



INOVAÇÕES EM UMA USINA MÓVEL DE RECICLAGEM DE RCD PARA A PRODUÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS PARA PAVIMENTAÇÃO

Leonardo Fagundes Rosembach Miranda¹, Thaísa Mariana Santiago Rocha², Vanessa Vogt³, Antônio Acácio de Melo Neto⁴

¹ *Universidade Federal do Paraná (UFPR), reciclagem.miranda@gmail.com*

² *Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil na Universidade Federal do Paraná (PPGEC/UFPR), thaisamsrocha@yahoo.com.br*

³ *Instituto Federal do Paraná (IFPR), vogt.vanessa@gmail.com*

⁴ *Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), antoniodemelo@gmail.com*

RESUMO

A reciclagem dos resíduos de construção e demolição (RCD) é uma estratégia utilizada para minimizar o desperdício no contexto da construção. A incorporação de resíduos em produtos de construção é uma das soluções benéficas de como reduzir o volume descartado em aterros e diminuir o uso de matérias-primas. Historicamente, a maior parte dos agregados reciclados tem sido utilizada na execução de bases e sub-bases de pavimentos. Entre 2014 e 2019 foi desenvolvido um projeto de pesquisa da UFPR em parceria com o BNDES, a Funpar e a Soliforte Reciclagem para a produção de uma usina móvel de reciclagem de RCD. A partir do levantamento realizado na literatura existente e em visitas nas usinas em atividade, foram detectadas as principais necessidades. Neste sentido, o projeto da usina foi desenvolvido de maneira a atender requisitos como maior produtividade de produção e maior qualidade do agregado reciclado produzido. O resultado foi a construção de uma usina móvel com capacidade nominal de 80 m³/h pela empresa Mercantil Catarinense. Observou-se que das inovações obtidas a partir do desenvolvimento da usina, as inovações relacionadas à remoção de impurezas e ao controle granulométrico contribuem para a maior qualidade da brita corrida quando produzida a partir de RCD Classe A.

PALAVRAS-CHAVE: usina móvel, reciclagem, resíduo de construção e demolição (RCD), pavimentação.

ABSTRACT

The recycling of construction and demolition waste (CDW) is a strategy used to cut waste in the context of construction. The incorporation of waste in construction products is one of the beneficial solutions on how to reduce the volume disposed of in landfills and reduce the use of raw materials. The execution of pavement bases and sub-bases used most recycled aggregates. Between 2014 and 2019, a UFPR research project was developed in partnership with BNDES, Funpar, and Soliforte Reciclagem for the production of a mobile CDW recycling plant. From the survey carried out in the existing literature and visits to active plants, the main needs were detected. In this sense, the plant's project was developed to meet requirements such as higher production productivity and higher quality of the recycled aggregate produced. The result was the construction of a mobile plant with a nominal capacity of 80 m³/h by the company Mercantil Catarinense. It was observed that of the innovations obtained from the development of the plant, the innovations related to the removal of impurities and the granulometric control contribute to the higher quality of the crushed gravel when produced from CDW Class A.

KEYWORDS: mobile plant, recycling, construction and demolition waste (CDW), paving.



1. INTRODUÇÃO

Os resíduos de construção e demolição (RCD) têm sido reciclados e utilizados para a produção de agregados reciclados (AR) que podem substituir agregados naturais (AN) em diversas aplicações (DI MARIA *et al.*, 2018). As vantagens, tanto econômicas quanto ambientais, do uso de AR como alternativa ao AN são bastante afetadas pelo transporte (BRAGA, 2015).

Estudos de análise de sensibilidade ambiental e econômica mostraram a importância das distâncias de transporte. Distâncias maiores levam a maiores impactos ambientais e maiores custos para as empresas que trazem os RCD para a planta de reciclagem e para os usuários finais de AR. Portanto, a localização ideal das plantas de reciclagem de RCD deve garantir economia de escala, levando também em consideração a demanda local por agregados e os impactos ambientais causados por transporte longo (DI MARIA *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2017). Pesquisadores explicam que, de modo geral, a proximidade de usinas de reciclagem a locais de construção e recuperados mercado de produtos são fator chave para a promoção do benefício ambiental (SILGADO *et al.*, 2018).

