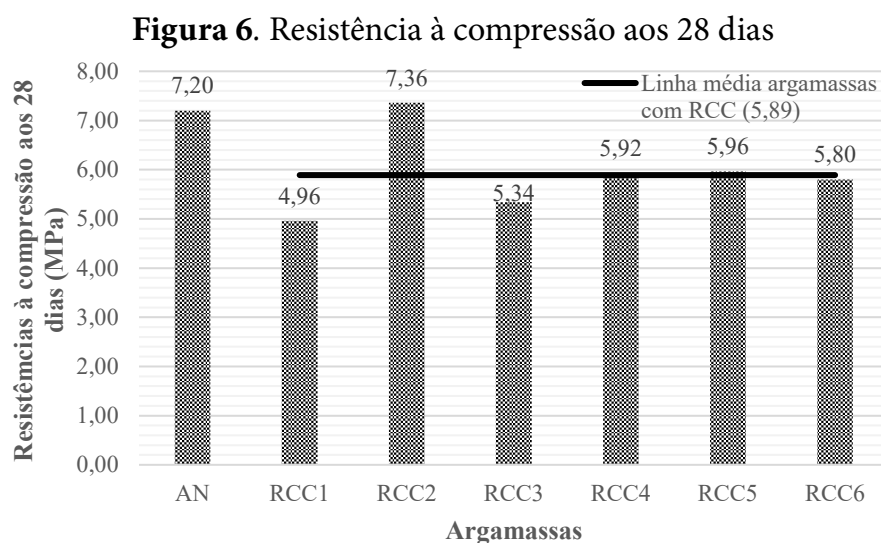
Outro motivo do aumento do coeficiente de capilaridade pode estar associado ao fato de a massa unitária dos agregados reciclados ser menor que o da areia natural, resultando em um pior empacotamento de partículas. Tenório (2007) e Rodrigues (2011) também associaram a alta absorção das argamassas com agregado reciclado com o aumento da relação a/c, diminuição da densidade, aumento da porosidade e composição dos agregados reciclados.

4.2.3 Resistência à compressão e à tração

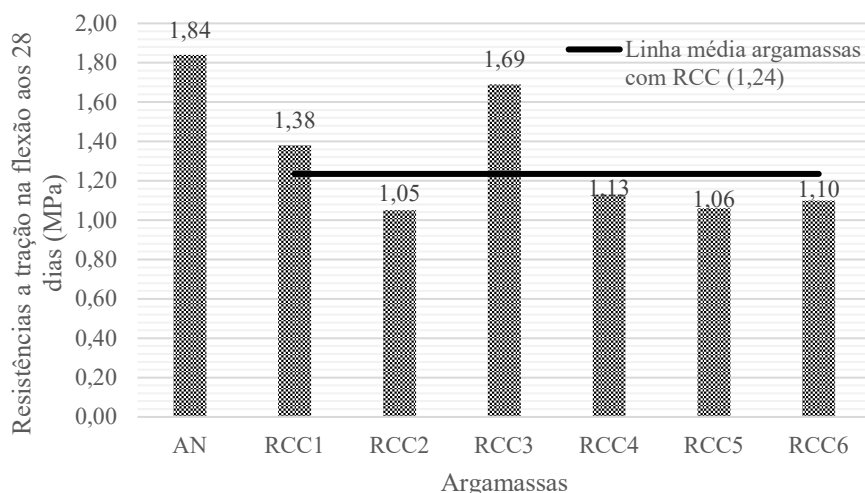
As argamassas foram ensaiadas quanto à resistência à compressão e resistência à tração na flexão aos 28 dias de idade, os resultados são mostrados na Figura 6 e Figura 7, respectivamente.

Observa-se que as argamassas com agregado reciclado tiveram, em média, uma diminuição de 18% de resistência à compressão quando comparada com a argamassa com agregado natural, sendo que a argamassa com RCC3 obteve um aumento de 2% em relação a argamassa com RCC2. Excluindo a argamassa com RCC1, nota-se que as demais argamassas com agregado reciclado tiveram uma tendência de permanecer na média, não tendo uma dispersão grande nos resultados. Segundo a NBR 13279 (ABNT, 2005) as argamassas com agregado natural e com o RCC2 foram classificadas como P5 sendo que as demais foram classificadas P4.

Em relação às resistências à tração na flexão, observou-se que a resistência a tração flexão das argamassas com agregado reciclado teve uma diminuição média de 33% em relação às argamassas com agregado natural. Segundo a NBR 13279 (ABNT, 2005) as argamassas com agregado natural e com RCC3 foram classificadas como R3 e as demais argamassas foram classificadas como R1.



