



## AVALIAÇÃO DE CONCRETO SUSTENTÁVEL CONTENDO TEORES DE RESÍDUOS DE AGREGADOS RECICLADOS

Felipe Sombra dos Santos\*, Pedro Henrique de A. Azeredo, Diego Macedo Veneu

Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro – EQ-UFRJ

e-mail: fsombra@eq.ufrj.br

### RESUMO

O cenário atual da gestão de resíduos provenientes da construção civil requer uma atenção em qualquer área da economia e da sociedade. A construção civil, um setor notoriamente responsável pela elevada geração de resíduos sólidos, busca por alternativas para reuso destes, preocupando-se em dirimir os impactos causados ao meio ambiente e, também, na redução de custos através de práticas sustentáveis de reaproveitamento. Neste tocante, este trabalho buscou usar uma alternativa ao descarte, a partir da utilização dos resíduos da construção e demolição (RCD), por meio da produção de concreto, com a incorporação de agregados reciclados conforme é estabelecido pela ABNT NBR 15.116 de 2004. E a partir desta norma, foram avaliadas a resistência mecânica e a massa específica, do concreto convencional e o concreto reciclado. Para isto, corpos de prova foram preparados usando dois traços de concreto, um com agregados reciclados e outro com agregado comum. Ambos foram submetidos a ensaio de compressão para a verificação das resistências. E através dos resultados obtidos, foi possível observar que a resistência mecânica dos concretos produzidos com uma porção de agregado derivado de entulho foi inferior ao concreto comum. O concreto comum obteve um valor de resistência de ruptura média igual a 30 Mpa, enquanto que o concreto com uma parte de agregados reciclados obteve resistência média igual a 25 MPa. Em função dos valores de resistência mecânica obtidos para os diferentes corpos de prova, foi possível constatar que o material obtido com agregado pode ser empregado para obras não estruturais no setor da construção civil.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agregados, Concreto, Resíduos da Construção Civil, Resistência Mecânica.

### ABSTRACT

The current scenario of construction waste management requires attention in any area of the economy and society. Civil construction, which is a segment that generates solid waste in high quantities, seeks alternatives for the reuse of these wastes, concerned with improvements to the environment and in the reducing costs through sustainable reuse practices. This work sought to use an alternative in the use of construction and demolition waste (CDW), through the production of concrete, with the incorporation of recycled aggregates as established by ABNT NBR 15,116 of 2004. And from this norm, the mechanical strength and specific mass of conventional concrete and recycled concrete. The specimens were prepared using two traces of concrete, in which one with recycled aggregates and another with a common aggregate. Both were submitted to a compression test to verify the resistance. In addition, through the results obtained, it was possible to observe that the mechanical resistance of concrete produced with a portion of aggregate derived from debris was inferior to the common concrete. The average concrete had a mean rupture strength value of 30 MPa, while the concrete with a portion of recycled aggregates obtained average strength equal to 25 MPa. Due to the mechanical strength values obtained for the different specimens, it is possible to confirm that the material obtained with aggregate can be used for non-structural works in the civil construction sector.

**KEY WORDS:** Aggregate, Concrete, Construction and Demolition Residue, Mechanical Resistant.

### INTRODUÇÃO

A construção civil é considerada como uma atividade que movimentava diversos setores econômicos do País, pois promove grande impacto em outras áreas, como por exemplo, alimentos, educacional, energia, dentre outros. Os desafios da construção civil detalhados (FIRJAN (2013), SNIC (2017)) para o ano de 2020 deste setor, demonstram que no estado do Rio de Janeiro entre os anos de 2011 a 2013 a construção civil representava 20% da geração de emprego no Estado, e 4,9% do PIB fluminense.

