ENARC
FOZ DO IGUAÇU-2023

REAPROVEITAMENTO DE CORPOS DE PROVA DE CONCRETO NA PRODUÇÃO DE AGREGADO GRAÚDO RECICLADO

Reuse of concrete tests in the production of recycled coarse aggregate

Bruno Lucas de Miranda
Universidade do Estado de Minas Gerais | João Monlevade, Minas Gerais | bruno.0693388@discente.uemg.br

Marco Antônio Fraga Ferreira
Universidade do Estado de Minas Gerais | João Monlevade, Minas Gerais | marco.0635536@discente.uemg.br

Mateus Oliveira Dias
Universidade do Estado de Minas Gerais | João Monlevade, Minas Gerais | mateus.0693693@discente.uemg.br

Juscelina Rosiane Ferreira
Universidade do Estado de Minas Gerais | João Monlevade, Minas Gerais | juscelina.ferreira@uemg.br

Priscila Alves da Silva Machado
Universidade do Estado de Minas Gerais | João Monlevade, Minas Gerais | priscila.machado@uemg.br

Resumo

O objetivo desse artigo foi analisar a utilização de brita reciclada obtida de corpos de prova de concreto, na produção de concreto, analisando a influência na resistência à compressão e na consistência. Os resultados mostraram que a substituição diminuiu a consistência e a resistência à compressão do concreto, entretanto, não houve uma relação linear de perda de resistência com o aumento da substituição de agregado natural pelo agregado reciclado. Para o concreto de referência, o valor do Slump foi 3,5cm e o valor médio da resistência à compressão foi 31,2MPa. Os concretos com substituição tiveram Slump 2,5cm; 1,0cm e 1,0cm; valores médios de resistência de 18,8MPa; 29,4MPa e 18,8MPa; e desvio padrão de 2,0MPa, 4,3MPa e 2,3 MPa, respectivamente, para substituições de 25%, 50% e 100%. Destaca-se a pouca dispersão dos resultados, tendo em vista os valores baixos de desvio padrão, evidenciando a uniformidade dos resultados.

Palavras-chave: Concreto Reciclado, brita reciclada, agregado reciclado, Resíduos de construção e demolição.

ABSTRACT

The objective of this paper was to analyze the utilization of recycled coarse aggregate obtained from concrete test specimens in the production of concrete, analyzing the influence on compressive strength and consistency. The results showed that the replacement reduced the consistency and compressive strength of the concrete, however, there was no linear relationship of loss of strength with the increase in the replacement of natural aggregate by recycled aggregate. For the reference concrete, the Slump value was 3.5cm and the average compressive strength value was 31.2MPa. The concretes with replacement had Slump 2.5cm; 1.0cm and 1.0cm; average resistance values of 18.8MPa; 29.4MPa and 18.8MPa; and standard deviation of 2.0MPa, 4.3MPa and 2.3 MPa, respectively, for 25%, 50% and 100% replacements. The little dispersion of the results stands out, given the low standard deviation values, highlighting the uniformity of the results.

Keywords: Recycled concrete, Recycled fine aggregate, Composite fine aggregate, Construction and demolition waste.

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais importantes na construção civil, sendo composto pela mistura de cimento, água, agregados miúdos e graúdos, em proporções adequadas. Na produção do concreto, a extração dos agregados naturais é o que mais impacta o meio ambiente (MCGUINNIS *et al*., 2017). Segundo a ANEPA (2022), no Brasil, o setor de agregados teve um crescimento no ano de 2020 com um consumo de 605 milhões de toneladas, um aumento de 13%, em relação a 2019. Para 2022, foi prevista uma demanda de 692 milhões, o que gera um consumo per capita de 3,45 toneladas/habitante/ano.

O Agregado Reciclado é o material granular proveniente do beneficiamento de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) reutilizáveis ou recicláveis como agregados. Agregado Reciclado de Concreto (ARCO) é o agregado constituído predominantemente por resíduos de concreto (ABNT NBR 15116, 2021).

