

CAPÍTULO 14

ANÁLISE CRÍTICA DOS MÉTODOS DE SEPARAÇÃO DE AGREGADOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) BASEADA EM CRITÉRIOS DE DESEMPENHO DE CONCRETOS RECICLADOS

https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081114

FERREIRA; GUILHERME DE ANDRADES[1]; NEUMANN; ISADORA SAMPAIO[1]; SANTOS; IAGO LOPES[1]; DAL MOLIN; DENISE CARPENA COITINHO[1];
[1]UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (UFRGS).
E-MAIL DO AUTOR CORRESPONDENTE: ANDRADESFERREIRA.GUILHERME@GMAIL.COM

RESUMO: O Resíduo de Construção e Demolição pode ser reaproveitado na construção civil como agregado reciclado. Entretanto, a variabilidade do material dificulta a determinação das suas propriedades e seu uso na produção de concreto. Para obter um agregado de melhor qualidade são empregadas técnicas de beneficiamento de agregados graúdos de RCD. Assim, o objetivo do artigo é analisar métodos de separação de agregados reciclados baseado em critérios de desempenho de concretos utilizando dados de pesquisas presentes na literatura. A partir das análises, foi determinado que a separação por líquidos densos foi o método de separação de agregado reciclado graúdo mais eficaz.

PALAVRAS-CHAVES: Resíduo de construção e demolição, variabilidade, técnicas de separação, agregado reciclado, concreto reciclado.

ABSTRACT: The Construction and Demolition Waste (CDW) can be reused in civil construction as recycled aggregate. However, the material's variability makes it difficult to determine its properties and its use in the production of concrete. To obtain a higher quality aggregate, processing techniques coarse CDW aggregates are used. Thus, the aim of the article is to analyze methods of separation of recycled aggregates based on concrete performance criteria using research data from the literature. From the analyses, it was determined that dense liquid separation was the most effective separation method for coarse recycled aggregate.

KEYWORDS: Construction and demolition waste, variability, separation techniques, recycled aggregate, recycled concrete.

1 | INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil impacta diretamente o meio ambiente e um dos motivos é a grande quantidade de resíduos por ela gerada. Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), que traz o panorama dos resíduos sólidos no Brasil, desde 2010 houve um aumento de 34,8% na quantidade de RCD coletado pelos municípios brasileiros, chegando a 44,5 milhões de toneladas em 2019 (ABRELPE, 2020 (1)).

Os Resíduos de Construção e Demolição (RCD), também conhecidos como Resíduos da Construção Civil (RCC), são definidos pela resolução 307 do CONAMA como todo resíduo proveniente de construções, reformas, reparos e demolições de obras de

construção civil, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concretos em geral, enfim, todo material comumente chamado de entulho de obras (CONAMA, 2002 [2]).

Os RCDs vêm recebendo cada vez mais atenção de pesquisadores, devido à grande quantidade desse material gerada anualmente e de seu potencial aproveitamento na própria construção civil (DOS SANTOS, 2020 [3]). Parte deste material, após beneficiado, pode ser usado como agregado graúdo reciclado, o qual pode ser empregado na produção de novos concretos, substituindo os agregados graúdos convencionais (LEITE, 2001 [4]; SAMPAIO et al. 2020 [5]).

Porém, os agregados graúdos reciclados possuem características distintas das características dos agregados graúdos convencionais, sendo a heterogeneidade e variabilidade em sua composição, características que dificultam sua inserção como agregado reciclado em concretos e, por consequência, a sua normatização para produção de novas tecnologias (CABRAL, 2007 [6]; VIEIRA E DAL MOLIN, 2004 [7]).

Buscando viabilizar o uso do agregado graúdo reciclado, estudam-se metodologias para melhorar suas características (ANGULO, 2005 [8]; SAMPAIO et. al. 2020[5]; MONDINI, 2018[9]; entre outros). Dentre as metodologias existentes, as mais encontradas em pesquisas no Brasil são as separações de agregado graúdo por densidade fazendo uso de jigue pneumático, jigue hidráulico e pelo método de líquidos densos (MALYSZ, 2018[10]; MATOS, 2020[11]; CUNHA, 2017[12]; DOS SANTOS, 2020[3]; MASUERO, 2017[13]; CARRIJO, 2005[14]).