Durante as fases de execução dos projetos de construção civil é possível constatar a presença de um material comum a todas as obras, o concreto. Este material vem sendo usado há várias décadas para construção de estruturas, revestimentos e assentamento de materiais cerâmicos. O concreto é definido essencialmente como um material homogêneo constituído



de cimento, água, areia e brita (pedra), aditivos químicos e minerais que formam uma massa aderente a outros tipos de materiais (CARVALHO e FILHO, 2014), sendo facilmente manuseado, produzido e executado por grande parte da população, apresentando boa variabilidade de aplicação, durabilidade prolongada, baixo custo de produção, resistência a choques e vibrações, efeitos térmicos, atmosféricos e desgastes mecânicos.

Dentre todos os resíduos que são gerados na construção civil, o entulho é o que apresenta um maior percentual de contribuição, representado 50% dos materiais residuais da obra (ABRECON, 2018), enquanto que em países da Europa este índice de perdas associado a este tipo de material varia entre 10 a 15% (PORTO, 2008). O resíduo da construção e demolição (RCD), popularmente conhecido como entulho engloba uma mistura de pedaços ou sobras de materiais cerâmicos, concreto, argamassa, materiais metálicos, madeiras, blocos, gesso, telhas, entre outros, oriundos da perda nas fases de construção, reforma ou demolição de edificações (MELLO, et. al., 2017).

O aproveitamento do entulho, que é classificado como um resíduo do tipo A, segundo a Resolução Conama nº 307 de 2002, permite produzir o agregado. Os agregados são materiais que são adicionados ao cimento e água, não podendo gerar reações, ou seja, são materiais inertes, representam 70% dos materiais utilizados e extremamente importante para aumentar o volume, o que implica diretamente no custo, pois o agregado tem preço inferior ao cimento (RIBEIRO et. al., 2013). Após a seleção dos materiais provenientes do entulho que podem ser reutilizados, é necessário realizar a etapa de britagem. Esta fase gera um material com frações granulométricas diferenciado (areia, brita 0, brita 1 e rachão), permitindo com que parte deste material seja reintroduzido ao mercado, através das usinas de reciclagens desse tipo de material, auxiliando na redução dos impactos ambientais, movimentando o setor da economia (FROTTE, et. al., 2017).

A fiscalização voltada para o descarte correto dos resíduos de construção e demolição vem se tornando cada vez mais rigorosa no País, através das Resoluções CONAMA nº 307 de 2002, nº 348 de 2004, nº 431 de 2011 e nº 448 de 2012 e ainda, pela Política Nacional de Resíduos Sólidos estipulada pela Lei Federal nº 12.305 de 2010, que incumbe o gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo os da construção civil, obrigando os empreiteiros adotarem práticas legais e sustentáveis para o correto destino dos materiais do setor. Uma das práticas sustentáveis adotadas que vem sendo implementada é a produção de concreto com agregado reciclado para fins não estruturais, conforme é permitido pela Norma ABNT 15.116 de 2004, que também a aplicação deste tipo de material em pavimentação.

A utilização de agregados reciclados de RCD na produção de concretos possui um viés técnico-econômico sustentável, além disso, a substituição do agregado natural pelo agregado reciclado junto ao concreto vem apresentando um bom desempenho nas propriedades físicas e mecânicas do concreto, sendo possível produzir concretos, para fins estruturais ou não estruturais, empregando agregados naturais ou reciclados (BEHERA, et. al., 2014). Sendo absorção de água por este tipo de material e o índice de vazios são maiores comparados ao do agregado natural, pois há uma redução em parâmetros como, massa específica, relação água cimento e permeabilidade. Há, além disto, um aumento na fluidez e na habilidade passante em teores de substituição acima de 50% para fração miúda e até 50% para graúda (FROTTE, et. al., 2017). Já em relação a propriedade mecânica há um decréscimo nas resistências à compressão, tração e no módulo de elasticidade (KAPOOR, et. al., 2016). Outros tipos de materiais também podem ser adicionados ao concreto, como resíduos de pneus inservíveis triturados (SILVA, et. al., 2017), que possibilita uma alternativa ambientalmente correta para a destinação final de pneus inservíveis, sem alterar as propriedades. E a adição de sílica ativa (QUEIROZ, et. al., 2017) proveniente de resíduo siderúrgico na composição do concreto.

