

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

COMPORTAMENTO DE ARGAMASSAS E CONCRETOS COM AGREGADOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

Alice Torres Balbino¹, Marcela Sant'Ana da Silva¹, Julia Wippich Lencioni¹,
Gustavo José Lauer Coppio².

¹Universidade do Vale do Paraíba/Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova - 12244-000 - São José dos Campos-SP, Brasil, torres.alice.2003@gmail.com, marcelasantanasilva1@gmail.com, jlencioni@univap.br.

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo/Campus Itapetininga, Avenida João Olímpio de Oliveira, 1561, Vila Asem - 18202-000 - Itapetininga-SP, Brasil, gustavo.coppio@ifsp.edu.br.

Resumo

Atualmente, o setor da construção civil é tido como uma das maiores fontes geradoras de resíduos sólidos. O desafio para os geradores vai além do gerenciamento, uma vez que parte desses resíduos são destinados para aterros. O desafio é associar meio ambiente, tempo, mão de obra especializada e custo. Este artigo tem como objetivo estudar o comportamento de argamassas e concretos com resíduo de construção civil (RCC) em sua composição, em substituição total ou parcial aos agregados naturais, a fim de colocar em prática a reutilização dos resíduos gerados em canteiro de obras e reduzir o impacto ambiental gerado por eles. A metodologia utilizada consistiu em uma revisão da literatura atual, buscando a identificação de traços utilizados, tipo de resíduo e desempenho do produto desenvolvido em relação às argamassas e concretos com agregados naturais. Os dados obtidos mostram que os resultados de ensaios ficam dentro do especificado em normas técnicas pertinentes, mas pode ocorrer baixo desempenho e qualidade do produto final. Com isso, entende-se que mais estudos são necessários dentro dos resultados satisfatórios, incluindo, além da análise dos traços e do tipo de resíduo utilizado, também a viabilidade de uso do material dentro de uma função específica em uma determinada obra.

Palavras-chave: Argamassa. Concreto. Resíduos de construção civil.

Área do Conhecimento: Engenharia Civil.

Introdução

De acordo com Paulo e Coelho (2017 apud SOUZA E PIRES, 2022), o crescimento populacional desordenado e o crescente desenvolvimento tornaram a construção civil essencial para a sociedade; no entanto, esse ramo passou a gerar grandes impactos ambientais.

A construção civil é um dos setores da economia que mais utiliza recursos naturais e é, também, a maior geradora de resíduos, sendo que a tecnologia construtiva adotada no Brasil favorece o desperdício de materiais. (SILVA et al, 2006 apud SOUZA E PIRES, 2022)

O resíduo de construção civil, também conhecido como RCC, é definido pela resolução CONAMA nº 307 (BRASIL, 2002) como o resíduo proveniente de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e o resultante da preparação e da escavação de terrenos.

Segundo Pimentel et al (2018), o grande problema dos resíduos de construção não se deve à sua periculosidade, mas ao volume excessivo de resíduos gerado. Esse volume de resíduos, quando destinado a aterros sanitários, pode reduzir sua vida útil e, quando depositado em locais impróprios, degrada o meio ambiente urbano e propicia a multiplicação de vetores de doenças.

A resolução CONAMA nº 307 (BRASIL, 2002) implementou diretrizes na tentativa de reduzir os impactos ambientais causados pelos resíduos de construção civil. A mesma responsabiliza o gerador de resíduo pela destinação final correta do material, mas afirma que o gerador deve ter como objetivo prioritário a não geração e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Os resíduos da construção devem ser gerenciados corretamente e deve-se viabilizar a reciclagem desses materiais. Avançar na reciclagem [do RCC] implica em reduzir substancialmente o consumo de matérias primas naturais, além de reduzir, se coletado adequadamente, os pontos de descarte clandestino de lixo e entulho. Do ponto de vista de circularidade de recursos naturais, haverá diminuição da pressão por extração de areia, brita natural, extração clandestina e informal de agregados. (ABRECON, 2020).

Segundo Aguiar et al (2018), o primeiro registro de uso significativo de RCC foi após a segunda guerra mundial, na reconstrução das cidades europeias, o qual foi britado e utilizado como agregado. Desde então o uso do RCC como agregado é cada vez mais pesquisado e experimentado, à medida que fica mais necessária a preservação do meio ambiente. Conforme a resolução CONAMA 307 (BRASIL, 2002), os resíduos de construção civil reutilizáveis ou recicláveis como agregados são os classificados como Classe A.

