**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO
POR RCD MISTO AO CONCRETO**

Karla Thomé (*), Polyana Ghellere, Dayana Ruth Bola Oliveira.

*Centro Universitário Dinâmica das Cataratas – UDC, Foz do Iguaçu/ PR; karla-thome@hotmail.com.

RESUMO

Com o crescimento populacional e desenvolvimento urbano, a produção de resíduos de construção e demolição vem crescendo significativamente ao longo dos anos. A indústria da construção civil é uma das principais fontes de geração e degradação ambiental devido à má disposição de seus resíduos do seu processo construtivo. O principal objetivo deste trabalho será apresentar a viabilidade da reutilização dos resíduos de construção e demolição (RCD), dos tipos cinza e vermelho, em substituição parcial dos agregados miúdos naturais para produção de concreto, com a finalidade de analisar as propriedades mecânicas, comparados ao concreto convencional. Para a realização do mesmo, os resíduos mistos serão substituídos parcialmente nas proporções de 0%, 25%, 50% e 100% ao agregado miúdo natural, ensaiados aos 7 e 28 dias. Os corpos de provas moldados apresentaram bons desempenhos aos 7 dias de cura, tendo como resistência à compressão estimada entre 10,86 MPa e 23,47 MPa. Aos 28 dias os corpos de provas apresentam suas resistências estimadas entre 19,78 MPa e 34,31 MPa, 26,95 MPa, 29,15 MPa e 19,78 MPa. Portanto é viável a utilização do agregado miúdo reciclado com substituição de 25% e 50%, pois, se comparados ao concreto de referência, a diferença é de apenas 18,25%.

PALAVRAS-CHAVE: RCD, Entulhos, Agregado Miúdo Reciclado, Resíduos Mistos.

ABSTRACT

With population growth and urban development, the production of construction and demolition waste has grown significantly over the years. The construction industry is one of the main sources of environmental generation and degradation due to the poor disposition of its waste from its construction process. The main objective of this work will be to present the feasibility of the reuse of construction and demolition residues (CDR) of the gray and red types, in partial replacement of the natural small aggregates for concrete production, in order to analyze the mechanical properties, conventional concrete. To accomplish this, the mixed residues will be partially replaced in proportions of 0%, 25%, 50% and 100% to the natural aggregate, tested at 7 and 28 days. The molded test bodies presented good performances at 7 days of cure, with an estimated compressive strength of 10.86 MPa and 23.47 MPa. At 28 days the test bodies have their estimated strengths between 19.78 MPa and 34.31 MPa, 26.95 MPa, 29.15 MPa and 19.78 MPa. Therefore, it is feasible to use the recycled kid's aggregate with replacement of 25 % and 50%, as compared to the reference concrete, the difference is only 18.25%.

KEY WORDS: CDR, Debris, Added Kid Recycled, Mixed Waste.



INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos principais setores econômicos do país atualmente. É uma das principais fontes de geração e degradação ambiental devido a má disposição de seus resíduos das diferentes etapas de seu processo construtivo. Sendo um dos maiores consumidores de recursos naturais, a construção civil pode ser uma das maiores causas da escassez de matéria prima (RODRIGUES e FUCALE, 2014).

Os entulhos, como também são conhecidos esses resíduos são provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc. (CONAMA, 1986).

De acordo com Duarte e Godinho (2015), o grande volume de entulho gerado pela construção civil está se transformando em um grande problema às cidades e ao país. Inúmeras formas de reuso desses materiais são apresentadas, porém existe uma grande dificuldade cultural para o aproveitamento eficaz do material. Uma em cada cinco obras reciclam seu resíduo, o Brasil apresenta aproximadamente 84 milhões de metros cúbicos de entulho anualmente, sendo aproveitado apenas 17 milhões.

Segundo Borges, *et al.*, (2015), no Brasil, a geração contínua e crescente de RCD está diretamente ligada ao elevado desperdício de materiais na realização dos empreendimentos. Estima-se que, para cada tonelada de lixo urbano recolhido, são coletadas duas toneladas de entulho originado do setor de construção civil. Esse dado alarmante revela a necessidade de políticas de controle, coleta, transporte e disposição final e que viabilizam o emprego desses resíduos de construção e demolição reciclados como matéria-prima na confecção de novos materiais.