Tendo em vista o exposto, este estudo busca apresentar meios de reutilização dos resíduos da construção e pretende também demonstrar as vantagens e desvantagens, do concreto original comparados ao concreto reciclado, abordando os aspectos técnicos, econômicos e ambientais para este tipo de material.

## OBJETIVOS

A partir do exposto, o presente trabalho se propõe a reutilizar resíduos de demolição e construção em argamassa de concreto para avaliar aspectos técnicos, econômicos e ambientais deste tipo de material. (Acho que faltou um pouco de clareza a partir do “em argamassa”, mas como não entendi 100% o que queria dizer, não sei o que propor)

**METODOLOGIA**

A comparação entre o concreto convencional com o preparado contendo agregado reciclado foi realizada através da síntese de dois traços de concreto, considerando a confecção de amostras apresentando valores de tensão de até 30 Mpa e baseou-se na Tabela de Traços Caldas Branco. As amostras foram colocadas em corpos de prova com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. A dosagem dos materiais incorporados do traço de referência seguiu conforme é apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1. Demonstrativo de dosagem do traço de referência de concreto convencional.****Fonte: Tabela de traços Caldas Branco.**

Material	Quantidade (kg)	Unitário	Amostra de corpos de prova
Cimento	440	1,000	5.280
Areia	710	1,614	8.522
Brita	860	1,955	10.322
Água	230	0,522	2.756
Água/Cimento	0,52	0,520	0,52

A dosagem dos materiais incorporados no concreto reciclado, realizado nas mesmas especificações de tamanho da amostra de concreto convencional, apresentou 30% de areia reciclada e 32% de brita nº 1 reciclada, conforme apresenta a Tabela 2.

**Tabela 2. Demonstrativo de dosagem do traço de referência de concreto com material reciclado.****Fonte: Tabela de traços Caldas Branco.**

Material	Quantidade (kg)	Unitário	Amostra de corpos de prova
Cimento	440	1,000	5.280
Areia padrão	497	1,129	5.961
Areia reciclado	213	0,484	2.555
Brita padrão	584,8	1,329	7.017
Brita reciclada	275,2	0,625	3.300
Água	230	0,522	2.756
Água/Cimento	0,52	0,520	0,52

Foi realizado um Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos de Concreto, seguindo a metodologia de ensaio da Resolução ABNT NBR 5.739 de 2007, para a verificação e comparação das resistências aos esforços de compressão dos corpos de prova.

Os materiais utilizados para preparação das amostras foram:

- Cimento CP2 E32;
- Areia média apresentando a granulometria, segundo NBR NM 248 (2003) convencional, com massa unitária igual a 1,93 g/cm<sup>3</sup> e massa específica igual a 2,62 g/cm<sup>3</sup>;
- Brita número 1 conforme a granulometria da NBR NM 248 (2003) convencional com massa unitária igual a 1,49 g/cm<sup>3</sup> e massa específica igual a 2,69 g/cm<sup>3</sup>;
- Areia reciclada grossa de acordo com a granulometria disponível na NBR NM 248 (2003) e com massa unitária igual a 152 g/cm<sup>3</sup>;
- Brita reciclada número 1 de acordo com os padrões granulométricos da NBR NM 248 (2003) com massa unitária igual a 128 g/cm<sup>3</sup>.

**RESULTADOS**

A distribuição granulométrica dos agregados empregados na preparação do concreto convencional e do concreto com inserção de agregado reciclado estão representados através das Figuras 1 e 2. A Figura 1 classifica os agregados miúdos, sendo o convencional caracterizado como média e o reciclado como grosso. Já a Figura 2, ilustra a classificação dos agregados graúdos, o agregado convencional e o reciclado que é caracterizado como brita nº 1.