Considerando o exposto, o trabalho se justifica em fazer uma análise crítica e revisão bibliográfica sobre as metodologias mais utilizadas no Brasil, sendo que, a partir destas análises, procurar determinar quais das principais técnicas de separação de agregado graúdo reciclado são mais viáveis para melhorar as características dos agregados e, consequentemente, as propriedades dos concretos que possuem agregados graúdos reciclados em sua composição, sem resultar em aumento demasiado do custo de produção do metro cúbico do concreto em relação ao custo de produção dos concretos convencionais.

2 | MÉTODOS DE SEPARAÇÃO

Os métodos de separação dos agregados graúdos reciclados comparados no artigo são: jigue hidráulico, jigue pneumático e separação densitária por líquidos densos.

O método de separação por líquidos densos é um processo de separação gravimétrica utilizado na separação de materiais. Baseia-se na diferença de densidade entre um meio fluido e as partículas a serem separadas, de forma que os elementos que possuem densidade inferior ao meio flutuam, e aqueles com densidade superior afundam (MASUERO, 2017[13]).

O processo de jigagem consiste na separação dos materiais por repetida expansão e contração vertical de um leito de partículas, através da movimentação da água, no caso do jigue hidráulico, ou do ar, no jigue pneumático. Gradualmente, os elementos de menor densidade concentram-se no topo, e os mais densos depositam-se no fundo (MASUERO, 2017[13]).

A jigagem a ar possui a vantagem de não utilizar água no processo, oferecendo

benefícios econômicos e ambientais, porém perde sua eficiência quando são utilizados materiais de baixa granulometria, com partículas de tamanho menor que dois milímetros (MALYSZ, 2018[10]). Já a jigagem à água apresenta maior confiabilidade, produtividade e custos reduzidos (DOS SANTOS, 2020[3]).

3 | METODOLOGIA

Para realização desse estudo foi realizado um levantamento de dados gerados a partir da utilização das técnicas citadas no item 2 aplicadas em pesquisas presentes na literatura nacional. Foram selecionados 3 métodos, os quais apresentam mais pesquisas sobre a utilização destes e dentre as pesquisas encontradas foram selecionados dois trabalhos por método, baseado na disponibilidade de dados na pesquisa, para comparação de resultados. Foram comparados indicadores como consumo de cimento/MPa e resistência à compressão. Com a comparação do consumo de cimento busca-se avaliar de maneira simplista o acréscimo de custo que o aumento do consumo de cimento representa na produção de concreto, visto que o aumento deste serve para compensar o acréscimo na quantidade de água na mistura ocasionado pelo uso de agregado reciclado (LEITE, 2001[4]). A partir destas análises, procurou-se determinar quais técnicas de separação de RCD são mais viáveis nos quesitos custo e desempenho dos concretos produzidos. Nesta análise não foram considerados os custos com a separação dos RCD.

4 | DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DOS MÉTODOS DE SEPARAÇÃO

Para o jigue a ar foram encontrados valores interessantes para consumo de cimento/MPa nos dois trabalhos analisados (MALYSZ, 2018[10] e MATOS, 2020[11]), conforme apresentado na figura 1. Apesar de ainda que jigado tanto o consumo de cimento/MPa quanto a resistência à compressão dos concretos com material reciclado dos dois trabalhos tenham sido inferiores aos números dos concretos utilizando agregado natural, os concretos com material beneficiado no jigue pneumático quando comparados aos concretos utilizando agregado reciclado não jigado resultaram em um consumo de cimento/MPa aproximadamente 9% inferior para traço 1:2,5, 15% para 1:4 e 10% para 1:5,5 no trabalho de Malysz (2018)[10]. Para Matos (2020) [11], foram obtidos valores aproximadamente 2,5%, 11,5% e 21,5% menores para os traços 1:3,5, 1:5 e 1:6,5, respectivamente, o que indica um benefício econômico na utilização do jigue pneumático para obtenção de um agregado reciclado mais denso. Por outro lado, o uso do jigue a ar não se mostrou tão eficiente quando se olha para o gráfico de resistência à compressão, por mais que os resultados em média tenham demonstrado ligeira melhora na resistência quando comparados ao material reciclado que serviu como referência. Malysz (2018) [10], ao utilizar agregados reciclados de 3 fontes diferentes, encontrou resultados inconstantes para desempenho mecânico dos concretos produzidos, mas ainda assim, a média dos resultados de resistência à compressão foi superior para o concreto com agregado reciclado que passou pelo jigue pneumático.

