ENARC
FOZ DO IGUAÇU-2023

QUALIDADE DO AGREGADO RECICLADO MISTO DE USINAS RECICLADORAS DE RCC DE CAMPO GRANDE – MS

Quality of Mixed Recycled Aggregate from RCC Recycling Plants in Campo Grande – MS

Enilda Maria da Silva Garcia de Freitas
UFMS| Campo Grande, MS | enilda.freitas@ufms.br

Aline de Aquino Mendes
UFMS| Campo Grande, MS | aline.deaquino@gmail.com

Arielle Queiroz de Almeida
UFMS| Campo Grande, MS | arielle0702@hotmail.com

Gabrielly Ferreira Simão
UFMS| Campo Grande, MS | bielyferreira1@gmail.com

Mayara Tartarotti Cardozo da Silva
UFMS| Campo Grande, MS | mayaratartarotti@gmail.com

Ana Paula da Silva Milani
UFMS| Campo Grande, MS | ana.milani@ufms.br

Resumo

Apesar da implantação dos planos gestores em Campo Grande-MS, a reciclagem de resíduos da construção civil (RCC) tem encontrado obstáculos, sendo relevante a garantia da qualidade do agregado reciclado misto (ARM) para os stakeholders da logística reversa do setor. Assim, estudou-se a variabilidade das características físicas dos ARM de classe A produzidos pelas recicladoras da cidade por meio de coleta periódica de amostras de lotes de ARM em duas empresas. Foram aplicados ensaios de caraterização física e verificado o alcance dos requisitos normativos para uso do ARM em compósitos cimentícios e/ou pavimentação. Análise estatística mostrou significativa variabilidade das características entre os lotes, no entanto a britagem está adequada para atendimento dos limites de absorção de água, teor de finos e de friáveis, índice de forma, e distribuição granulométrica nas faixas de agregados graúdos e miúdos. Somente o parâmetro "materiais indesejáveis' se mostrou o gargalo do processo de reciclagem das recicladoras.

Palavras-chave: Resíduos de construção e demolição; Caracterização física; Variabilidade.

ABSTRACT

The recycling of construction waste (RCC) in Campo Grande - MS has encountered obstacles even with the implementation of management plans. Quality assurance of the mixed recycled aggregate (ARM) is relevant for the sector's reverse logistics stakeholders. Thus, the variability of the physical characteristics of the ARM produced by the city's recyclers was studied through the periodic collection of samples of ARM batches in two companies. Physical characterization tests were applied and the scope of the normative requirements for the use of ARM in cementitious composites and/or paving was verified. Statistical analysis showed significant variability of characteristics between batches, however crushing is adequate to meet the limits of water absorption, fine and friable content, form index, and granulometric distribution in the ranges of coarse and fine aggregates. Only the "undesirable material" parameter proved to be the bottleneck in the recyclers' recycling process.

Keywords: Construction and demolition waste; Physical characterization; Variability.

1 INTRODUÇÃO

A prefeitura do município de Campo Grande – MS pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente e Gestão Urbana (SEMADUR) realiza a gestão dos resíduos da construção civil (RCC) por meio do Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PIGRCC, 2010), a qual tem específico a assistência do Plano de Coleta Seletiva de Campo Grande (PCSCG, 2017).

Apesar da implementação destes planos gestores, a reciclagem do RCC tem encontrado grandes obstáculos na cidade de Campo Grande, seja por falta de anuência da população à coleta seletiva ou o desinteresse por meio do setor da construção em buscar o desenvolvimento do setor de logística reversa. Tudo isso vem causando descarte irregular pela comunidade e grandes empilhamentos nas empresas de triagem e reciclagem do RCC, sem ter um uso ou destinação adequado (MILANI e PUPIM, 2023).