Os agregados reciclados possuem propriedades diferentes dos agregados naturais como maior taxa de absorção de água, textura áspera, forma lamelar e menor massa específica (MALTA, SILVA, GONÇALVES, 2013; NENO, BRITO e VEIGA, 2014; SILVA NETO e LEITE, 2018; CALCADO et al. 2019; MORA-ORTIZ *et al.,* 2020; LIU *et a*l., 2021; ROSADO *et al.,* 2022; GERIN *et al*., 2019) características que influenciam diretamente nas propriedades do concreto, em seu estado fresco e endurecido, exigindo um elevado controle de qualidade. Diversos estudos mostram resultados positivos na utilização de ARCO para a produção de concreto (PIMENTEL *et al*., 2020; WANG *et al*., 2011; CABRAL, 2007; NOGUEIRA, 2013).

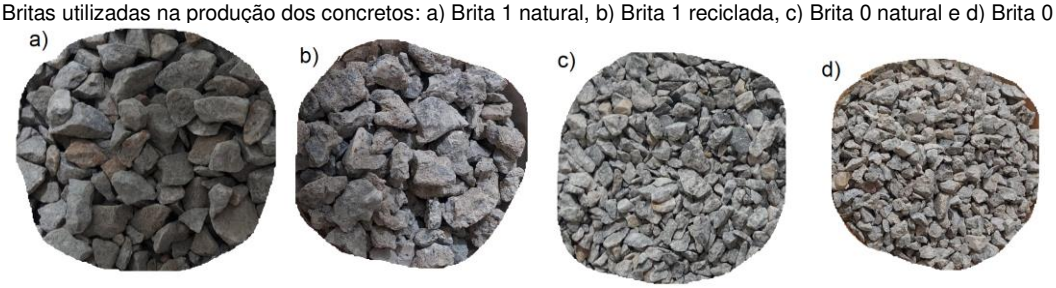
O objetivo desse trabalho é avaliar a substituição no concreto da brita natural por brita reciclada de ARCO, obtida a partir da britagem de corpos de prova de concreto, avaliando a resistência e a consistência dos concretos produzidos, através da comparação com um concreto de referência, produzido totalmente com brita natural.

2 METODOLOGIA

Para a produção do concreto de referência foram utilizadas areia natural quartzoza e britas 1 e 0 de gnaisse. O traço utilizado foi ajustado a partir do traço proposto por Leite e Costa (2014), sendo as proporções em massa iguais a 1:2,94:2,97:0,63:0,005 (cimento:areia:brita:água:plastificante). Foi utilizado o cimento CPV ARI e com o intuito de manter a consistência e a trabalhabilidade adequadas do concreto, empregou-se um aditivo plastificante. Quatro diferentes formulações de concreto foram desenvolvidas, variando as taxas de substituição em massa de agregado graúdo natural 0%, 25%, 50% e 100%.

A brita natural e a brita reciclada utilizadas foram obtidas pela mistura das frações granulométricas correspondentes de brita 0 e brita 1 em proporções iguais. O agregado graúdo reciclado foi obtido a partir da britagem de corpos de prova de concreto descartados no Centro Tecnológico da Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), João Monlevade. O material britado foi peneirado para obtenção das frações correspondentes às britas 1 e 0, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1: Britas utilizadas na produção dos concretos: a) Brita 1 natural, b) Brita 1 reciclada, c) Brita 0 natural e d) Brita 0 reciclada.



Fonte: autoria própria

Apesar da NBR 15116 (ABNT, 2021) recomendar a pré-molhagem dos agregados reciclados para ajuste das propriedades reológicas, não se procedeu à adição de água suplementar. Esta decisão foi baseada em evidências de que essa prática pode influenciar negativamente a resistência final do concreto (MALTA, SILVA, GONÇALVES, 2013; NENO, BRITO, VEIGA 2014; SILVA NETO e LEITE, 2018; CALCADO *et al*. 2019; MORA-ORTIZ *et al*., 2020; LIU *et al*., 2021; ROSADO *et al*., 2022; GERIN *et al*., 2019).