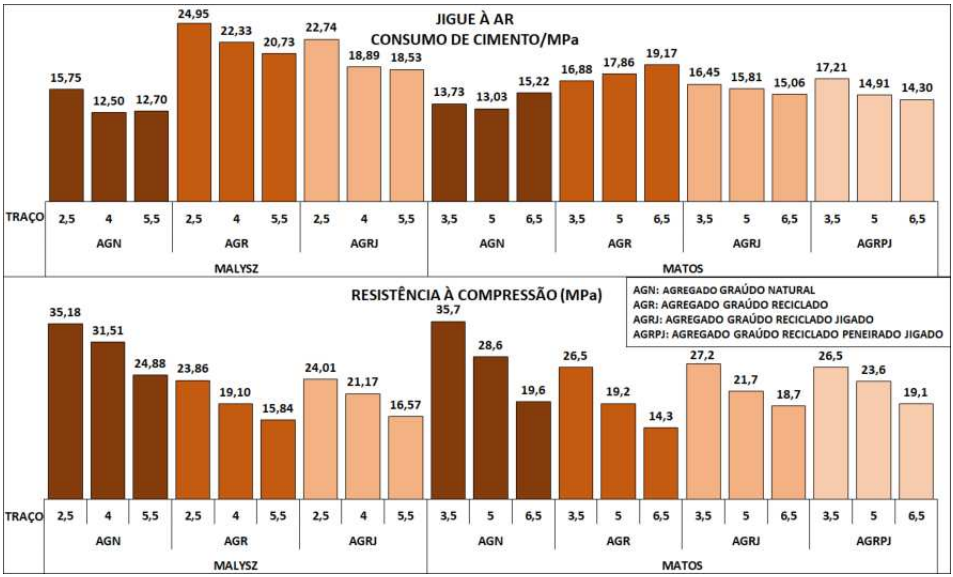


Figura 1 –Consumo de cimento/MPa e Resistência à compressão – Jigue a ar.

Fonte: Autor

A partir da Figura 2, referente ao jigue hidráulico, é notável um padrão de comportamento dos concretos, principalmente para os resultados do ensaio de resistência à compressão. Como esperado, tanto para Cunha (2017) [12] quanto para Dos Santos (2020) [3], os concretos usando agregados reciclados da gaveta de fundo do jigue (material mais denso) obtiveram melhores resultados para consumo de cimento/MPa e resistência à compressão que os concretos com agregados reciclados do meio ou topo, com exceção do consumo de cimento no traço 1:3 de Cunha (2017) [12]. Dos Santos (2020) [3], ao estudar duas rotas de beneficiamento (jigagem única e jigagem dupla), evidenciou, a partir dos seus resultados, que dois ciclos de jigagem é uma alternativa eficaz na busca por um agregado de melhor qualidade. Os resultados do material reciclado da gaveta de fundo, após jigagem dupla, mostrou comportamento muito similar ao do concreto referência usando agregado natural, enquanto seu concreto de material jigado apenas uma vez obteve resultados levemente inferiores. Para Cunha (2017) [12], o concreto usando material reciclado mais denso também se comportou de maneira similar aos de agregados naturais, com seus resultados para resistência à compressão ficando entre os concretos de agregado natural (AN) do topo e do fundo do jigue.