Segundo Pupim (2022) numa pesquisa aplicada aos agentes envolvidos - construtores/empreiteiros - em Campo Grande trouxe resultado surpreendente, evidenciando que a maioria dos possíveis *stakeholders* não sabiam da existência de usinas de reciclagem que produzem o agregado reciclado. Os impedimentos identificados para utilização do RCC reciclado são devido às informações insuficientes sobre disponibilidade e previsibilidade de produção; incerteza da qualidade e eficácia dos produtos para projetos de construção.

Estudos como de Bessa *et al*. (2019), Wu *et al*. (2019), Oyedele *et al*. (2014) mostram que os diferentes produtos obtidos nesse processo têm se mostrado como boas alternativas ao agregado natural em diversas aplicações, como base e sub-base de pavimentos, cobertura primária de vias, agregado para concretos e argamassas, e matéria-prima para a fabricação de tijolos e blocos. No entanto, mesmo com a implementação dos programas de gerenciamento do RCC, ainda há deficiências nas ações relacionadas com o manejo dos resíduos e grande desinteresse na aquisição desses agregados reciclados para reaplicação no setor da construção civil, configurando desafios a serem superados.

Como critério relevante para a melhora do sistema de logística reversa dos RCC, é necessário que os *stakeholders* tenham conhecimento da disponibilidade do material na cidade e tenham garantia de que serão atendidos com qualidade nas quantidades e prazos pré-estabelecidos. Fica evidente que há um desconhecimento da sociedade em geral sobre a existência do comércio de agregado reciclado, sendo necessária ampla divulgação do material atrelado a pesquisas que comprove sua qualidade sob condições de normas e diretrizes da construção civil e pavimentação.

Assim, estudou-se a variabilidade das características físicas dos agregados reciclados mistos (ARM) produzidos pelas recicladoras de RCC de Campo Grande - MS para contribuir com o processo de reciclagem mais transparente, que assegure atendimento aos critérios normativos e maior confiabilidade do produto final.

2 MÉTODO

No ano de 2022 foi realizada a parceria com duas empresas privadas do setor de reciclagem do RCC na cidade de Campo Grande, sendo intituladas para o presente estudo como Empresa A e Empresa E. Estas recicladoras recebem diariamente caçambas com entulhos de obras, reformas e demolições; sendo o volume composto pela mistura de todos os tipos de materiais de construção, o que leva a ser classificado como entulho sujo e misto. Dentro das recicladoras existe o processo de segregação dos resíduos de classe A (recicláveis como os agregados); e classe B (recicláveis para outras destinações como plásticos, papel/papelão, metais, entre outros); e posteriormente o RCC classe A segue o fluxo de processos de triagem e britagem.

A Empresa A produz os tipos de agregados reciclados comercialmente intitulados de AR Bica Corrida (BC-A), AR Rachão (RA-A), AR Brita 1 (B1-A), AR Pedrisco (PE -A) e AR Pó de Pedra (PP-A) (Figura 1); sendo os lotes de cada material reciclado formado por pilha com volume acumulado de aproximadamente 200 m^3. Já na Empresa E a produção foi o agregado reciclado AR Bica Corrida (BC-E) (Figura 1), com lotes composto por pilha em volume acumulado de 30 m^3. Em ambas recicladoras, para se ter a amostra representativa de cada lote coletou-se entre 1 a 3 sacos de ráfia pelos procedimentos da NBR 10007 (ABNT, 2004). O material foi coletado a cada 15 dias por um período de 6 meses, totalizando para cada tipo de agregado reciclado a amostragem de 12 lotes.

Para analisar a qualidade do agregado reciclado das empresas foram aplicadas nestas amostras os ensaios de caracterização física de agregados graúdos e miúdos naturais e verificado o alcance dos limites dos seguintes parâmetros das NBR 15115 (ABNT, 2004) e NBR 15116 (ABNT, 2021): dimensão máxima característica, módulo de finura, índice de forma, materiais indesejáveis, teor de argila em torrões, absorção de água, teor de finos, classificação ARCI (agregado reciclado cimentício) ou ARM (agregado reciclado misto).