O presente artigo tem o propósito de apresentar dados de pesquisas acerca da reciclagem de RCC para uso como agregado na produção de argamassas e concretos, em substituição total ou parcial do agregado natural (areia natural de rio e pedra britada), detalhando granulometria, teor de finos, densidade, resistência mecânica, dentre outras propriedades, e demonstrar a viabilidade do uso desses em misturas cimentícias, de modo a minimizar os problemas socioambientais causados pelos resíduos da indústria da construção civil.

Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho consiste em uma revisão da literatura, de modo a apresentar o estado da arte acerca do uso do RCC na função de agregado em argamassas e concretos.

No levantamento da literatura, foi dada prioridade a trabalhos publicados nos últimos 10 anos e que relatam estudos nacionais, desenvolvidos com base em normas brasileiras.

Para a obtenção da literatura, foram utilizados portais de periódicos, tais como o Portal de Periódicos CAPES e o Google Acadêmico.

Buscou-se levantar as principais características das misturas (traços adotados, materiais utilizados e suas características) empregadas nos trabalhos selecionados e qual o seu comportamento em decorrência do uso do agregado originário do RCC, identificando aspectos práticos positivos e negativos do uso dos agregados de RCC nas argamassas e concretos.

Resultados

Vieira e Pedrosa (2018) compararam uma argamassa industrializada com uma argamassa de assentamento produzida com agregado reciclado de resíduos de blocos de concreto. A argamassa com agregado reciclado utilizou o traço 1:5,5 (cimento tipo CP II Z 32 RS : agregado reciclado), 6g de aditivo químico (não especificado claramente) e uma relação água/cimento de 1,85. Para a argamassa industrializada seguiu-se a quantidade estabelecida pelo fabricante de 1:0,2 (mistura de argamassa : água). O agregado reciclado utilizado apresentou módulo de finura 0,78. A argamassa com resíduo apresentou maior retenção de água em relação à industrializada, mas apresentou menor densidade de massa, sendo classificada como uma argamassa leve (a argamassa industrializada recebeu a classificação de argamassa normal, em termos de densidade). Em termos de capilaridade, ambas as argamassas apresentaram o mesmo desempenho, não havendo alterações significativas nessa propriedade na argamassa com agregado reciclado. Ambas as argamassas não obtiveram bom desempenho na resistência de aderência à tração, porém ainda estão dentro de classificações normativas aceitáveis. As resistências à tração na flexão e à compressão foram inferiores na argamassa com resíduos. Os autores concluíram que a argamassa industrializada se mostrou superior à argamassa com resíduo em alguns aspectos e em outros as argamassas se mostraram iguais, indicando a viabilidade do uso do resíduo de blocos de concreto na substituição do agregado natural em argamassas.

Nos estudos realizados por Pimentel et al (2018), acerca de argamassas com areia proveniente da britagem de RCC (resíduo classe A, constituído de materiais cimentícios e cerâmicos), foram utilizados teores de 30% e 60% de substituição do agregado natural pelo reciclado e dois traços de argamassa, uma hidráulica (sendo utilizado somente o cimento Portland como ligante) e outra mista (sendo

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

utilizados o cimento Portland e a cal hidratada como ligantes), ambos feitos de acordo com a NBR 13276 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: preparo da mistura e determinação do índice de consistência (ABNT, 2005). Nos ensaios para definir as características físicas dos agregados, o reciclado mostrou menor massa específica, quando comparado ao natural, porém com teor de finos e capacidade de absorção de água muito elevados, o que acarretou um maior consumo de água para obter uma consistência para a argamassa similar àquela com agregado natural. Foi inferido, após os resultados, que a substituição do agregado natural pelo reciclado gerou uma melhora na capacidade de retenção de água, contribuindo para a hidratação do cimento, o que resulta em maior resistência do revestimento. Além disso, o aumento do teor de finos resultou em argamassas mais trabalháveis e a menor massa específica do agregado reciclado provocou uma redução da densidade de massa aparente da argamassa. Em relação a capacidade de absorção por capilaridade, notou-se nas argamassas mistas um aumento da absorção em função do aumento do teor de substituição do agregado e nas argamassas hidráulicas o comportamento inverso. Sobre a resistência à compressão axial, os resultados indicaram a possibilidade de preparar uma argamassa hidráulica com 60% de substituição do agregado natural pelo reciclado com a mesma qualidade da argamassa de referência, enquanto nas argamassas mistas foi observado uma forte queda de resistência com o aumento da substituição. Apesar disso, tanto as argamassas mistas como as hidráulicas apresentaram características que se enquadram dentro das classificações normativas, tornando-as aptas para uso em obra.