Fonte: Autores (2019).

Figura 7. Resistência à tração na flexão aos 28 dias

Fonte: Autores (2019).

Antes et al. (2014) encontraram um aumento na resistência à compressão das argamassas produzidas com 50% de substituição do agregado natural por agregado reciclado. Nesse estudo, apesar de ter sido utilizado 100% de substituição, obtiveram-se resultados positivos frente a este ensaio de compressão quando utilizado o RCC2. A perda de resistência de tração na flexão vai ao encontro aos estudos realizados onde encontraram perda de resistência ao substituir 100% do agregado natural por RCC (FERREIRA et al., 2019; ANTES et al.; LEDESMA et al., 2015; MACHADO, 2014; JIMÉNEZ et al., 2013).

5 Conclusões

Este trabalho teve como objetivo avaliar a possibilidade de utilização dos resíduos finos de construção civil através do estudo das propriedades das argamassas para assentamento. As seguintes conclusões podem ser realizadas a partir deste estudo:

- Durante os seis meses de coleta, o agregado reciclado manteve constante suas propriedades físicas e químicas o que, por consequência, manteve constante as características das argamassas com agregado;
- A granulometria dos agregados reciclados teve distribuição mais graduada quando comparada com a areia natural, sendo que todos resíduos ficaram dentro da zona utilizável da NBR 7211 (ABNT, 2005). Porém os agregados reciclados tiveram massa unitária menor, provocando um empacotamento entre partículas menos eficiente, quando comparado com o agregado natural o que impactou o comportamento das argamassas;
- Os agregados reciclados tiveram resultados de teor de material pulverulento e perda de massa ao fogo maiores que o agregado natural. A maior presença

de finos e, principalmente de material orgânico, nos agregados reciclados em relação à areia natural demanda uma maior quantidade de água para amassamento quando utilizado o agregado reciclado em argamassas, este acréscimo pode ter impactado o desempenho mecânico destas argamassas;

- ♦ As argamassas com agregado reciclado tiveram menores densidades, maiores índices de vazios, por consequências tiveram uma queda em suas resistências quando comparada com a argamassa de areia natural. A adição de água e o empacotamento entre as partículas do RCC são as possíveis explicações para o ocorrido.
- ♦ Apesar de o desempenho das argamassas com agregado reciclado ter sido abaixo das argamassas com agregado natural, as argamassas com agregados reciclados tiveram suas características dentro dos limites normativos para argamassas de assentamento;
- ♦ Por fim, a utilização do RCC em substituição da areia natural em argamassas de assentamento é uma alternativa viável, tendo em vista os resultados apresentados, reaproveitando um resíduo que por vezes é descartado inadequadamente trazendo prejuízos para os seres humanos e ao meio ambiente;

Referências

- ANTES, L. H.; PIRES, A. L.; SCHERER, R. G. ; FELIPETO, L. M. ; OLIVEIRA, R. P. ; GASTALDINI, A. L. G. Análise do comportamento mecânico de argamassas endurecidas com substituição de areia por RCD. *In: XXVI CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA & TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA (CRICTE)*, 2014, Alegrete. *Anais [...]*. Rio Grande do Sul, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. *ABRELPE: Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil*. São Paulo: ABRELPE, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7175: Cal hidratada para argamassas - Requisitos*. Rio de Janeiro, 2003. 4p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro, 2003. 6p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos*. Rio de Janeiro, 2004. 12p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação*. Rio de Janeiro, 2005. 15p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13277: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água*. Rio de Janeiro, 2005. 3p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado*. Rio de Janeiro, 2005. 4p.
- 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. 9p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13280: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido*. Rio de Janeiro, 2005. 2p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade*. Rio de Janeiro, 2012. 3p.
- BAKCHAN, A.; FAUST, K. M.; LEITE, F. Seven-dimensional automated construction waste quantification and management framework: integration with project and site planning. *Resources, Conservation and Recycling*, [s.l.], v. 146, p. 462-474, jul. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.02.020>.
- BOVEA, M. D.; POWELL, J. C. Developments in life cycle assessment applied to evaluate the environmental performance of construction and demolition wastes. *Waste Management*, [s.l.], v. 50, p. 151-172, abr. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.01.036>.

- BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E.. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. *Cerâmica*, [s.l.], v. 61, n. 358, p. 178-189, jun. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132015613581860>.
- CORINALDESI, V.; MORICONI, G. Behaviour of cementitious mortars containing different kinds of recycled aggregate. *Construction and Building Materials*, [s.l.], v. 23, n. 1, p. 289-294, jan. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.12.006>.
- CUENCA-MOYANO, G. M.; MARTÍN-PASCUAL, J.; MARTÍN-MORALES, M.; VALVERDE-PALACIOS, I.; ZAMORANO, M. Effects of water to cement ratio, recycled fine aggregate and air entraining/plasticizer admixture on masonry mortar properties. *Construction and Building Materials*, [s.l.], v. 230, p. 116929, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116929>.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (Brasil). *Areia para construção*. Brasília, DF: DNPM, 2014. 2 p. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/dnpm/sumarios/areia-construcao-sumario-mineral-2014/view>. Acesso em: 30 jun. 2019.
- DHIR, R. K.; BRITO, J. de; SILVA, R. V.; LYE, C. Q. Use of Recycled Aggregates in Mortar. *Sustainable Construction Materials*, [s.l.], p. 143-179, 2019. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-08-100985-7.00006-6>.
- FERNANDEZ, J. L. B. *Resíduos sólidos da construção civil: análise do gerenciamento em obras de reforma, de micro e de pequenos portes*. Dissertação de mestrado – Universidade Católica do Salvador. Salvador/BA, 2018.
- FERREIRA, R. L. S.; ANJOS, M. A. S.; NÓBREGA, A. K. C.; PEREIRA, J. E. S.; LEDESMA, E. F. The role of powder content of the recycled aggregates of CDW in the behaviour of rendering mortars. *Construction And Building Materials*, [s.l.], v. 208, p. 601-612, maio 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.058>.
- GIRARDI, A. C. C. *Avaliação da substituição total de areia natural por RCD em revestimentos de argamassa*. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Goiás. Goiânia/GO, 2016.
- ISLAM, R.; NAZIFA, T. H.; YUNIARTO, A.; UDDIN, A. S. M. S.; SALMIATI, S.; SHAHID, S. An empirical study of construction and demolition waste generation and implication of recycling. *Waste Management*, [s.l.], v. 95, p. 10-21, jul. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2019.05.049>.
- JESUS, S.; MAIA, C.; FARINHA, C. B.; BRITO, J. de; VEIGA, R. Rendering mortars with incorporation of very fine aggregates from construction and demolition waste. *Construction and Building Materials*, [s.l.], v. 229, p. 116844, dez. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116844>.
- JIMÉNEZ, J. R.; AYUSO, J.; LÓPEZ, M.; FERNÁNDEZ, J. M.; BRITO, J. de. Use of fine recycled aggregates from ceramic waste in masonry mortar manufacturing. *Construction and Building Materials*, [s.l.], v. 40, p. 679-690, mar. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.036>.

- KLEIN, F. B.; DIAS, S. L. F. G. A deposição irregular de resíduos da construção civil no município de São Paulo: um estudo a partir dos instrumentos de políticas públicas ambientais. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, [s.l.], v. 40, p. 483-506, 30 abr. 2017. Universidade Federal do Paraná. <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v40i0.47703>.
- LARUCCIA, M. M. Sustentabilidade e Impactos Ambientais da Construção Civil. *Revista Eniac Pesquisa*, v. 3, n. 1, p.69-84, 30 jun. 2014.
- LEDESMA, E. F.; JIMÉNEZ, J. R.; AYUSO, J.; FERNÁNDEZ, J. M.; BRITO, J. de. Maximum feasible use of recycled sand from construction and demolition waste for eco-mortar production – Part-I: ceramic masonry waste. *Journal of Cleaner Production*, [s.l.], v. 87, p. 692-706, jan. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.084>.
- LI, Y.; ZHANG, X.; DING, G.; FENG, Z. Developing a quantitative construction waste estimation model for building construction projects. *Resources, Conservation and Recycling*, [s.l.], v. 106, p. 9-20, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.11.001>.
- LOPES, J. P. Reutilização e reciclagem de resíduos sólidos gerados na construção civil. *Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT- ALAGOAS*, v. 3, n. 1, p. 141-152, 2015.
- LUCAS, J. C. P. *Desempenho de argamassas com incorporação de agregados finos de resíduos de loiça sanitária*. Dissertação de mestrado – Técnico Lisboa, 2015.
- MACHADO, S. F. M. *Influência de agregados provenientes de RCD e cinza volantes não conformes no desempenho de argamassa de cimento*. Dissertação. Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciência e Tecnologia. Lisboa: UNL, 2014.
- MAGALHÃES, R. F. de; DANILEVICZ, Â. de M. F; SAURIN, T. A. Reducing construction waste: a study of urban infrastructure projects. *Waste Management*, [s.l.], v. 67, p. 265-277, set. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.025>.
- MARTÍNEZ, I.; ETXEBERRIA, M.; PAVÓN, E.; DÍAZ, N. A comparative analysis of the properties of recycled and natural aggregate in masonry mortars. *Construction and Building Materials*, [s.l.], v. 49, p. 384-392, dez. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.08.049>.
- MEDEIROS, C. R.; SILVA, J. A. F. da.; MOREIRA, M. A. C.; SOUZA, F. P. Resíduos da Construção Civil: cenário atual, planejamento e propostas para o município de macaé-brasil. *Revista Internacional de Ciências*, [s.l.], v. 8, n. 2, p. 225-243, 4 dez. 2018. Universidade de Estado do Rio de Janeiro. <http://dx.doi.org/10.12957/ric.2018.33601>.
- 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*. Tese de doutorado – Universidade de São Paulo. São Paulo/SP, 2005.
- MORAES, A. M. de. *Análise da normatização, gestão e destinação dos resíduos da construção civil-estudo de caso de três empresas*. Dissertação de Mestrado - Universidade La Salle – NILASALLE, 2018.
- NENO, C. J. F. *Desempenho de argamassas com incorporação de agregados finos provenientes da trituração do concreto: Integração de RCD*. 2010. 168 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 2010.