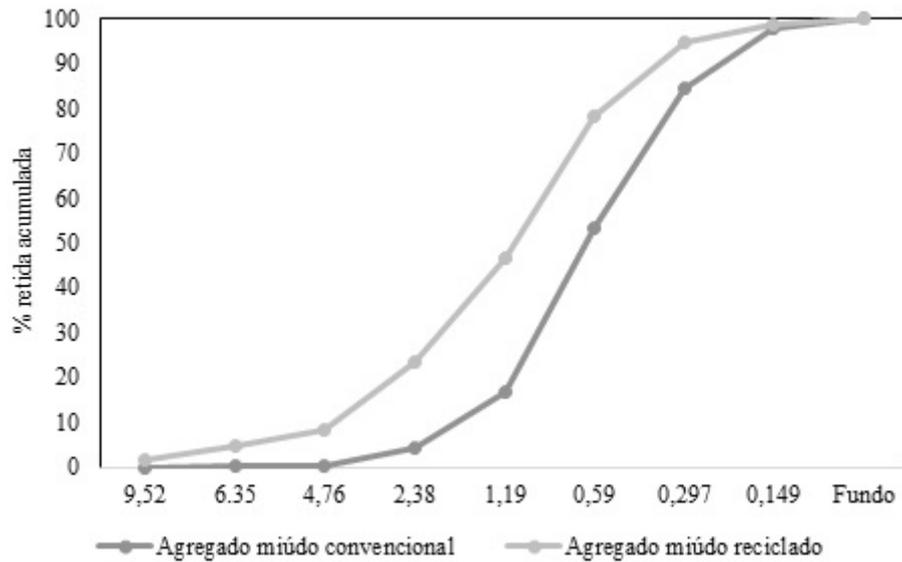


Figura 1: Distribuição granulométrica de agregado miúdo. Fonte: Autor do Trabalho.

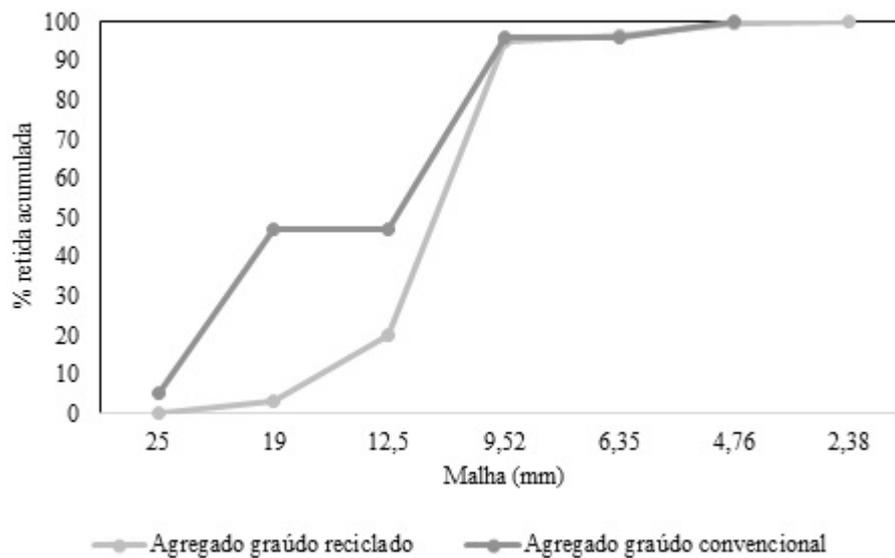


Figura 2: Distribuição granulométrica de agregados graúdos. Fonte: Autor do Trabalho.

Os resultados obtidos após os Ensaio de Compressão dos corpos de Prova Cilíndricos de Concreto, demonstraram que existe uma diferença entre os concretos convencional e o preparado com agregados reciclados.

No que se diz respeito ao traço de referência, que foi o concreto convencional, foram obtidos resistência média dos corpos de prova aproximadamente igual 30 MPa, conforme descrito na Tabela de Traços Caldas Branco.

Figura 3 apresenta, respectivamente, as amostras 1 (a), 2 (b) e 3 (c) produzidas com concreto convencional, ou seja, o traço de referência no momento da ruptura.