O maior componente dessas sobras de materiais é o concreto e os restos de alvenaria. A melhor opção para reutilização seria transformar esses resíduos em agregados reciclados, porém poderá ser dificultado devido à baixa qualidade de alguns agregados reciclados em comparação com os agregados naturais (SECO *et al.*, 2018).

O conhecimento das propriedades do concreto preparado com agregados reciclados ainda é pouco reconhecido, dessa forma, é necessário estudos de dosagens acerca dos concretos reciclados e de sua influência nas diferentes propriedades mecânicas. Logo, é de suma importância buscar novos rumos para a implantação desses entulhos na própria área da construção civil, deixando seus processos cada vez mais sustentáveis (MALTA, 2012).

Este estudo tem por finalidade analisar as propriedades e comportamentos do concreto convencional, comparado com o concreto misto produzido com a utilização de resíduos RCD cinza e vermelho como material alternativo, analisando sua viabilidade.

OBJETIVOS

Apresentar a viabilidade da reutilização dos resíduos de construção e demolição (RCD) mistos (tipos cinza e vermelho), em substituição parcial dos agregados miúdos naturais, para produção de concreto.

Analisar as propriedades e comportamentos do concreto convencional, comparado com o concreto misto produzido com a utilização de resíduos RCD cinza e vermelho como material alternativo, analisando sua viabilidade.

METODOLOGIA

Foram desenvolvidos os métodos da caracterização do agregado miúdo, agregado graúdo e dos resíduos.

GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO

O ensaio de determinação da granulometria para o agregado miúdo foi realizado de acordo com a NBR NM 248/03.

O ensaio de análise granulométrica foi realizado com a areia natural e o RCD cinza e vermelho para a determinação da dimensão máxima característica e seu módulo de finura

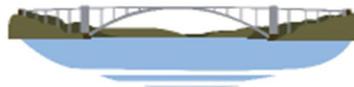
GRANULOMETRIA DO AGREGADO GRAÚDO

O ensaio de determinação da granulometria para o agregado graúdo foi realizado de acordo com a NBR NM 248/03.

MASSA ESPECÍFICA, MASSA APARENTE, MASSA UNITÁRIA E ABSORÇÃO DO AGREGADO MIÚDO

O ensaio para a determinação da massa específica e massa aparente do agregado miúdo foi realizado de acordo com a NBR NM 52/09.

O ensaio para a determinação da absorção do agregado miúdo foi realizado de acordo com a NBR NM 30/01.



O ensaio para a determinação da massa unitária do agregado miúdo foi realizado conforme a norma NBR NM 45/06.

MASSA ESPECÍFICA, MASSA APARENTE, MASSA UNITÁRIA E ABSORÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO

O ensaio para a determinação da massa específica, massa aparente e absorção do agregado graúdo foi realizado de acordo com a NBR NM 53/03.

DOSAGEM E PRODUÇÃO DO CONCRETO

Para a produção do concreto e a determinação do traço dos corpos de prova foi utilizado o método ABCP. Foram determinadas as massas específicas, unitárias e composições granulométricas dos agregados utilizados, sendo, a areia, a brita, o resíduo cinza e o resíduo vermelho. Foram determinados 7 traços conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Traços utilizados, (AUTORA, 2018).

TRAÇOS	Cimento	Areia	Brita	Resíduo Cinza	Resíduo Vermelho	Fator A/C
Traço 1 - 0% subs.	1	1,76	2,13	-	-	0,46
Traço 2 -25% subs. (25%cinza+75%vermelho)	1	1,32	2,13	0,11	0,34	0,62
Traço 3 -25% subs. (25%vermelho+75%cinza)	1	1,32	2,13	0,34	0,11	0,73
Traço 4 - 50% subs. (25%cinza+75%vermelho)	1	0,88	2,13	0,22	0,66	0,58
Traço 5 - 50% subs. (25%vermelho+75%cinza)	1	0,88	2,13	0,66	0,22	0,67
Traço 6 - 100% subs. (25%cinza+75%vermelho)	1	-	2,13	0,44	1,32	0,84
Traço 7 - 100% subs. (25%vermelho+75%cinza)	1	-	2,13	1,32	0,44	0,90

Determinação da consistência do concreto (Slump Test)

Ao finalizar a mistura, foi realizado o abatimento do tronco de cone conforme prescreve a NM 67/1998 para a determinação do concreto. O estudo previa um abatimento de 80 a 100mm.