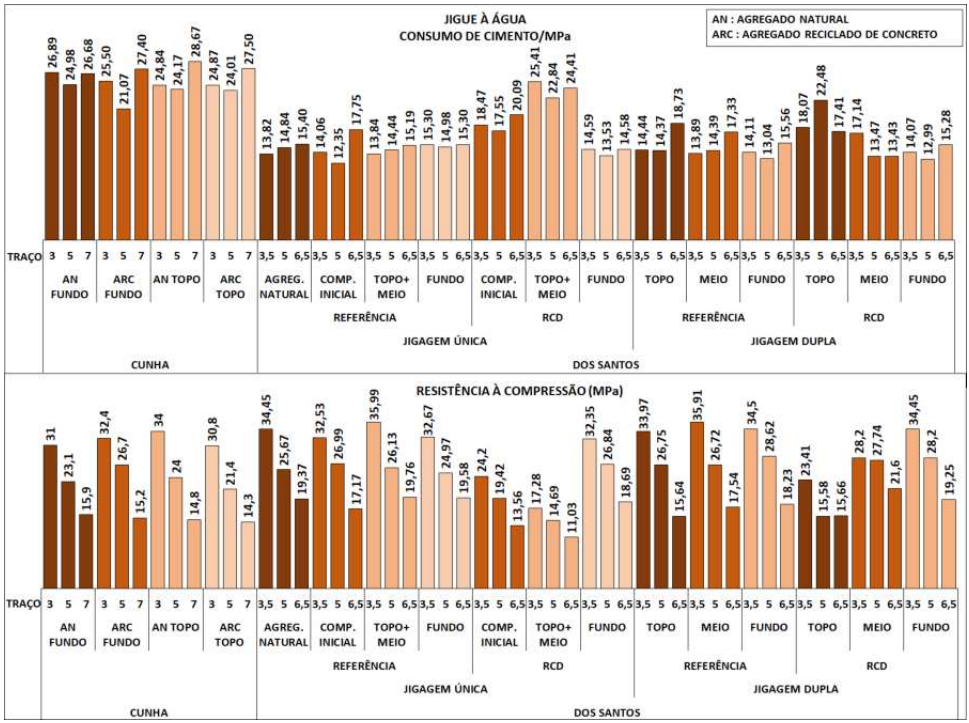


Figura 2 –Consumo de cimento/MPa e Resistência à compressão – Jigue à água.

Fonte: Autor

A figura 3 apresenta os resultados obtidos por Carrijo (2005) [14] e Masuero (2017) [13] através da separação densitária dos RCD com a utilização de líquidos densos. A separação por faixas de densidade promoveu comportamento homogêneo dos concretos para mesma faixa de densidade. Segundo os resultados dos dois autores, as frações mais densas dos agregados reciclados, quando usados na produção de concreto, foram capazes de atingir valores até melhores que os valores referência para resistência mecânica e no consumo de cimento/MPa. Para Carrijo (2005) [14], concretos com materiais cinza (predominantemente de origem cimentícia) e vermelhos (predominantemente de origem cerâmica) de densidade maior que 2,5 g/cm³ chegaram em aumentos expressivos na resistência à compressão comparando estes ao concreto de agregado natural, 81% para o cinza e 53% para o vermelho com consumo de cimento fixado em 300 kg/m³, e para consumo de 400 kg/m³ houve aumentos de 20% e 25% para os materiais de origem cimentícia e cerâmica, respectivamente. Para consumo de cimento/MPa, os resultados dos concretos usando materiais cinza e vermelho em comparação aos concretos referência foram em média 40% e 18% menores para os consumos de cimento fixados em 300 e 400 kg/m³. Masuero (2017) [13] encontrou resultados na mesma linha, os valores resultantes do ensaio de resistência à compressão para concretos usando agregados reciclados de maiores densidades (Composição de massas específicas 2,4*2,6 e 2,6 g/cm³) foram iguais ou superiores aos resultados do

concreto referência, com exceção do agregado de densidade 2,6 g/cm³ no traço 1:6,5, que foi apenas 2% menor.

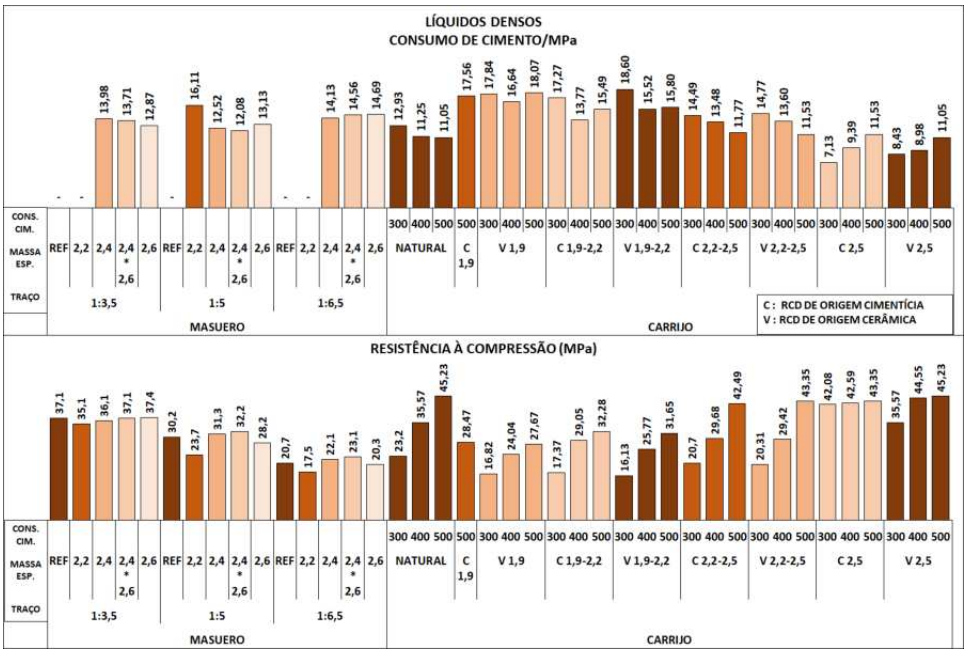


Figura 3 –Consumo de cimento/MPa e Resistência à compressão – Líquidos densos.