Aguiar et al analisaram a utilização do RCC na produção de argamassas nos teores de substituição de 25% e 50% do agregado natural pelo agregado reciclado, no traço 1:2:8 (CP II E 32 : CH III : agregado). O agregado reciclado foi proveniente direto de obras, de conteúdo específico não definido. Para adquirir o índice de consistência recomendado pela NBR 13276 (ABNT, 2005), o teor de água incorporado aumentou significativamente à medida que se incorporou o RCC. O agregado reciclado, quando comparado ao natural, apresentou granulometria e densidade bem semelhantes. O teor de ar incorporado foi menor na argamassa sem o resíduo, porém os autores afirmam que os teores de substituição de 25% e 50% também podem ser utilizados. Notou-se um pequeno ganho de resistência à tração e à compressão com a incorporação de RCC na mistura, mas que, segundo os autores, não implica em ganho estatístico. Observou-se também que a amostra com 25% de substituição do agregado natural pelo reciclado obteve o menor coeficiente de capilaridade, o que demonstra um melhor empacotamento entre as partículas.

Santos e Cabral (2020) analisaram traços de argamassa de contrapiso, emboço interno e emboço externo com teores de substituição de 25% e 50% do agregado natural pelo reciclado de RCC e em três granulometrias diferentes. Os agregados naturais e reciclados apresentaram similaridade quanto à forma e à angularidade, sendo classificados como circulares e semicirculares na forma, e subarredondados na angularidade. O teor de material pulverulento não superou os 10% em nenhuma das granulometrias dos agregados reciclados; portanto, não impactaria negativamente na fissuração das argamassas. Aliás, foi constatado nos resultados que as fissuras foram reduzidas com a incorporação do RCC. Foi constatado também uma redução do teor de ar incorporado, no traço de emboço interno, conforme o aumento do teor de agregado reciclado; nos outros traços o comportamento foi inverso. A resistência de aderência à tração não apresentou variabilidade significativa. Com relação às resistências à compressão e à tração na flexão, embora tenha havido variações dos seus valores com a variação do teor de substituição do agregado natural pelo reciclado, permaneceram todas dentro de uma mesma faixa de classificação normativa.

Carasek et al (2018) compararam dois tipos de agregados reciclados compostos por RCC, sendo um misto de material cerâmico (50%) e cimentício (50%), denominado por AMis; o outro predominantemente cimentício, designado ACim. O agregado cimentício foi composto por resíduos de concreteira. Cada agregado de RCC foi trabalhado em duas granulometrias. Comparações foram feitas com argamassas contendo apenas agregado natural (areia natural de rio). Os traços utilizados para as amostras de argamassa foram: 1:5,8 (CP II Z 32 : agregado) e 1:1:5,8 (CP II Z 32, : CH I : agregado). O teor de material pulverulento foi muito superior nos agregados produzidos com RCC, cerca de 3 a 4 vezes o valor observado para a areia natural, além da fração inferior a 0,075mm ser mais fina. No estudo foi verificado uma correlação linear crescente ($R^2 \approx 1$) entre a absorção de água e o teor de materiais pulverulentos dos agregados. A absorção de água se mostrou superior nos agregados reciclados, com as amostras empregando Acim tendo a maior absorção, possivelmente pelos resíduos

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

utilizados nesse traço serem provenientes de sobras de caminhão betoneira, fazendo dele mais poroso. Os limites de absorção de água, exigidos pela NBR 15116 - Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland – Requisitos e métodos de ensaio (ABNT, 2004), visando a produção de concreto não estrutural, foram atingidos pelas amostras produzidas com Amis, mas não pelas amostras com Acim. Os agregados reciclados apresentaram um alto coeficiente de inchamento, além das variações da umidade crítica; por conta desses fatores, os autores alertam uma possível variabilidade da quantidade de materiais nos traços das argamassas, quando são dosadas em volume. Os agregados reciclados revelaram uma maior retração quando comparados com a areia natural, justificado parcialmente pelo teor de material pulverulento dos agregados e pelo teor total de finos das argamassas. Foi observada uma boa correlação entre a massa unitária dos agregados e a quantidade de água das argamassas para adquirir consistência adequada, além de uma regressão linear crescente ($R > 0,8$) na correlação entre massa unitária e resistências à compressão e à tração. Ao fim do conteúdo, os autores salientam que os agregados provenientes de RCC não podem ser classificados apenas quanto à composição do material, devendo ser feita uma avaliação completa das suas características, as quais podem ser muito variáveis de acordo com sua origem e processamento.