A Tabela 1 apresenta as proporções em massa de agregados natural e reciclado que foram utilizados para cada concreto.

Tabela 1: proporções em massa de agregado natural e agregado reciclado utilizadas para cada concreto.

Concreto nº	Nomenclatura	Areia Natural (%)	Areia Reciclada (%)	Brita Natural (%)	Brita Reciclada (%)
1	C0AR0BR-REF	100	0	100	0
2	C0AR25BR	100	0	75	25
3	C0AR50BR	100	0	50	50
4	C0AR100BR	100	0	0	100

Fonte: autoria própria.

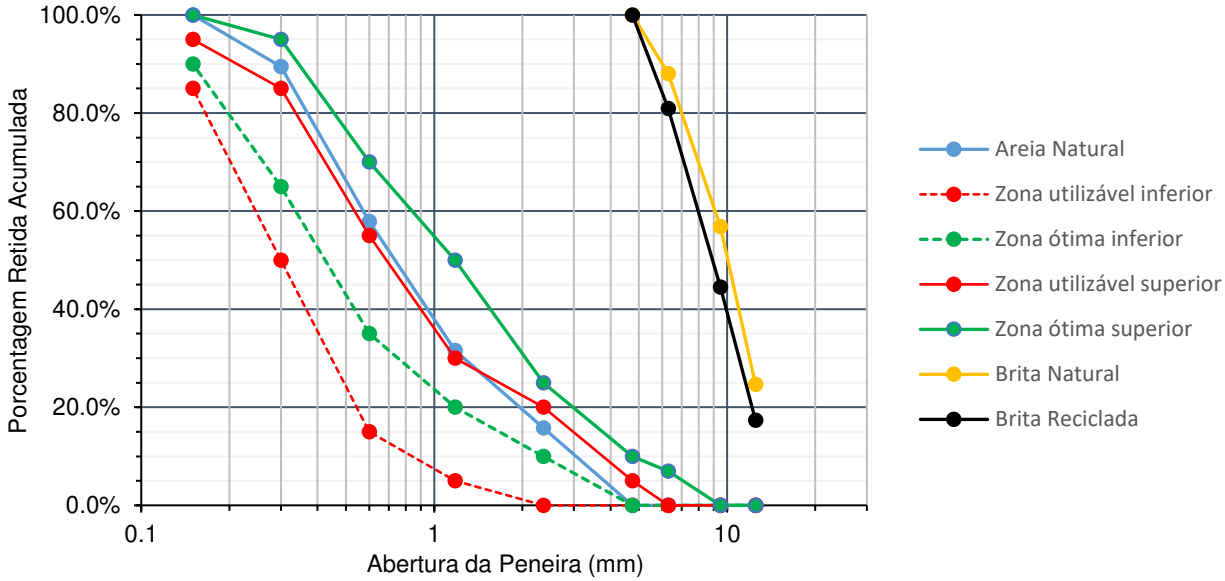
Em cada concretagem, procedeu-se à determinação da consistência por meio do abatimento do tronco de cone, conforme NBR 16889 (ABNT, 2020).

Os concretos C0AR0BR-REF, C0AR25BR e C0AR50BR foram submetidos a ensaios de resistência à compressão aos 28 dias de idade, enquanto o C0AR100BR foi rompido aos 21 dias devido a restrições de prazo, sendo assumido que essa variação temporal não resultaria em uma divergência substancial nos resultados, uma vez que foi utilizado no preparo do concreto o cimento CPV-ARI, que alcança a resistência especificada após 14 dias. A preparação das bases dos corpos de prova seguiu o procedimento de retificação, conforme prescrito pela NBR 5738 (ABNT, 2015).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta as curvas granulométricas da brita natural, da brita reciclada, da areia natural e as zonas de utilização para o agregado miúdo conforme NBR 7211 (ABNT, 2022). Observa-se que a distribuição granulométrica da areia natural ficou dentro das zonas ótimas inferior e superior estabelecidas pela norma, conforme mencionado anteriormente. Para o agregado graúdo, buscou-se manter a mesma granulometria da brita natural e reciclada, entretanto pequena variação foi observada.