Fonte: Autor

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando em consideração as análises feitas neste artigo sobre os métodos de separação escolhidos para comparação, foi possível determinar a separação por líquidos densos como o método de separação de agregado reciclado mais eficaz. Os concretos com agregados mais densos produzidos por Masuero (2017) [13] e Carrijo (2005) [14], após a separação por densidade, tiveram os maiores valores no ensaio de resistência à compressão e menor consumo de cimento/MPa. Apresentando, assim, bom desempenho e, pelo indicador observado, baixo custo. Segundo Amaral Filho (2014) [15] e Masuero (2017) [13], a precisão dos métodos de separação por líquidos densos é superior à jigagem pela dependência única da densidade do material, excluindo outros fatores como velocidade de escoamento do fluido.

Assim como a separação por líquidos densos, a separação do agregado reciclado utilizando dois ciclos de jigagem hidráulica, estudado por Dos Santos (2020) [3], se mostrou eficaz a partir da análise dos resultados, pois também apresentou bom desempenho para baixo consumo de cimento/MPa, podendo ser uma alternativa a ser estudada para uso em larga escala no futuro, a fim de obter material reciclado de boa

qualidade para produção de concretos estruturais, já que o processo de separação por líquidos densos é de difícil utilização em escala real.

REFERÊNCIAS

1. ABRELPE- **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020**. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. São Paulo.

2. BRASIL. **Resolução nº 307. CONAMA** - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Habitação, de 5 julho de 2002. Diário Oficial da União, n. 136 , p. 95-96 , 17 jul. 2002.

3. DOS SANTOS, V. L. G. **Beneficiamento em jigue hidráulico para melhoria da qualidade dos agregados graúdos de resíduos de construção e demolição (RCD) utilizados em concretos**. Tese (Doutorado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas e Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

4. LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** 2001. 290p. Tese (Doutorado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

5. SAMPAIO, C.H.; CAZACLIU, B.G.; MILTZAREK, G.L.; AMBRÓS, W.M.; KRONBAUER, M.A.; TUBINO, R.M.C.; DAL MOLIN, D.C.C.; OLIVA, J.; WASKOW, R.; DOS SANTOS, V.L.G. Demolished concretes recycling by the use of pneumatic jigs. **Waste Managment and Research**, v.38(4), p. 392-399, 2020.

6. CABRAL, A.E.B. **Modelagem de Propriedades Mecânicas e de Durabilidade de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados, Considerando-se a Variabilidade da Composição do RCD**. 258 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

7. VIEIRA, G. L.; DAL MOLIN, D. C. C. **Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 4, n. 4, p. 47-63, 2004.

8. ANGULO, S. C. **Caracterização de Agregados de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados e a Influência de suas Características no Comportamento Mecânico dos Concretos**. São Paulo, 2005. 149f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 173 São Paulo, 2005.

9. MONDINI, B. G. **Avaliação da variabilidade de concretos utilizando resíduos de construção e demolição submetidos ao processo de separação por jigagem a seco.** 2018. 130p. Trabalho de conclusão de curso. Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

10. MALYSZ, G.N. **Estudo da influência da jigagem nas propriedades do concreto com agregado reciclado** 164f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

11. MATOS, R.S.C. **Avaliação do efeito da jigagem em diferentes faixas granulométricas sobre as características do agregado graúdo reciclado de RCD e as propriedades do concreto.** 127f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

12. CUNHA, M.G.C. **Viabilidade do uso de RCD proveniente da geração dos concretos convencional e de alta resistência através da utilização do jigue como agente do beneficiamento.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2017

13. MASUERO, G.B. **Características mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados de concreto após separação por densidade.** Trabalho de conclusão de curso. Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

14. CARRIJO, P.M. **Análise da da Massa Específica de Agregados Graúdos Provenientes de Resíduos de Construção e Demolição no Desempenho Mecânico do Concreto.** São Paulo: USP, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, 2005.

15. AMARAL FILHO, J. R. **Aproveitamento de rejeitos de carvão em Santa Catarina, Brasil.** 2014. 161 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.