Figura 3: Traço de referência rompido das amostras 1 (a), 2 (b) e 3 (c). Fonte: Autor do Trabalho.

A Tabela 3 apresenta a resistência de cada corpo de prova do traço de referência e o tipo de ruptura das amostras, obtidas através do Ensaio de Compressão Simples.

Tabela 3. Resistência de ruptura das amostras do traço de referência  
Fonte: Autor do trabalho.

Amostras	Resistência de Ruptura (MPa)	Tipo de Estrutura
1	30,9	Cisalhada
2	31,9	Cisalhada
3	28,4	Colunar

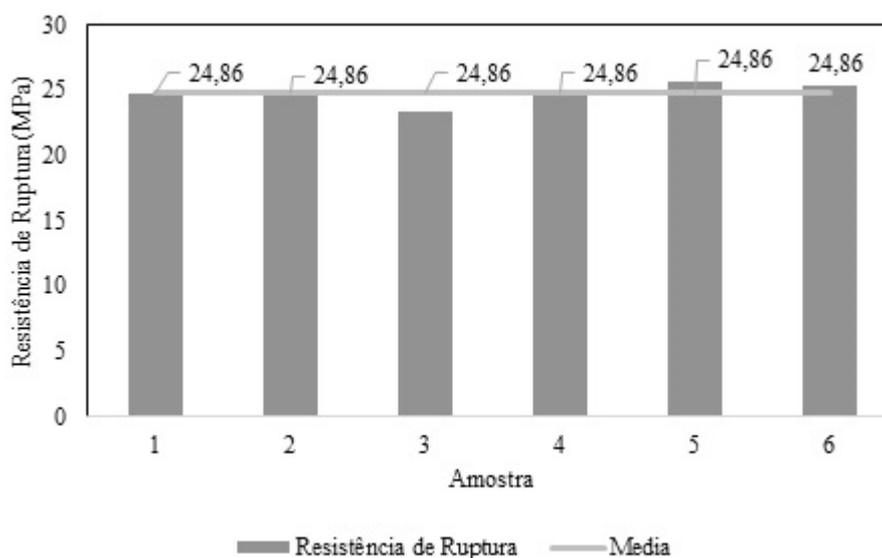
Já os corpos de prova moldados com concreto produzido com uma quantidade estabelecida de agregados reciclados, chegaram a resistências inferiores ao do traço de referência, conforme já havia sido também previsto por outros autores (TANG, et. al., 2016), e essas resistências possuem um valor médio aproximado de 25 MPa.

A Figura 4 ilustra respectivamente as amostras de números 1 a 6 moldadas com concreto reciclado, durante o momento da ruptura.



Figura 4: Traço de referncia rompido das amostras de 1 a 6 que foram preparadas com agregados reciclados.  
Fonte: Autor do Trabalho.

As amostras analisadas com 30% de percentual de agregado miúdo reciclado e 32% de agregado graúdo reciclado foram submetidas aos ensaios de rupturas, e os valores de resistências obtidos para cada uma das amostras pode ser observado através da Figura 5. A tensão média obtida foi de 24,83 MPa para os ensaios realizados, abaixo da média das amostras produzidas com agregado convencional. A diferença apresentada entre os dois tipos de concretos preparados é desprezível, o que permite afirmar que o uso do material reciclado em obras não estruturais, como uma parede interna, por exemplo, seja opcional ao construtor.