Figura 2: Curvas granulométrica dos agregados utilizados na produção dos concretos



Fonte: autoria própria

A Tabela 2 apresenta os resultados dos ensaios de massa específica e absorção de água (NBR 16917, 2021), massa unitária (NBR 16972, 2021) e índice de forma (NBR 7809, 2019) da brita reciclada e natural.

O índice de forma do agregado graúdo reciclado é igual a 2,22, em conformidade com os critérios especificados na NBR 7211 (ABNT, 2022), que estabelece o limite de até 3,00. Entretanto, esse valor de 2,22 caracteriza um índice de forma coerente para agregado lamelar, o que é característico de agregados reciclados. O índice de forma do agregado natural foi igual a 1,12, que caracteriza um agregado de formato cúbico.

Tabela 2: Resultados dos ensaios de densidade, absorção de água, massa unitária e índice de forma dos agregados graúdos.

Tipo de Agregado	Ensaio	Resultado
Reciclado	Massa específica (kg/m³)	2310,9
Reciclado	Absorção de Água (%)	6,67
Reciclado	Massa unitária (kg/m³)	1352,6
Reciclado	Índice de forma	2,22
Reciclado	Absorção de Água	6,67
Natural	Massa específica (kg/m³)	2658,2
Natural	Absorção de Água	0,95
Natural	Massa unitária (kg/m³)	1208,6
Natural	Índice de forma	1,12

Fonte: autoria própria

Apesar do valor da absorção de água do agregado graúdo reciclado ter sido elevado, 6,67%, este valor está em conformidade com os critérios estipulados pela NBR 15116 (ABNT, 2021), a qual prescreve um limite máximo de 7,0% para agregados para concreto.

A Tabela 3 apresenta os resultados, para os concretos realizados, dos ensaios de *slump test*, resistência à compressão e tipos de ruptura conforme NBR 5739 (ABNT, 2018), bem como as estatísticas relacionadas.

Tabela 3: Resultados do ensaio de resistência à compressão e estatísticas relacionadas

Traço	Amostra nº	Resistência (MPa)	Slump (cm)	Tipo de Ruptura	Análise global			Análise excluindo valores extremos		
					Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	COV (%)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	COV (%)
C0AR0BR-REF	1	33,26	35	C	31,23	2,1	6,6	31,81	1,5	4,6
	2	30,78	35	B						
	3	32,84	35	B						
	4	28,03	35	C						
C0AR25BR	1	20,38	20	F	18,77	2,0	10,9	19,69	0,8	4,3
	2	20,28	20	G						
	3	19,09	20	C						
	4	15,34	20	E						
C0AR50BR	1	30,35	15	E	29,35	4,3	14,7	30,80	0,6	2,0
	2	33,65	15	G						
	3	22,17	15	E						
	4	31,24	15	E						
C0AR100BR	1	15,58	10	E	18,79	2,3	12,3	18,72	0,3	1,5
	2	22,12	10	E						
	3	18,51	10	C						
	4	18,92	10	E						

Fonte: autoria própria

Observa-se uma diminuição no valor do abatimento à medida que aumenta a proporção de substituição do agregado natural. Esse comportamento pode ser explicado pela maior absorção de água do agregado reciclado e pela não realização da pré-molhagem desse agregado.