Moldagem e cura dos CP's

Após o ensaio do Slump Test, foram moldados corpos de provas cilíndricos 10x20cm e prismáticos 40x10x10cm, conforme a NBR 5738:2015.

ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

Este ensaio foi realizado conforme a NBR 5739/09.

ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

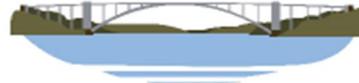
O ensaio foi realizado conforme a NBR 7222/10.

ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

O ensaio foi realizado conforme a NBR 12142/10.

ENSAIO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE

O ensaio foi realizado conforme a NBR 8522/17.

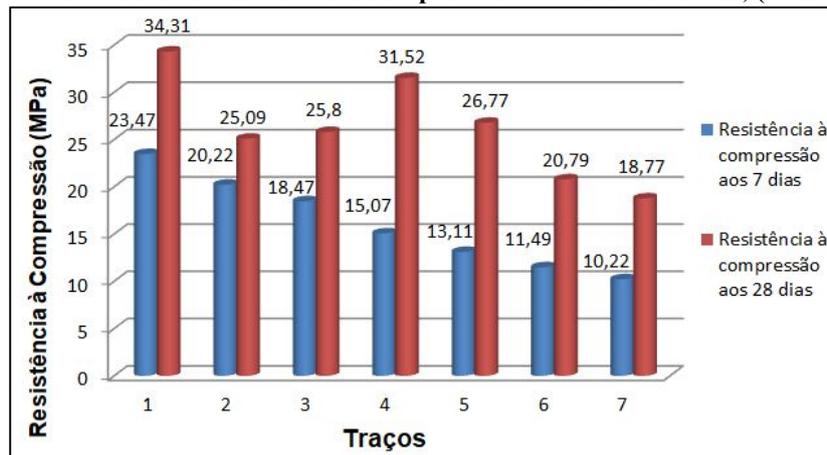


RESULTADOS E DISCUSSÕES

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

Para investigar a relação entre a resistência à compressão dos corpos de prova e o percentual de substituição, os valores médios obtidos para este parâmetro foram plotados em função da substituição parcial do agregado miúdo por RCD misto, conforme a Figura 1.

Figura 1 – Resultados de Resistência à Compressão Axial aos 7 e 28 dias, (Autora, 2018).



No ensaio realizado após 28 dias de cura submersa, foi possível obter valores de resistência à compressão maior que todos os valores de corpos de prova aos 7 dias de cura.

Correia *et al.*, (2017), explica que devido a alta porosidade dos agregados de RCD absorvem mais água de amassamento, reduzem o fator a/c prejudicando a reação de hidratação do concreto, e conseqüentemente reduzindo a sua resistência.

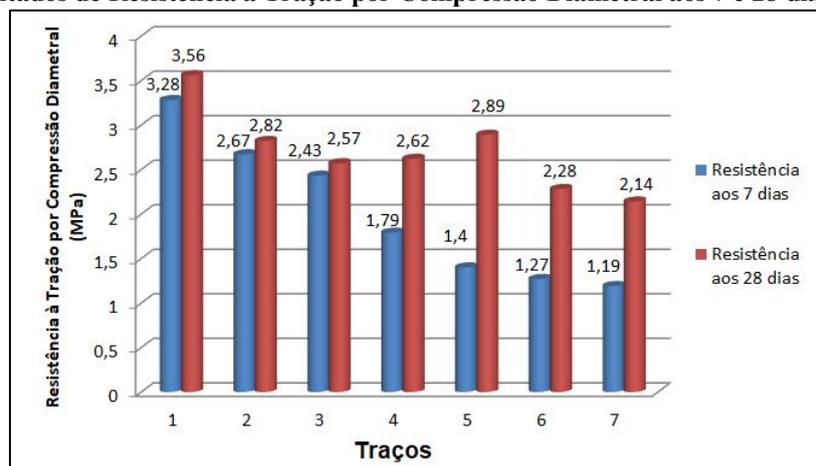
Entretanto, pode-se perceber que a substituição de 50% para o traço 5 teve um aumento se comparado com a substituição de 25%. Frotté *et al.*, (2017) explica que esse fato pode ter ocorrido devido ao fato de que a água absorvida pelos agregados reciclados pode ter se tornado disponível, com o passar do tempo de mistura, para a hidratação de partículas remanescentes de cimento que não foram hidratadas.