OLIVEIRA, F. L.; MELLO, E. F. A mineração de areia e os impactos ambientais na bacia do rio São João, RJ. *Revista Brasileira de Geociências*, [s.l.], v. 37, n. 2, p.374-389, 1 jun. 2007. Sociedade Brasileira de Geologia.

PEDROZO, R. F. E. *Influência da substituição do agregado miúdo natural por agregado reciclado fino em propriedades de argamassas e concretos*. 2008. 161 f. Dissertação - (Mestrado em Engenharia Civil) Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

PINTO, T. P. *Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil: A experiência do Sinduscon-SP. Obra Limpa Sinduscon-SP*. São Paulo, 2005.

RABELO FILHO, J. R. Caracterização física e química das areias usadas em argamassa e concreto em manaus. In: 70ª REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 2018, Maceió. *Anais [...]*. Alagoas, 2018.

RIBEIRO, B. Z. *Construção de uma cadeia sustentável para destinação de resíduos da construção civil (RCC) pelo método do Design Thinking*. Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Tocantins. Palmas/TO, 2017.

RIBEIRO, D.; MOURA, L. S. de. Sustentabilidade: formas de reaproveitar os resíduos da construção civil. *Revista de Ciências Gerenciais*, [s.l.], v. 20, n. 31, p. 41, 31 maio 2016. Editora e Distribuidora Educacional. <http://dx.doi.org/10.17921/1415-6571.2016v20n31p41-45>.

RODRIGUES, C. R. *Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregado miúdo reciclado de resíduo da construção civil*. Dissertação de Mestrado - POLI. Recife/PE, 2011.

SHI, Q.; REN, H.; MA, X.; XIAO, Y. Site selection of construction waste recycling plant. *Journal of Cleaner Production*, [s.l.], v. 227, p. 532-542, ago. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.252>.

SORMUNEN, P.; KÄRKI, T. Recycled construction and demolition waste as a possible source of materials for composite manufacturing. *Journal Of Building Engineering*, [s.l.], v. 24, p. 100742, jul. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.job.2019.100742>.

TAVEIRA, A. F. da S. *Avaliação da utilização do agregado de concreto reciclado (ACR) em substituição ao agregado miúdo na fabricação de argamassas e peças de concreto para pavimentação*. Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2010.

TENÓRIO, J. J. L. *Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição visando aplicações estruturais*. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Alagoas. Maceió/AL, 2007.

UNITED NATIONS. *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision: highlights*. [s.l.: s.n.], 2014. 32 p. Disponível em: <https://population.un.org/wup/publications/files/wup2014-highlights.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2020.

VEGAS, I.; IBAÑEZ, J. A.; JOSÉ, J.t. San; URZELAI, A. Construction demolition wastes, Waelz slag and MSWI bottom ash: a comparative technical analysis as material for road construction. *Waste Management*, [s.l.], v. 28, n. 3, p. 565-574, jan. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2007.01.016>.

WU, Z.; YU, A. T. W.; POON, C. S. An off-site snapshot methodology for estimating building construction waste composition - a case study of Hong Kong. *Environmental Impact Assessment Review*, [s.l.], v. 77, p. 128-135, jul. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2019.03.006>.

YUAN, H.; SHEN, L. Trend of the research on construction and demolition waste management. *Waste Management*, [s.l.], v. 31, n. 4, p. 670-679, abr. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2010.10.030>.