As instalações de reciclagem de RCD são capazes de tratar resíduos independentemente de sua composição; no entanto, o RCD altamente misturado requer técnicas de separação mais complicadas. A tecnologia em que se baseiam as unidades de reciclagem RCD é um dos fatores decisivos que afetam a qualidade dos produtos reciclados e, juntamente com a abordagem de demolição, determina a sua viabilidade. Para aplicações de alto nível são necessárias técnicas de separação e classificação mais rigorosas. O desafio está em encontrar o combinação certa de classificação durante a demolição, separação barata técnicas e técnicas avançadas de classificação automatizada (GALÁN *et al.*, 2019). As usinas de reciclagem podem ser móveis ou fixas. Normalmente, uma planta móvel consiste em um britador (pode consistir em dois britadores) e alguns dispositivos de triagem (SILVA *et al.*, 2017).

Devido à sua natureza variada, os RCD são difíceis de processar e a existência de contaminantes afeta o manuseio e as propriedades do produto final, cuja qualidade, sendo inferior ao AN, é uma das maiores barreiras para seu uso mais amplo na construção. Conforme mostrado na literatura (DHIR *et al.*, 1999; DOSHO *et al.*, 1998; EGUCHI *et al.*,



2007; GOKCE *et al.*, 201; MAS *et al.*, 2012; MÜLLER, 2004; NAGATAKI *et al.*, 2004; TERANISHI *et al.*, 1998; YANAGI *et al.*, 1998; ZHAO *et al.*, 2010), o procedimento de tratamento afeta consideravelmente a qualidade da AR e, devido ao número de técnicas de processamento existentes, as características dos AR produzidos em plantas diferentes diferem significativamente.

Na Europa, a falta de padrões de qualidade de AR permitiu que a maioria dos países cumprissem os requisitos solicitados ao investir em aplicações de baixo grau de exigência; por exemplo, a produção de AR para bases de estradas e materiais de enchimento na construção de estradas (HU *et al.*, 2013; WEIL *et al.*, 2006). A Holanda já enfrenta um problema de saturação de AR de baixa qualidade no mercado de agregados (HU *et al.*, 2013) e, por isso, soluções alternativas para a produção de RCD de alta qualidade é urgentemente necessária (DI MARIA *et al.*, 2018).

O Brasil produz cerca de 500 kg/ab.ano (PINTO, 1999) e a principal aplicação do agregado reciclado no mundo é a pavimentação, por razões como: ser uma aplicação que consome bastante agregado reciclado, poder causar redução no custo da obra, atender com facilidade às exigências técnicas e por vantagens ambientais. Mas observa-se que, além da triagem do RCD, é importante melhorar a qualidade da brita corrida reciclada, de maneira a garantir seu enquadramento às normas e aumentar seu desempenho, principalmente quanto ao CBR.

Neste sentido, o objetivo deste artigo é apresentar as principais inovações que a usina móvel de reciclagem de RCD, desenvolvida através do projeto de pesquisa “Desenvolvimento de usina móvel de reciclagem de RCD” realizado na UFPR, contém, tornando-a uma das mais modernas do mundo e sendo capaz de produzir agregados reciclados para pavimentação com desempenho superior.

2. METODOLOGIA

Este trabalho descreve as principais características e as principais inovações presentes na usina móvel de reciclagem desenvolvida pelo projeto de pesquisa “Desenvolvimento de usina móvel de reciclagem de RCD” realizado na UFPR, entre 2014 e 2019, com a



participação da Funpar (Fundação da Universidade Federal do Paraná), do BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) e da Soliforte Reciclagem.

A partir da experiência destes autores e do levantamento das informações realizados (tanto na literatura existente quanto nas visitas realizadas nas usinas) foram definidas as principais necessidades e/ou inovações que deveriam estar presentes na usina em questão no intuito de contribuir para a ampliação do percentual de agregado reciclado utilizado. Dentre as principais necessidades e/ou inovações necessárias, foram consideradas as seguintes:

- i. Homogeneidade do agregado reciclado;
- ii. Aumento de produtividade;
- iii. Remoção de impurezas;
- iv. Controle granulométrico.

Através de resultados de testes (piloto, em campo e em laboratório) das possíveis soluções que poderiam ser empregadas, foi desenvolvido o projeto de uma usina móvel de reciclagem de RCD classe A (conforme a definição da resolução CONAMA nº307/2002) com capacidade nominal de 80m³/h. Com a definição do projeto, foi realizada a contratação – via licitação – da empresa Mercantil Catarinense, situada no município de Indaial no Estado de Santa Catarina. Após o término da construção da usina, ela foi levada para a Soliforte Reciclagem, situada no município de Campo Largo/PR.