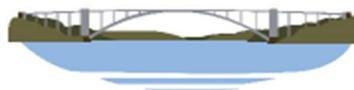
O mesmo ganho não pode ser observado para a substituição de 25% para os traços 2 e 3. Figueiredo *et al.*, (2016) explica em seus trabalhos que esse fato pode ter ocorrido por possuir menos material reciclado adicionado à mistura, conseqüentemente, influi em uma menor quantidade de finos e possíveis partículas de cimento desidratadas.

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Para os ensaios de tração por compressão diametral do concreto aos 7 e 28 dias romperam-se 3 corpos de prova para cada teor de substituição. Seus resultados médios estão apresentados na Figura 2.

Figura 2 – Resultados de Resistência à Tração por Compressão Diametral aos 7 e 28 dias, (Autora, 2018).





Diante dos resultados encontrados, é possível observar que conforme ocorreu no ensaio de compressão axial, as cargas reduziram conforme o emprego de RCD misto foi substituído nas dosagens, no entanto, destaca-se o caso do concreto com 50% de substituição para o traço 5, que apresentou um aumento na resistência, semelhante ao resultado do traço 2 com 25% de substituição.

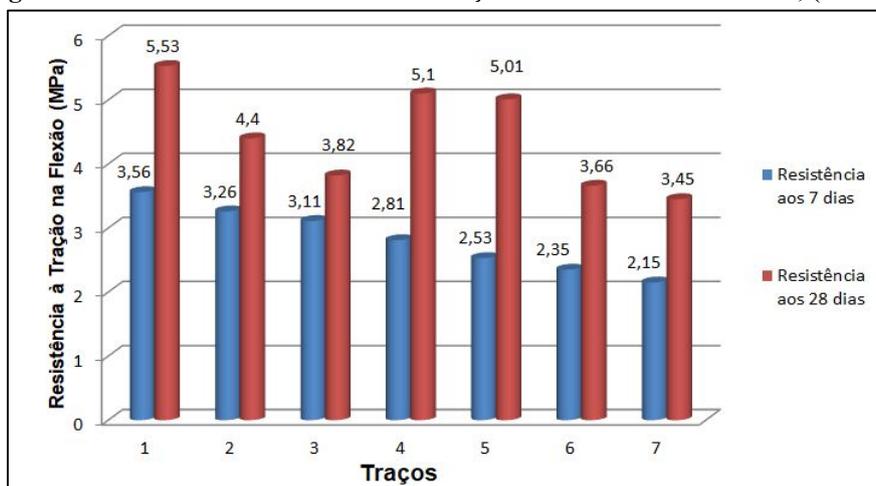
Segundo Santos (2017), os RCD's mistos apresentam matéria orgânica, que provoca o aumento do tempo de início de pega, reduzindo a resistência inicial do concreto, que se deve à formação de bolhas de ar na mistura. Além disso, os ácidos orgânicos da mistura se condizem com o hidróxido de cálcio liberado na hidratação do cimento, reduzindo o pH, estendendo a sua hidratação.

Após realizar os ensaios de ruptura à tração por compressão diametral, foi possível observar a distribuição dos agregados dentro da massa de concreto, assim pode-se avaliar que não houve segregação.

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

Para os ensaios de tração na flexão do concreto aos 7 e 28 dias romperam-se 3 corpos de prova para cada teor de substituição. Seus resultados médios estão apresentados na Figura 3.

Figura 3 – Resultados de Resistência à Tração na Flexão aos 7 e 28 dias, (Autora, 2018).



O comportamento das composições quanto à referência à tração foi semelhante visto na resistência à tração na compressão diametral, onde cada composição de RCD misto diminui sua resistência diminuiu constantemente em relação ao traço de referência.

Observa-se novamente um ganho de resistência aos 28 dias para os traços 4 e 5 com 50% de substituição de RCD. Ricci e Balbo (2009) verificaram este acontecimento em seu trabalho, eles explicam que esse aumento na resistência ocorreu pela alteração no consumo de cimento, pois ela é afetada pela pasta/agregado.