Em relação ao tipo de ruptura, observou-se uma notável diversidade nos padrões. No caso dos concretos C0AR0BR-REF e C0AR25BR, o Tipo C de ruptura (coluna com formação de cones) foi o mais predominante. Por outro lado, nos concretos C0AR50BR e C0AR100BR, a ruptura por cisalhamento (Tipo E), foi a mais observada. A Figura 3 apresenta dois corpos de prova que apresentaram rupturas do tipo C e E, que foram as mais observadas nos concretos ensaiados.

Figura 3: Rupturas mais comuns: a) Tipo C e b) Tipo E



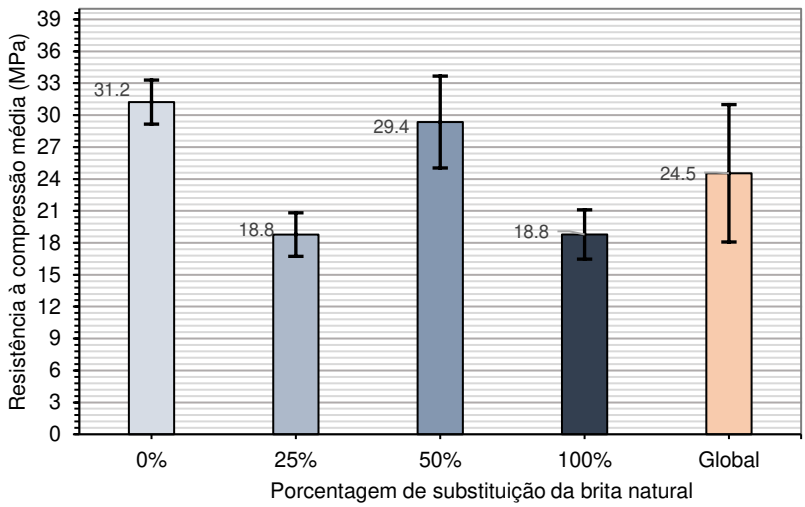
Fonte: autoria própria

Em relação à análise estatística observou-se pouca dispersão dos resultados, tendo o desvio padrão de 2,1; 2,0, 4,3 e 2,3 MPa, respectivamente para os concretos de referência, 25%, 50% e 100% de substituição. Quando a análise é feita excluindo-se os valores extremos, ou seja, eliminando o valor máximo e o valor mínimo em cada traço analisado, chega-se a valores menores de desvio padrão e consequentemente menores coeficiente de variação.

Em relação à análise de resistência à compressão, O valor mínimo de resistência foi 15,3 MPa para o concreto correspondente a 100% de substituição do agregado natural e o valor máximo de 33,7 MPa correspondente ao concreto de referência. Observa-se na Tabela 3 uma considerável diminuição na resistência à compressão do concreto em relação ao concreto de referência para o C0AR25BR, entretanto o C0AR50BR demonstrou resultados comparáveis ao concreto de referência. Ou seja, não houve relação linear de perda de resistência do concreto com o aumento da substituição de agregado natural pelo agregado reciclado. Esse comportamento pode ser explicado pela existência de partículas não hidratadas de cimento nos corpos de prova de concreto usados para fabricar o agregado graúdo reciclado. Foram utilizados corpos de prova descartados no laboratório e dessa forma não houve controle sobre as propriedades dos corpos de prova, como resistência, idade, quantidade de materiais, etc. Além disso, outro fenômeno que pode ter contribuído é o fato de o agregado reciclado apresentar uma textura de maior rugosidade do que o agregado natural, proporcionando uma melhoria na zona de transição, tendo em vista que a porosidade do agregado favorece a absorção de pasta de cimento, auxiliando no intertravamento mecânico entre matriz (argamassa) e agregado.

A Figura 4 apresenta os valores médios de cada concretagem bem como os respectivos desvios padrão.