3. RESULTADOS

Os resultados obtidos a partir do desenvolvimento da usina móvel de reciclagem foram divididos em dois itens principais. O primeiro aborda a descrição da usina e suas principais características. O segundo apresenta as principais inovações presentes na usina.

3.1. Descrição da usina móvel desenvolvida

O projeto desenvolvido permitiu a execução de uma usina móvel de reciclagem contendo três partes: duas carretas principais e uma unidade menor (MIRANDA, 2020).

A primeira carreta da linha de produção foi chamada de módulo de britagem. Na Figura 1a, é possível observar a carreta com cerca de 12 m de comprimento. Este módulo é composto por um gerador, dois transportadores de correia utilizados para escalpe, um alimentador vibratório, um britador de mandíbula modelo 8050, um separador magnético e um rompedor demolidor. O rompedor demolidor tem a função de diminuir a ocorrência de entupimento do britador com a presença de resíduos com dimensões excessivas. O módulo conta ainda com mais dois transportadores de correia (sendo um deles móvel usado para homogeneizar automaticamente a brita corrida produzida ou para lançar este material na peneira vibratória).

A segunda carreta foi chamada de módulo de qualidade. Na Figura 1b, é possível observar a carreta com cerca de 12 m de comprimento. Este módulo é composto por um gerador, 6 transportadores de correia (sendo que alguns possuem movimento radial para homogeneização do agregado reciclado), uma peneira vibratória com um sistema mecânico para o desentupimento da tela que separa o pedrisco da areia, silo para controle granulométrico da brita corrida e um potente ventilador para remoção de grande parte das partículas leves presentes nos agregados reciclados graúdos.

A terceira e última unidade foi chamada de módulo de moagem. Na Figura 1c é possível observar que este módulo tem tamanho menor e pode ser engatado no reboque traseiro de um carro. É composto por uma rampa de acesso, dois transportadores de correia, um moinho de martelos e uma bomba que produz névoa de água para auxiliar na redução da poeira produzida pelo moinho de martelos. Pode ser usada para reciclar o RCD dentro do canteiro de obra, contribuindo para a economia da obra devido à produção de areia reciclada. Ou, ainda, para transformar a fração graúda (rachão, brita ou pedrisco) do módulo de qualidade em fração miúda, por exemplo.





Figura 1 - Usina móvel desenvolvida no projeto
Legenda: a) Módulo de britagem; (b) Módulo de qualidade e c) Módulo de moagem
Fonte: Os autores (2020)

3.2. Inovações presentes na usina

Quanto às inovações presentes na usina, estão detalhadas as inovações relacionadas à homogeneidade do agregado reciclado, ao aumento de produtividade, à remoção das impurezas e ao controle granulométrico.

3.2.1. Inovação relacionada à homogeneidade do agregado reciclado

A presença de vários transportadores de correia é uma inovação que proporciona maior homogeneidade ao agregado reciclado. Isto porque esses transportadores são capazes de homogeneizar o agregado reciclado através do movimento radial de vai e vem dos transportadores, formando assim pilhas homogeneizadas de agregados reciclados de pedrisco e brita, sendo possível aplicar o mesmo processo no rachão.

Isto é importante porque, quando se trata de material reciclado, a variabilidade dentro de um mesmo lote costuma ser grande e este processo de homogeneização, além de simples e automático, contribui de maneira significativa para o aumento da qualidade do produto final, resultando em características técnicas padronizadas e com baixa variação entre as propriedades de diferentes lotes, facilitando inclusive a formação de amostras para caracterização.



3.2.2. Inovação relacionada ao aumento de produtividade

A peneira vibratória, quando equipada com um sistema mecânico, torna-se capaz de desentupir a tela que separa o pedrisco da areia. Desta maneira, é possível realizar uma separação mais eficiente destes materiais mesmo quando possuem umidade, evitando paradas desnecessárias durante o processo de produção. A produção destes materiais misturados pode inviabilizar sua utilização como camada de dreno, por exemplo.

Outra inovação é a presença de um rompedor elétrico antes que o RCD com grandes dimensões caia no britador. Isto reduz significativamente o risco de entupimento do britador, o que pode ocasionar, também, paradas desnecessárias de produção. O britador de mandíbulas (modelo 8050) utilizado na usina móvel de reciclagem possui um tamanho que permite uma grande produção sem a necessidade do uso de um britador secundário e sem a ocorrência de constantes entupimentos.