Para o estudo da influência do tipo e dos processos de triagem e britagem do RCC, foi realizado a análise estatística pela aplicação do teste de *Knott Scott* e a análise de variância ANOVA do conjunto de valores encontrados de caracterização física dos lotes dos agregados reciclados, considerando um nível de confiança de 90% (α = 0,1).

Figura 1: Amostra dos agregados reciclados coletados nas empresas estudadas.



Fonte: Autores, 2022.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

A NBR 7211 (ABNT, 2009) estabelece limites de distribuição granulométrica para os agregados a serem utilizados na construção civil. Sendo assim, o AR PP-A se encaixa dentro dos limites da granulométricos do pó de pedra natural, entretanto, por ter tendência de ser um material mais fino (alta presença de solo e cerâmica vermelha) está no limite inferior da zona utilizável.

O material reciclado AR PE-A apresentou na maioria dos lotes grande porcentagem agregado reciclado miúdo, mas não atendeu os valores referente ao módulo de finura e diâmetro máximo para ser classificado na faixa granulométrica de miúdo. Considerando essa característica pode-se classificar como AR pedrisco misto, ou seja, agregado reciclado pedrisco com pó de pedra.

Para o AR B1-A, a maioria dos lotes se encontra dentro da zona utilizável de agregado graúdo natural brita 1. E o AR RA-A, tem-se a presença de cerca de 20% dos grãos com diâmetro acima de 75 mm, a qual caracteriza como pedra rachão. No entanto, há uma distribuição granulométrica entre as classes de agregados naturais brita 2, brita 3 e brita 4.

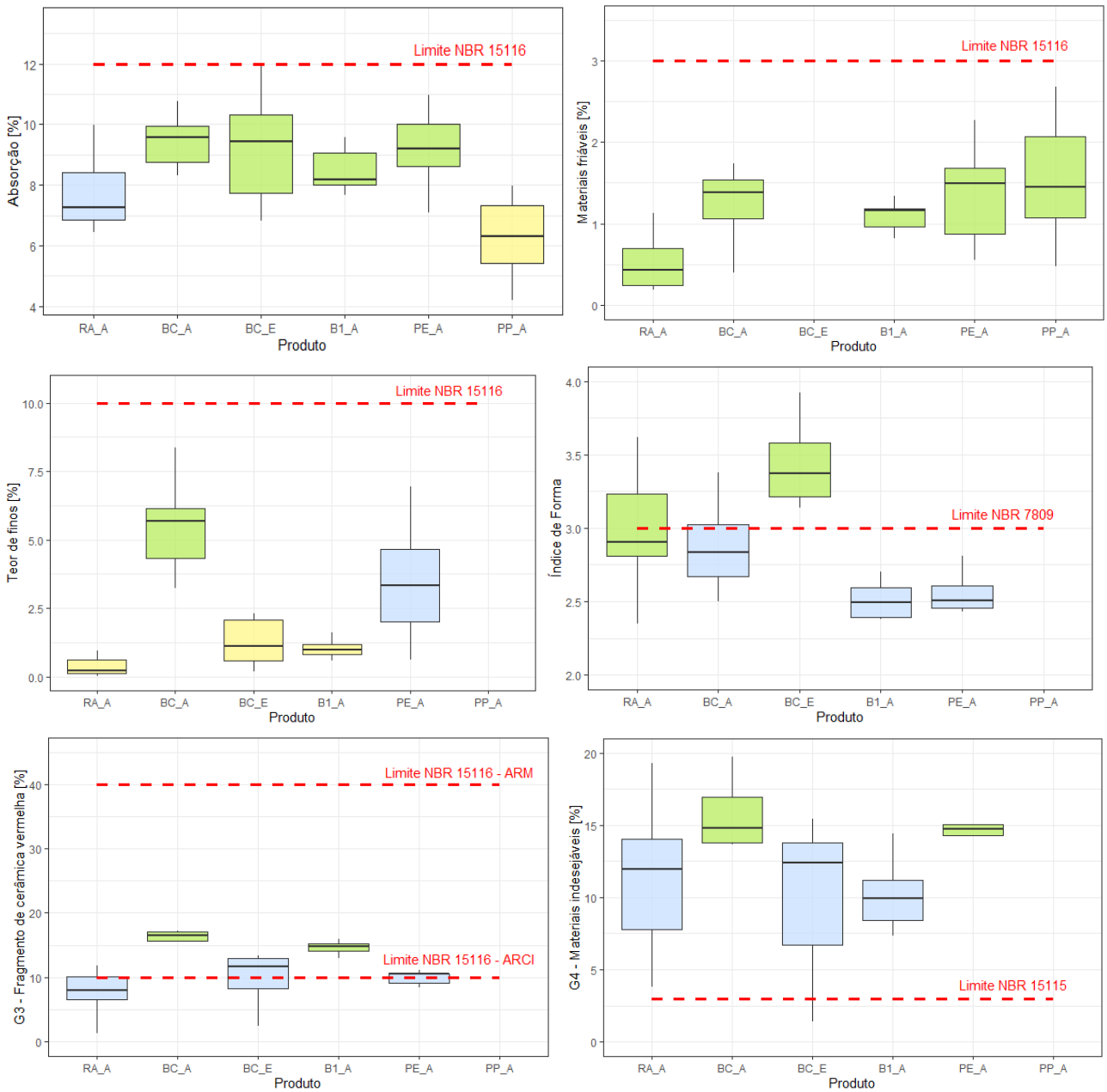
Considerando o conceito de bica corrida, o AR BC-A foi classificado pelo conjunto normativo do DNIT (2010), no entanto a maior parte dos lotes não apresentaram composição granulométrica dentro dos limites utilizáveis da Faixa D. Já para o AR BC-E, apesar de nomeado comercialmente como bica corrida, não possui porcentagens mínimas de pó de pedra para classificá-lo dentro da Faixa D do DNIT (2010). Sendo assim, foi realizada a análise nos limites da distribuição granulométrica do agregado graúdo natural, se caracterizando pelo diâmetro máximo de 75 mm e composição corrida nas faixas granulométricas dos agregados naturais brita 1, brita 2 e brita 3.