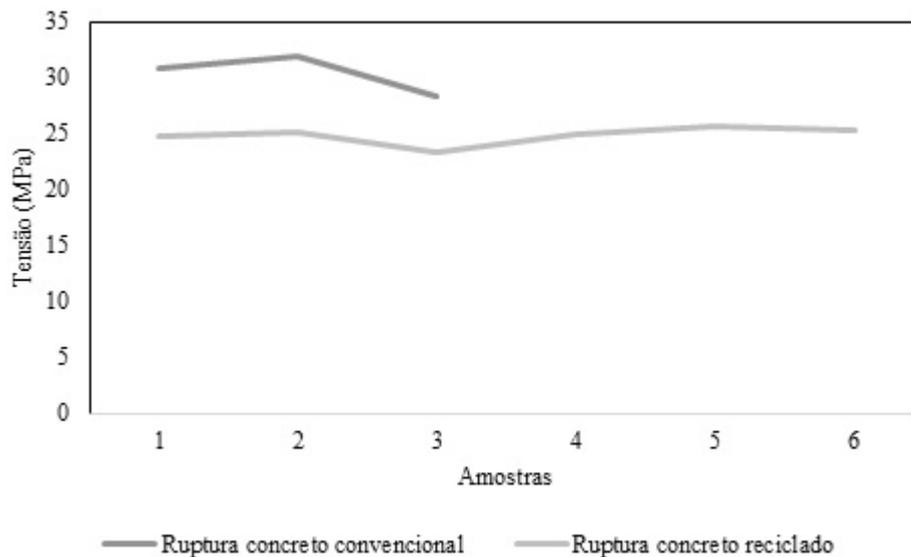
**Figura 5: Valores de Resistência de Rupturas para diferentes amostras de material reciclado. Fonte: Autor do Trabalho.**

Na Tabela 4 é possível observar os tipos de rupturas para os diferentes corpos de prova do traço composto com 30% de agregados reciclados e o tipo de ruptura das amostras. Pode-se observar que a predominância de ruptura foi o cisalhamento. A predominância do cisalhamento nas rupturas das amostras se justifica devido a maior fragilidade do agregado reciclado, que rompe e, conseqüentemente, faz com que haja o rompimento do corpo de prova.

**Tabela 4. Tipos de ruptura para diferentes amostras de material reciclado. Fonte: Autor do Trabalho.**

Amostra	Tipo de Ruptura
1	Cisalhada
2	Colunar
3	Cisalhada
4	Cisalhada
5	Colunar
6	Cisalhada

Na Figura 6 é possível observar a variação das tensões de ruptura dos dois tipos de concreto analisado. Tanto nas amostras obtidas da maneira tradicional quanto nas produzidas com uma porção de agregado reciclado as resistências de ruptura, mantiveram-se dentro de um intervalo muito pequeno de valores de tensão, sendo quase não perceptível as variações nas tensões. A diferença maior ocorre quando há uma comparação de dois tipos de amostras, pois com a substituição da mistura de 30% do agregado miúdo convencional e 32% do agregado graúdo convencional, por agregados graúdo e miúdo reciclado, há uma variação considerável nas resistências encontradas apresentadas neste trabalho.



**Figura 6: Comparativo de tensões de ruptura para os diferentes tipos de materiais empregados na produção do concreto. Fonte: Autor do Trabalho.**

Com a obtenção dos resultados para os diferentes tipos de concreto, foi possível se observar que, conforme é explicado pela Resolução ABNT NBR 15.116 de 2004, que ao inserir agregado reciclado em uma mistura de concreto, a resistência cai em relação ao mesmo traço produzido com agregados comuns, e isto está relacionado diretamente com a resistência desses agregados oriundos de RCD.

As reduções que ocorrem no valor da tensão podem atingir até a ordem de 45% da resistência dos concretos de referência, e é possível constatar que o agregado comum é mais resistente que agregados reciclados, basicamente por causa das suas particularidades, como por exemplo, a porosidade, o que resulta na alta absorção de água. Além disso, também deve-se atentar para a massa específica unitária que é inferior ao do agregado comum. A análise de todas essas variáveis possibilita constatar que, provavelmente, o rompimento do concreto tende a acontecer com mais predominância no agregado (CABRAL, 2007).

Outro fator a ser considerado é a resistência à abrasão, pois o concreto produzido com agregados derivados dos RCD tem resistência à abrasão inferior aos concretos tradicionais, e isto está diretamente relacionado aos agregados reciclados, visto que os agregados comuns possuem uma resistência à abrasão superior aos agregados reciclados (CABRAL, 2007).