Figura 4: Valores médios de resistência à compressão do concreto



Fonte: autoria própria

4 CONCLUSÃO

Esse trabalho mostrou resultados da produção de concreto utilizando agregado graúdo reciclado de ARCO obtido a partir de corpos de prova de concreto descartados. A substituição do agregado natural por agregado reciclado diminuiu a consistência e a resistência mecânica comparado ao concreto de referência, entretanto não houve uma relação linear de perda de resistência do concreto com o aumento da substituição de agregado natural pelo agregado reciclado. O concreto com 50% de substituição apresentou valores de resistência próximos ao concreto de referência e o concreto com 100% de substituição apresentou valores próximos ao concreto com 50% de substituição. Esse comportamento pode ser explicado pela existência de partículas não hidratadas de cimento no ARCO e maior rugosidade e porosidade do mesmo, que auxilia no intertravamento mecânico entre matriz (argamassa) e agregado.

Na análise de cada traço, os valores médios de resistência foram 31,23; 18,8MPa; 29,4MPa e 18,8MPa, e o desvio padrão de 2,1; 2,0, 4,3 e 2,3 MPa, respectivamente para os concretos de referência, 25%, 50% e 100% de substituição. Destaca-se, pouca dispersão, tendo em vista os valores baixos de desvio padrão, evidenciando a uniformidade dos resultados.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais pelas bolsas concedidas para a realização dessa pesquisa que está vinculada ao Projeto Vivência Universitária em Empreendedorismo e Inovação (Vuei).

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116.** Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland: Requisitos e métodos de ensaios, Rio de Janeiro, 24 jun. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16889.** Concreto: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, Rio de Janeiro, 22 dez. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 16917.** Agregado Graúdo: Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 19 abr. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 16972.** Agregados: Determinação da massa unitária e índice de vazios. Rio de Janeiro, RJ, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 5738.** Concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, RJ, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 5739.** Concreto: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, RJ, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211.** Agregados para concreto**:** Especificação, Rio de Janeiro, 29 abr. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**. Cimento Portland: Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos, Rio de Janeiro, 28 dez. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 7809.** Agregado Graúdo: Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – Método de ensaio. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 31 jan. 2019.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO. **Mercado de agregados – Perspectivas para 2022**. São Paulo/SP: ANEPAC, 10 mar. 2022. Disponível em: https://www.anepac.org.br/relacionamento/noticias/item/491-mercado-de-agregados-perspectivas-para-2022. Acesso em: 12 jun. 2023.

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**. Orientador: Valdir Schalch. 2007. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental.) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos/SP, 2007. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-21102007-164548/publico/ANTONIOEDUARDOModelagemPropConcretocomRCD.pdf. Acesso em: 15 jun. 2023.

CALCADO, G.; L ALVES, L.; VAZQUEZ, E.; TOLEDO FILHO, R. D. Construction and demolition waste aggregates: analysis of the physical and mechanical properties of mortars. **IOP Conf. Series**: **Materials Science and Engineering**, [s. l.], ano 2019, v. 562, n. 012016, 2019. DOI 10.1088/1757-899X/652/1/012016. Disponível em: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/652/1/012016. Acesso em: 5 out. 2023.

GERIN, M. T.; STORCH, I. S.; FILHO, F. M. A.; NARDIN, S. **Utilização de Agregado de RCD em Elementos Estruturais**: Panorama Atual. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E SUSTENTABILIDADE, 2º., 2019, Foz do Iguaçu/PR. Disponível em: https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2019/VII-067.pdf

LEITE, M. B.; COSTA, J. A. **Estudo da influência do agregado reciclado de concreto de pré-moldados na resistência do concreto**. Anais do XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construido. 2014, Maceio, Al.

LIU, C.; LI, Q.; SONG, J.; WANG, L.; LIU, H.; GUO, Y.; YUE, G. Review of the Strengthening Methods and Mechanical Properties of Recycled Aggregate Concrete (RAC). **MDPI: Crystals**, [*s. l.*], ano 2020, v. 12, n. 9, 19 set. 2022. DOI https://doi.org/10.3390/cryst12091321. Disponível em: https://www.mdpi.com/2073-4352/12/9/1321/pdf?version=1663588306. Acesso em: 5 out. 2023.