Apesar do parâmetro módulo de finura da maioria das amostras dos agregados reciclados não estar enquadrado nos limites de zona utilizável de agregados naturais, bem como não atendimento a faixa D do DNIT, não há impedimento do AR ser comercializado, pois é passível de adequação para a composição granulométrica de materiais de construção e pavimentação.

3.2 REQUISITOS NORMATIVOS

Considerando os requisitos normativos, o agregado reciclado de ambas empresas segue a classificação ARM - Agregado Reciclado Misto de classe A da Resolução CONAMA 307, pois o entulho recebido pelas recicladoras é proveniente em sua maioria de operações sem separação prévia durante a coleta na obra/reforma/demolição, porém passa pela triagem durante o processo de reciclagem na usina para segregação na classe A. Alguns lotes apresentaram o teor de cerâmica vermelha ou branca não polida (G3) menor de 10%, o que leva a classificação como ARCI, no entanto foram exceções não-significativas para o conjunto estudado (Figura 2).

Figura 2: Características físicas e desempenho dos lotes de produtos ARM das empresas estudadas.



Fonte: Autores, 2023.

Quando aplicado níveis de significância e valores-p para verificar a variabilidade dos lotes entre si dentro de um mesmo produto, houve diferença estatisticamente significativa para todas as caraterísticas físicas analisadas. Isso mostra que o tipo e a procedência do entulho influenciam na padronização da produção dos agregados reciclados, conforme observado por Martins Júnior *et al*. (2022) em outras recicladoras do Brasil.

Por meio da análise de variância ANOVA, o parâmetro com menor ocorrência de variabilidade entre os lotes foi o índice de forma, associado ao processo de britagem do entulho. Em contrapartida, através da análise do coeficiente de variação, os dois parâmetros que apresentaram maiores variações numéricas entre os lotes foram o teor de finos e de material friável, ambos associados a qualidade do material processado.