A retração causada pela secagem do concreto também é distinta quando se compara um concreto convencional com o concreto reciclado. A água existente em uma mistura tem a tendência de sair pelos poros do material e evaporar. Esta evaporação pode comprometer as reações de hidratação do cimento, fazendo com que o concreto sofra uma diminuição de volume, isto é, a ocorrência de retração do concreto (CARVALHO e FILHO, 2014). Tal fato, explica basicamente o que é retração por secagem no concreto. Ainda assim, a granulometria, a dimensão máxima, a forma e a textura do agregado são fatores que influenciam na retração por secagem do concreto, ou seja, agregados reciclados por absorverem mais água e também por sofrerem mais deformações que os agregados comuns possibilitam que concreto produzido com agregados reciclados apresentem uma maior retração por secagem (CABRAL, 2007).

Os valores encontrados para massa específicas foram menores quando se tratava de agregados reciclados, e isto pode ser explicado pelo fato deste material ser mais poroso que agregados comuns, permitindo uma maior expansão do volume de material ou de vazios e conseqüentemente, uma menor massa específica.

Esta diferença pode ser notada na produção do concreto, pois devido aos valores de massa específica inferiores ao do agregado convencional, os concretos produzidos com agregado reciclados são mais leves que os concretos tradicionais, o que é extremamente relevante durante as etapas de manuseio e construção.



Após as análises e comparações, é destacável mencionar que o custo do agregado reciclado é inferior ao agregado convencional, sendo um benéfico financeiramente e ambientalmente a reciclagem de RCD.

Ao realizar uma comparação entre agregados comuns e agregados reciclados em usinas de reciclagem na região de São Paulo (FRASSON, et. al., 2016), foi possível observar que a média de preços para adquirir agregados oriundos de RCD é cerca de 55% do valor equivalente ao do agregado comum, enquanto que, a média de preços para a compra de agregado convencional é de R\$ 56,60, para cada metro cúbico, e a do agregado reciclado R\$31,00 por metro cúbico.

As usinas encontradas nos estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul e o Distrito Federal comercializam agregados reciclados por preços mais elevados, enquanto as usinas presentes nos estados da Paraíba, Santa Catarina, Mato Grosso e Minas Gerais cobram os menores preços. A Tabela 6 detalha o preço de agregados reciclados em cada região brasileira (MIRANDA, et. al., 2016).

**Tabela 5. Preço médio dos agregados reciclados por região.**

Fonte: Miranda, 2016.

Região	Preço Médio Agregado Reciclado (R\$/m <sup>3</sup> )
Norte	--
Nordeste	17,83
Centro – Oeste	20,00
Sudeste	22,48
Sul	19,67

É possível constatar que na região Norte não foi apresentado valor, por não existir nenhum tipo de usina que vende agregado produzido a partir de RCD.

A simples ação de utilizar RCD na síntese de concreto, pode, não só gerar benefícios ao meio ambiente, com a redução de descartes de RCD em lugares inadequados, como também nos custos na obra

## CONCLUSÕES

A incorporação de agregados reciclados em concreto é uma maneira de reutilização do entulho ambientalmente correta e promove benefícios para construtores, bem como para toda a sociedade, pois possibilita a reinserção e a destinação correta de resíduos que são descartados inadequadamente nas grandes cidades.

Foi possível observar que, como foi previsto pela NBR 15116 de 2004, com o uso de RCD nas amostras contendo material reciclado houve uma sutil redução na resistência mecânica do concreto, em concreto produzido com agregados convencionais, conforme o traço tabelado para confecção de amostras com 30 Mpa, pois a resistência média encontrada foi exatamente igual ao que foi previsto no traço da tabela, enquanto em concreto produzidos com uma porção de agregados reciclados, os resultados de resistência média, para este mesmo traço, foram de 25 MPa, possibilitando o uso, em pavimentação e em concreto não estrutural de qualquer obra.