MALTA, J. O.; SILVA, V. S.; GONÇALVES, J. P. Argamassa Contendo Agregado Miúdo Reciclado de Resíduo de construção e Demolição**. Revista eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, [s. l.], ano 2013, v. 1, n. 2, p. 176-188, 13 nov. 2013. DOI https://doi.org/10.9771/gesta.v1i2.7214. Disponível em: https://periodicos.ufba.br/index.php/gesta/article/view/7214/6417. Acesso em: 5 out. 2023.

MCGUINNIS, M. J.; DAVIS, M.; ROSA, A.; WELDON, B. D.; KURAMA, Y. C. Strength and stiffness of concrete with recycled concrete aggregates. **Construction and Building Materials**, v. 154, p. 258 – 269, 2017.

MORA-ORTIZ, R. S.; MUNGUÍA-BALVANERA, E.; DIAS, S. A.; MAGAÑA-HERNÁNDEZ, F.; ANGEL-MERAZ, E.; BOLAINA-JUÁREZ, A. Mechanical Behavior of Masonry Mortars Made with Recycled Mortar Aggregate. **MDPI: Materials**, [s. l.], ano 2020, v. 13, 21 maio 2020. DOI https://doi.org/10.3390/ma13102373. Disponível em: https://www.mdpi.com/1996-1944/13/10/2373/pdf?version=1590059586. Acesso em: 5 out. 2023.

NENO, C.; BRITO, J.; VEIGA, R. Using fine recycled concrete aggregate for mortar production. **Materials Research**, [s. l.], ano 2014, v. 26, n. 1, p. 168-177, 1 fev. 2014. DOI https://doi.org/10.1590/S1516-14392013005000164. Disponível em: https://www.scielo.br/j/mr/a/NbGscRDrgRZpngwHRgPqYWs/?format=pdf&lang=en. Acesso em: 5 out. 2023.

NOGUEIRA, L. G. S. **Utilização de RCD na confecção de um concreto sustentável**. Orientador: Maruska Tatiana N. da Silva. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Centro Universitário de Brasília, Brasília/DF, 2013. Disponível em: https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/235/6363/1/20916233.pdf. Acesso em: 15 jun. 2023.

PIMENTEL, L. L.; RIZZO, G. F.; JACINTHO, A. E. P. G. A.; FONTANINI, P. S. P. Concreto produzido com agregado reciclado: uma análise de durabilidade visando uso em estruturas. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, São Paulo/SP, v. 13, n. 6, ed. 13613, 17 abr. 2020. Disponível em: https://www.scielo.br/j/riem/a/dnRDfh5NFXNgnjtFd8dxJpM/?lang=en&format=pdf. Acesso em: 13 jun. 2023.

ROSADO, L. P.; COSTAFREDA, J.; MARTÍN, D. PRESA, L.; GULLON, L. **Handbook of Sustainable Concrete and Industrial Waste Management**: Role of transport distance on the environmental impact of the construction and demolition waste (CDW) recycling process. [*S. l.*]: Woodhead Publishing, 2022. 579-593 p. DOI https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821730-6.00028-0. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128217306000280. Acesso em: 5 out. 2023.

SILVA NETO, G. A.; LEITE, M. B. Study of the influence of the mortar fine recycled aggregate ratio and the mixing sequence on the behavior of new mortars. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 2, p. 53 – 69, 2018

WANG, Y.; WANG, Q.; GENG, Y.; RANZI, G. **Long-term behaviour of simply supported composite slabs with recycled coarse aggregate**. **Magazine of Concrete Research,** [*s. l.*], v. 68, ed. 24, p. 1278-1293, dez 2016. Disponível em: https://www.icevirtuallibrary.com/doi/10.1680/jmacr.16.00090. Acesso em: 12 jun. 2023.