Carolino et al (2021) experimentaram o uso do RCC na produção de artefatos vazados, tipo cobogó, de argamassa cimentícia, com teores de substituição da areia natural em 50% e 100%. O RCC foi proveniente de aterros, com composição e formatos variados. O traço empregado foi de 1:9 (CP II-F : agregado) e relação a/c de aproximadamente 0,5. Nos ensaios de resistência à flexão, em média, a amostra com 50% de agregado reciclado mostrou um declínio de 25% em relação à amostra de referência (argamassa com agregado natural, somente), enquanto a amostra com 100% de resíduo declinou 42%. Considerando esse resultado, nota-se que a resistência à flexão tende a diminuir conforme a inserção do agregado reciclado de composição variada. Os traços com RCC apresentaram agregados mais volumosos, além de poros e microestrutura mais heterogêneos. A diferença do tamanho das partículas de RCC podem ter interferido na resistência mecânica.

Reis, Silva e Lima (2021) avaliaram o uso de agregados reciclados na fabricação de concreto, em substituições de 20%, 50% e 100% do agregado natural, tanto miúdo quanto graúdo. Foi utilizado CP II Z 32, agregado reciclado miúdo na fração média e graúdo equivalente a brita 1, além de areia média e brita 1 naturais. O traço adotado foi: 1:2:2,5:0,5 (cimento : agregado miúdo : agregado graúdo : relação a/c). Por conta da alta taxa de absorção, o agregado reciclado foi umedecido antes do início do ensaio, garantindo, assim, boa trabalhabilidade quando a água, já dimensionada para o traço, foi adicionada. O agregado reciclado miúdo ficou dentro dos limites normativos de teor de material pulverulento, enquanto o agregado graúdo obedeceu aos limites normativos de material fino e apresentou granulometria contínua. O valor desejado no ensaio de abatimento do concreto era de 80 a 100 mm, porém apenas a amostra com 100% de substituição do agregado natural pelo reciclado alcançou essa meta, o que pode ser justificado pela umidificação prévia do agregado. No que se refere a resistência à compressão, aos 28 dias o concreto com melhor desempenho foi o com 20% de substituição do agregado natural pelo reciclado, verificando-se ser possível o uso desse teor para produção de concreto sem função estrutural.

Oliveira et al (2022) avaliaram a utilização do RCC, com e sem peneiramento, na produção de concreto, em substituições de 50% e 75% da areia natural. Foi feito o peneiramento do agregado reciclado na peneira de abertura 0,075mm, com o objetivo de retirar o excesso de material pulverulento, diminuindo a absorção de água e a necessidade de aumento da relação a/c. As amostras de concreto foram confeccionadas com o traço 1:1,75:3,05 (CP V-ARI : agregado miúdo : agregado graúdo), em massa, e relação a/c de 0,6. Os resultados do ensaio de batimento do concreto demonstraram que o aumento da substituição de areia pelo resíduo reduz a trabalhabilidade do concreto. Porém, foi observado que as amostras com o resíduo submetido ao peneiramento obtiveram melhores resultados quando comparadas com as de mesmo teor de substituição do agregado natural pelo resíduo sem peneiramento. Foi verificada uma pequena redução de massa específica com o aumento do RCC na mistura, tendo menor redução nas amostras com o resíduo peneirado. Quanto à resistência à compressão, as amostras contendo agregado reciclado, exceto o teor de 75% sem peneiramento, apresentaram valores médios maiores que as amostras de referência, observando-se um incremento de resistência nas amostras contendo agregado reciclado peneirado. Isso evidencia que a extração do material pulverulento contribuiu para o ganho da resistência à compressão das amostras ensaiadas.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Discussão