MÓDULO DE ELASTICIDADE

Os resultados dos ensaios de módulo de elasticidade do concreto aos 28 dias são apresentados na Figura 4.

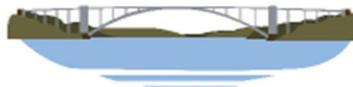
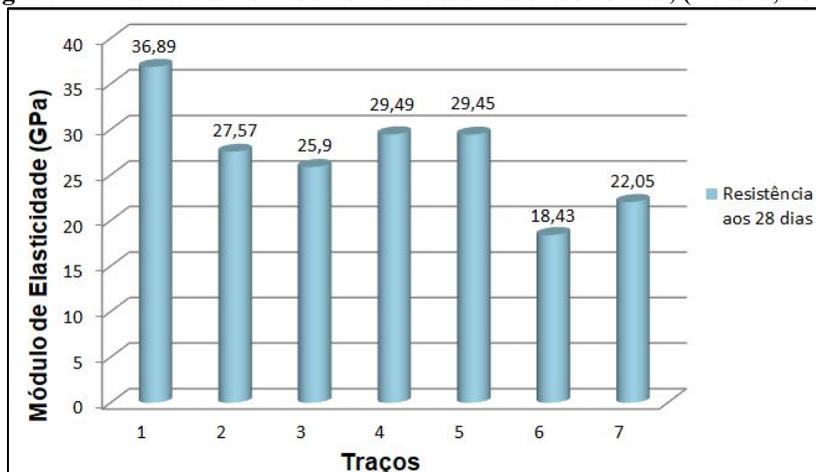


Figura 4 – Resultados do Módulo de Elasticidade aos 28 dias, (Autora, 2018).



Pode-se perceber que, após os 28 dias de cura ocorreu uma diminuição no módulo de elasticidade do concreto com o aumento do teor de substituição. Segundo Khatib (2005), com base nos ensaios obtidos para a determinação do índice de vazios, essa redução era esperada.

Porém, ao compararem-se os resultados, nota-se que o teor de 50% de substituição nos traços 4 e 5 obtiveram um aumento. Figueiredo (2016) explica que um dos motivos para esse acréscimo pode ter ocorrido pela presença de partículas de cimento na fração miúda do agregado reciclado cinza, ou ainda pelo alto teor de filler, diminuindo a presença de poros, aumentando a resistência. Outra razão seria devido à água absorvida, que é liberada pelo agregado durante a cura, esse resultado também foi observado na pesquisa de Araújo (2014), em que segundo o mesmo “[...] o agregado reciclado retém a água da mistura, por ter uma maior absorção de água quando comparado ao agregado natural, liberando-a gradualmente durante o processo de cura do concreto.”.

CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos, nota-se que a substituição do agregado miúdo natural por RCD misto aumentou a resistência do concreto mesmo com o aumento do fator a/c , porém, levou a diminuição da trabalhabilidade, massa específica seca e saturada, bem como o aumento da absorção da mistura.

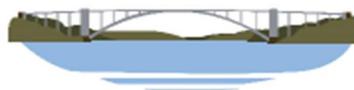
Para os traços com a substituição de 50% na introdução de RCD misto obteve-se um aumento à resistência de Compressão Axial, Tração na flexão, Tração na Compressão Diametral e Módulo de Elasticidade. Com 100% de substituição, os corpos de prova alcançaram a média de resistência à compressão acima de 18 MPa aos 28 dias, sendo viável a sua utilização.

Entretanto, foi comprovado que quanto maior a % de RCD misto na mistura de concreto, mais baixa é a sua resistência mecânica, porém, mesmo com essas parcelas de substituição, não foram encontradas diferenças estatisticamente insignificativas em suas propriedades para os 7 traços, aos 7 e 28 dias.