Os lotes entre si apresentam semelhante comportamento de distribuição granulométrica e cumprem os requisitos normativos solicitados para capacidade de absorção de água, os teores de finos e de friáveis, e índice de forma (exceto BC-E). Isso foi corroborado quando aplicado o teste de *Knott Scott* e verificado que para a maior parte dos parâmetros estudados houve o agrupamento das médias dos lotes em AR mais grossos e em AR com maior presença de partículas finas, ou seja, mesma cor corresponde a produtos estatisticamente iguais entre si dentro da característica física analisada (Figura 2). Esse cenário mostra que o processo de britagem e peneiramento de ambas recicladoras são eficazes para produção e controle de qualidade das faixas granulométricas de ARM.

Em específico para o AR BC, analisou-se o coeficiente de uniformidade (Cu) e teor passante 0,42 mm, resultando em valores de Cu inferiores a 10, e nenhum dos lotes exibiram teor de materiais passantes entre 10% e 40%. Logo, AR BC apesar da sua composição ter variadas faixas granulométricas, os mesmos não estão em proporcionalidade adequada, classificando como "mau graduada" para pavimentação segundo NBR 15115 (ABNT, 2004). É necessária a correção com agregados naturais e/ou solo.

Ressalta-se que o parâmetro "materiais indesejáveis" (G4) se mostrou o gargalo do processo de reciclagem de ambas recicladoras, refletindo negativamente na qualidade final dos produtos (Figura 2). A presença significativa de materiais ferrosos, madeira, plástico, borracha, entre outros no ARM corroborou a deficiência na triagem do entulho nas plantas fabris, a qual foi observada por Pupim (2022) durante estudos da produção destas empresas.

Como possíveis soluções para melhoramento das práticas de reciclagem nas empresas estudadas, e maior controle da qualidade dos produtos gerados, recomenda-se:
- esteiras antes do processo de britagem para melhoramento da triagem manual de retirada de contaminantes;
- separador magnético após a britagem para remoção de contaminantes metálicos;
- equipamento de jigagem que combinam para classificação dos materiais por densidade, e consequente retirada de materiais indesejáveis e menor variabilidade entre os lotes de cada produto;
- ensaios laboratoriais periódicos verificando a necessidade de mistura e homogeneização entre lotes de um produto para minimizar a variabilidade do ARM a ser comercializado.

Considerando os promissores resultados de aplicação de ARM alcançados por Oliveira *et al*. (2023), Orioli *et al*. (2018), Santana e Leite (2018), e Santos *et al*. (2018); e a melhoria de práticas de reciclagem no quesito de redução dos materiais indesejáveis nos produtos produzidos pelas recicladoras de Campo Grande, os Agregados Reciclados Mistos de classe A são ideais para as seguintes aplicações:
- AR Brita, AR Pedrisco, AR Pó de pedra para compósitos de matrizes cimentícias sem função estrutural;
- AR Brita, AR Pedrisco, AR Pó de pedra, AR Rachão para composição granulométrica de base, sub-base de de pavimentação;

- AR Bica corrida para composição de revestimento primário de pavimentação (cascalhamento).

4 CONCLUSÃO

O processo de britagem de resíduos da construção civil das empresas recicladoras de Campo Grande – MS resulta em Agregados Reciclados Mistos (ARM) de classe A, adequados sob os parâmetros normativos de capacidade de absorção de água, teor de finos e de friáveis, e índice de forma e distribuição granulométrica nas faixas de agregados graúdos e miúdos.

O tipo de entulho sujo, misto e de diferentes procedências resultou no ARM com significativa variabilidade das características físicas dos lotes entre si, como também na dificuldade do processo de triagem para alcance do

limite permitido de materiais indesejáveis. Assim, a principal ação das recicladoras estudadas é a melhora do processo de retirada de contaminantes para obter os produtos ARM com qualidade final apropriada as exigências normativas na aplicação em compósitos cimentícios e/ou pavimentação.