Os dados levantados indicaram que cada autor utilizou um RCC com composição variada e traços diferentes para as argamassas e os concretos estudados, obtendo-se resultados distintos entre os estudos e variações nos parâmetros físicos e mecânicos das misturas cimentícias. Os resultados variaram desde ganhos até diminuições da resistência mecânica, melhora na retenção de água até redução das fissuras. Em muitos casos, as propriedades dos agregados reciclados e das misturas cimentícias se mantiveram dentro de parâmetros normativos nacionais, indicando que a utilização do RCC como substituto parcial dos agregados naturais pode ser viável. Entretanto, para a obtenção de resultados satisfatórios e passíveis de uso em condições reais de obra, é necessário avaliar cada caso em específico e realizar estudos pertinentes para atender ao exigido em cada projeto ou condição de uso no canteiro de obras. Devem ser consideradas as características específicas dos resíduos e realizados ajustes nos traços para garantir o desempenho desejado para cada mistura cimentícia, diante da função que irá exercer na obra.

Fica evidente a importância de uma avaliação completa das propriedades dos agregados de RCC que se tem a intenção de utilizar em um dado projeto, uma vez que esses materiais podem apresentar variabilidade significativa, influenciando diretamente as características finais das argamassas e concretos produzidos. A escolha dos teores de substituição do agregado natural pelo agregado reciclado, os tipos e a composição dos resíduos e a sua granulometria deve ser feita com base em especificações do projeto e nas necessidades das aplicações, considerando tanto a questão da reutilização do resíduo gerado em obra, quanto o desempenho técnico requerido para os materiais e os sistemas construtivos por eles compostos.

Conclusão

Diante da preocupação ambiental com o excessivo volume de resíduos gerados pelo setor da construção civil e da necessidade de encontrar soluções para a reciclagem ou a reutilização dos mesmos, a possibilidade de emprego dos resíduos Classe A em misturas cimentícias, como substitutos parciais ou totais dos agregados naturais em argamassas e concretos, mostra-se como uma alternativa viável, ao menos quando se trata da aplicação dessas misturas em funções consideradas não estruturais. Entretanto, verifica-se, conforme os estudos apresentados neste trabalho, que se obtém com esses resíduos uma diversidade de resultados para as propriedades físicas e mecânicas das argamassas e dos concretos, o que muitas vezes se reflete no baixo desempenho do material final a ser empregado na obra. Isso exige estudos minuciosos da composição do resíduo a ser empregado em uma determinada situação, considerando as especificidades de um dado resíduo, e da viabilidade técnica de emprego deste como agregado, de modo a serem atendidas premissas de projeto e condições normativas.

Referências

SOUZA, N. S.; PIRES, R. C. S. Gestão de resíduos na construção civil: impactos, redução, reutilização e descarte. Revista Angulos. 2022. Disponível em: < <https://angulos.crea-rj.org.br/gestaoderesiduos/> >. Acesso em: 03 ago. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA Nº 307**, de 17/07/2002.

PIMENTEL, et al. Argamassa com areia proveniente da britagem de resíduo de Construção Civil: Avaliação de características físicas e mecânicas. **Revista Matéria**, v. 23, n. 1, 2018.

ABRECON. **Pesquisa setorial ABRECON 2020**: a reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil / organizadores S. C. Angulo; L. S. Oliveira, L. Machado – São Paulo: Epusp, 2022. 104 p.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

AGUIAR et al. 73º. **Utilização de resíduo de construção civil (RCC) na produção de argamassas.** In: 73º CONGRESSO ANUAL DA ABM, 2018, São Paulo.

VIEIRA, J. J. A.; PEDROSA, M. F. F. **Utilização de resíduo de bloco de concreto como agregado na produção de argamassa de assentamento.** Relatório final de pesquisa de iniciação científica. Brasília: UNICEUB, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13276:** argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

SANTOS, D. V.; CABRAL, A. E. B. Análise técnica da reciclagem de resíduos de construção em canteiros de obras. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 363-383, jul./set. 2020.

CARASEK, H. et al. 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.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15116:** Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2004.

CAROLINO, et al. Utilização de resíduo de construção civil para produção de cobogó de argamassa cimentícia. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7. 2021.

REIS, G. R.; SILVA, C. P.; LIMA, H. J. N. Avaliação do uso de agregados reciclados na fabricação de concreto. **Revista Interscientia**, v. 8, n. 1. Jul-Dez/2021.

OLIVEIRA, et al. **Utilização de RCD como agregado miúdo para concreto, melhorado por peneiramento e seu efeito sobre a resistência à compressão.** In: 13º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP, 2022.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo (FEAU), da Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP), pela oportunidade de desenvolvimento do projeto de iniciação científica que deu origem a este trabalho.