Por meio da pesquisa realizada, foi possível concluir que a reciclagem de resíduos se exibe como uma boa alternativa para a problemática gerada pelo RCD, além disso, essa reutilização do material diminui os fatores impactantes no meio ambiente. Considerando o desperdício de materiais de construção e demolição, o RCD pode ser utilizado em união com o agregado natural, só é necessário um bom estudo desses materiais, especialização e treinamento de mão de obra da construção civil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.
2. _____ **NBR 5739:** Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2009.
3. _____ **NBR 7222:** Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.
4. _____ **NBR 8522:** Concreto: Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008.
5. _____ **NBR 12142:** Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de provas prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.
6. _____ **NBR NM 30:** Agregado Miúdo – Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001.
7. _____ **NBR NM 45:** Agregados – Determinação da massa unitária e volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
8. _____ **NBR NM 52:** Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.



9. _____ **NBR NM 53:** Agregado Graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003.
10. _____ **NBR NM 67:** Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.
11. _____ **NBR NM 248:** Agregados – Determinação da Composição Granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
12. ARAÚJO, Neuber Nascimento de. **Desempenho de Argamassa de Revestimento Produzidas com Agregados Reciclados Oriundos do Resíduo de Construção e Demolição da Grande Natal** – RN. 2014. 130 fls. Dissertação - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil (Obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.
13. BORGES, Fabrini Quadros, PINTO, Amanda Campos, SANTOS, Taianaacã Fernandes Brandão, LISBOA, Educélio Gaspar e SOUZA, Fernanda Moreira. Resíduos da Construção Civil: O Caso de uma Construtora no Município de Paragominas – PA. 2015. Disponível em: <<http://eumed.net/cursecon/ecolat/br/15/paragominas.html>>. Acesso em: 03 Julho, 2018.
14. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA 01. Brasília, 1986. Disponívem em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: 24 Maio, 2018.
15. CORREIA, João Victor Freitas Barros; FRAGA, Yuri Sotero Bomfim. A utilização de Agregados Provenientes de Resíduos de Construção e Demolição em Concretos sem Fim Estruturais. **Caderno de Graduação Ciência Exatas e Tecnológicas**. Aracaju. V. 4. N. 2. p. 75-86, Out 2017.
16. DUARTE, Matheus Lucas; GODINHO, Daiane dos Santos da Silva. Comportamento do concreto com substituição do agregado miúdo convencional por agregado miúdo reciclado. UNESC-SC. 22p. fev/2015.
17. FIGUEIREDO, Nathália; VARGAS, Alexandre. **Análise da Influência do Uso de Agregados Reciclados da Região de Criciúma – SC nas Propriedades Mecânicas de Concretos Estruturais**. 2016. 23 fls. Artigo (Requisito parcial a obtenção do título de Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, 2016.
18. FROTTÉ, C.; NUBILA, C. S. A. D.; 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 (Rio J.)**. vol.22. n.2. Rio de Janeiro, 2017.
19. KHATIB, J. M., “Properties of concrete incorporating fine recycled aggregate”, *Cement and Concrete Research*, [s.l.], n. 35, p. 763-769, 2005.
20. MALTA, Juliana Oliveira. Dosagem de Concretos Produzidos com Agregado Miúdo Reciclado de Resíduos de Construção e Demolição. 2012. 177fls. Dissertação (Mestre em Engenharia Ambiental Urbana) – Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2012.
21. RICCI, Gino; BALBO, José Tadeu. Resistência e elasticidade de concretos compactados com agregados reciclados de construção e de demolição para aplicações em pavimentação. **TRANSPORTES**, v. XVII, n. 2, p. 27-35, dezembro 2009.
22. RODRIGUES, Clarissa Ribeiro de Sá; FUCALE, Stela. Dosagem de concretos produzidos com agregado miúdo reciclado da construção civil. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 99-111, jan./mar. 2014.
23. SANTOS, Rafael Reinheimer dos. **Estudo da Resistência Mecânica do Concreto Permeável com Substituição do Agregado Natural por Agregado Reciclado**. 2017. 77fls. Trabalho de Conclusão de Curso – TCC (Requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Rio Grande do Sul – Unijui, Santa Rosa, 2017.
24. SECO, A.; OMER, J.; MARCELINO, S.; ESPUELAS, P.; PRIETO, E. Sustainable unfired bricks manufacturing from construction and demolition wastes. Elsevier. London and Spain, 2018.
25. TROIAN, A. **Avaliação da durabilidade de concretos produzidos com agregado reciclado de concreto frente à penetração de íons cloreto**. (Dissertação Mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, RS, 2010, 129 p.