5 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio das seguintes instituições: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) e Ministério Público do Estado de Mato Grosso do Sul (MPMS).

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7809: Agregado graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15116: Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland – Requisitos e métodos de ensaio de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

BESSA, S. A. L.; MELLO, T. A. G.; LOURENÇO, K. K. Análise quantitativa e qualitativa dos resíduos de construção e demolição gerados em Belo Horizonte. urbe. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, n.11, e20180099, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.e20180099. Acesso em: julho de 2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). DNIT-141/2010-ES: Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2010.

MARTINS JUNIOR, V.; FORTI, N. C. S.; ÁVILA, A.E.P.G.; PIMENTEL, L.L. Avaliação da variabilidade das propriedades dos agregados reciclados de RCD. **Revista Engenharia Civil UM,** n.62, 55-65, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.21814/ecum.4492 Acesso em: abril de 2023.

MILANI, A. P. S.; PUPIM, N. S. Estimation Model for the Production of Recycled Aggregates from the Crushing of Construction and Demolition Waste. **RGSA (ANPAD)**, v.16, p. e03028, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.24857/rgsa.v16n3-006 Acesso em: abril de 2023.

OLIVEIRA, J. C. de, NEVES, J. P., BATALIONE, G., MOURA,K. C. C.; DE OLIVEIRA, M. E.; LEITE, S. S. B.; QUEIROZ, L. J. Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos de Construção e Demolição - RCD Aplicados em Pavimentos Urbanos. **Revista Foco,** v.16, n.1, e671, p.01-14, 2023.

ORIOLI, M. A.; FURLAN, A. P.; TAVARES, A. L. M.; PEREIRA FILHO, J. D. Estudo do Uso de Agregado Reciclado Misto (ARM) em Misturas Solo agregado. In: Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET, 32. **Anais..**.Gramado: ANPET, 2018, p.1943–1954.

OYEDELE, L. O.; AJAYI, S. O.; KADIRI, K. O. Use of recycled products in UK construction sector: An empirical investigation into critical impediments and strategies for improvement. **Resources, Conservation and Recycling**, v.93, pp.23–31, 2014.

PCSCG (2017). Plano de Coleta seletiva de Campo Grande – MS. Versão final do plano de coleta seletiva. Disponível em: https://pcscgdmtr.wixsite.com/coletaseletiva/downloads. Acesso em: 01 de maio de 2022.

PIGRCC (2010). Lei n° 4864, de 07 de Julho de 2010. Dispõe sobre a Gestão dos Resíduos da Construção Civil e institui o plano integrado de gerenciamento de resíduos da construção civil de acordo com o previsto na Resolução CONAMA nº 307/2002, no âmbito do Município de Campo Grande-MS e dá outras providências. Diário Oficial de Campo Grande – MS, 9 de julho de 2010, p. 01-08.

PUPIM, N. S. Modelo de Estimação da Produção de Agregados Reciclados dos Resíduos da Construção Civil. 2022. Dissertação (Mestrado em Eficiência Energética e Sustentabilidade) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

SANTANA, V. M.; LEITE, M. B. Avaliação do uso de agregados miúdos reciclados na dosagem e produção de concretos reciclados. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 17. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018, p.2818–2825.

SANTOS, C. J. R.; LIMA, D. A. L.; SILVA JUNIOR, E. R.; BATISTA, L. S.; FERREIRA, M. L. M. Estudo do Comportamento Mecânico do Concreto a Partir da Utilização de RCD como Agregado Graúdo. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 9. **Anais...**São Bernardo do Campo**:** ConGea, 2018, XI018.

WU, H.; ZUO, J.; ZILLANTE, G.; Wang, J.; Yuan, H. Status quo and future directions of construction and demolition waste research: a critical review. **Journal of Cleaner Production,** 240, 118163, 2019.