Finalmente, pode-se concluir que uso de agregados reciclados em concreto contribui para uma gestão responsável de resíduos da construção e demolição, promovendo inúmeros benefícios ao meio ambiente e redução dos custos operacionais de uma construção.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. FIRJAN – Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro. **Construção Civil Desafios – 2020.** <http://www.firjan.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=4028808B4E3FB673014E3FF18D3D20D8>. Acessado em março de 2018.



2. SNIC – Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. **Vendas de Cimento caem 10% no 1º Quadrimestre de 2017.** Disponível em: <http://www.snic.org.br/pdfresultado/Resultados%20Preliminares%20Abril%202017.pdf>. Acessado em junho de 2017.
3. BRASIL, NBR 12655: **Concreto de cimento Portland; Preparo, controle, recebimento e aceitação; Procedimento.** Rio de Janeiro, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015.
4. CARVALHO, R. C.; FILHO, J. R. F. **Concreto Armado Segundo a NBR 6118/2014.** 4ª ed., São Carlos: EDUFSCar, 2014.
5. ABRECON – Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção e Demolição. **Processo de Produção.** <http://abrecon.org.br/entulho/mercado/processo-de-producao>. Acessado março de 2018.
6. PORTO, M. E. H. C., SILVA, S. V. **Reaproveitamento dos Entulhos de Concreto na Construção de Casas Populares.** Anais XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Rio de Janeiro, Out. 2008.
7. MELLO, J. B.; ARANHA, N.; BONVETTI Jr, W.; GONÇALVES, D. B. **Estudo sobre a viabilidade técnica e econômica da reciclagem de entulho para a produção de concreto em obras civis.** Engevista, v. 19, n. 5, pp. 1352-1363, Dez. 2017.
8. RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. S.; STARLING, T. **Materiais de Construção.** 4. ed., Belo Horizonte: UFMG, 2013.
9. FROTTÉ, C.; Di NUBILA, C. S. A.; NAGALLI, A.; MAZER W.; MACIOSKI, G.; OLIVEIRA, L. O. S. **Estudo das propriedades físicas e mecânicas de concreto com substituição parcial de agregado natural por agregado reciclado proveniente de RCD.** Matéria, v. 22, n. 2, 2017.
10. BEHERA, M.; BHATTACHARYYA, S. K.; MINOCHA, A. K. **Recycled aggregate from C&D waste & its use in concrete—A breakthrough towards sustainability in construction sector: A review.** Construction and building materials, v. 68, p. 501-516, 2014.
11. KAPOOR, K.; SINGH, S. P.; SINGH, B. **Durability of self-compacting concrete made with Recycled Concrete Aggregates and mineral admixtures.** Construction and Building Materials, v. 128, pp. 67-76, 2016.
12. SILVA, F. M.; VAZ, V. V.; BARBOSA, L. A. G.; LINTZ, R. C. C. **Avaliação da resistência mecânica de pisos intertravados de concreto sustentáveis (PICS).** Matéria, v.22, n.1, 2017.
13. QUEIROZ, I. S. O.; RUAS FILHO, N. F.; FINELLI, L. A. C.; LUDVIG, P. **Avaliação do efeito da adição de subproduto de uma indústria siderúrgica ao concreto.** The Journal of Engineering and Exact Science., v. 3, n. 8, pp. 1059-1072, 2017.
14. TANG, W. C.; RYAN, P.C.; CUI, H. Z.; LIAO, W. **Properties of Self-Compacting Concrete with Recycled Coarse Aggregate.** Advances in Materials Science and Engineering, v. 2016, 2016.
15. 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.** Tese de D.Sc., UFSCAR, São Carlos, SP, 2007.
16. FRASSON, S. A.; FILHO, J. A. P.; De FARIA, A. C. **Estudo comparativo entre custos de utilização de agregado natural e reciclado na execução de rodovias.** São Paulo, Singep, 2016.
17. MIRANDA, L. F. R.; TORRES, L.; VOGT, V.; BROCARD, F. L. M.; BARTOLI H. **Panorama Atual do Setor de Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição no Brasil.** Anais XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, pp. 4247-4267, São Paulo, SP. Set. 2016.