3.2.3. Inovação relacionada à remoção de impurezas

A usina móvel está equipada também com um ventilador de alta potência capaz de remover impurezas leves presentes no pedrisco reciclado, na brita e no rachão. Desta maneira, obtém-se maior economia relacionada à mão de obra para realizar a tragem do material além de permitir maior eficiência.

3.2.4. Inovação relacionada ao controle granulométrico

Levando em consideração a produção de material para ser utilizado em pavimentação, é possível produzi-lo com controle granulométrico, visto que a usina está equipada com silos para a dosagem desejada do teor de areia, pedrisco e brita. Este controle granulométrico é importante para que os agregados reciclados destinados à base e sub-base de pavimentos atendam aos requisitos técnicos exigidos pelas normas correspondentes, sejam elas nacionais ou internacionais, atingindo assim resultados mais altos, por exemplo, de CBR. Miranda *et al.* (2009) apresentam resultados em que foi possível quase triplicar os resultados de CBR apenas com o controle granulométrico do agregado reciclado.



O controle granulométrico permite, ainda, a redução do custo da obra, isto porque, o preço do agregado reciclado normalmente é inferior ao custo de se destinar o resíduo a aterros legalizados somado ao custo do agregado natural.

Inovações como as que foram apresentadas neste estudo contribuem para uma melhoria significativa da qualidade do material reciclado, facilitando sua comercialização, por exemplo. Atualmente, não foi encontrada nenhuma outra usina móvel, seja nacional ou importada, com as características similares à usina móvel desenvolvida pelo projeto aqui apresentado. Além disto, uma usina móvel, além de reduzir o investimento em instalações de energia e fundações, tem seu mercado aumentado e facilitado em comparação com usinas fixas. Isto porque pode prestar um serviço, por exemplo mensal, de reciclagem em diversos locais do país ao invés de somente receber o resíduo, reciclar e vender o agregado reciclado. Tal característica fomenta a formação de consórcios entre municípios, viabilizando a reciclagem do RCD em pequenos municípios com custos reduzidos.

Por se tratar de um equipamento nacional, a manutenção e o desenvolvimento ou compra de outras unidades da usina tornam-se facilitados, já que é possível visitar uma usina em funcionamento, conhecer a experiência de uma empresa com o equipamento sem, necessariamente, se tornar o proprietário da usina. Destaca-se, ainda, que o proprietário da usina não depende da importação de peças, o que normalmente encarece o processo e aumenta muito o tempo improdutivo da usina.

Atualmente existem várias aplicações viáveis para a utilização dos agregados reciclados, como em pavimentação, em contenções, para a produção de argamassas e para a produção de componentes para a construção civil. Normalmente, quanto menor a resistência mecânica desejada, maior a viabilidade do uso de agregados reciclados, em termos de sustentabilidade, redução de custo e atendimento às especificações técnicas.



4. CONCLUSÕES

A usina móvel de reciclagem desenvolvida apresenta inovações que permitem maior produtividade (resultado da menor quantidade de interrupções na produção), a redução do número de colaboradores na triagem do resíduo (devido à presença de um mecanismo mecânico que auxilia na remoção de impurezas), maior qualidade do agregado reciclado produzido (devido ao uso de ventiladores que otimizam a remoção de impurezas, à homogeneização do agregado produzido a partir da formação de pilhas e do controle granulométrico da brita corrida que, muitas vezes, permite alcançar um maior CBR). Além disso, a possibilidade de realizar a reciclagem do resíduo gerado no próprio canteiro contribui para a redução dos custos, tornando-se uma alternativa interessante técnica e economicamente para a execução de pavimentos.

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Construção Civil, à Mercantil Catarinense, pela parceria técnica na execução da usina e ao BNDES pelo apoio financeiro, principalmente pela atenção e competência do Sr. Adriano Carnaúba.

REFERÊNCIAS

BRAGA, A. M. **Comparative Analysis of the Life Cycle Assessment of Conventional and Recycled Aggregate Concrete** (in Portuguese). Department of Civil Engineering, Architecture and Georesources, Instituto Superior Técnico, University of Lisbon, Portugal, 2015.

CONAMA (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE). **Resolução 307, de 05 de julho de 2002**. Dispõe sobre a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 17 de jul. 2002. Seção 1, p. 95-96.

DI MARIA, A.; EYCKMANS, J.; VAN ACKER, K. Downcycling versus recycling of construction and demolition waste: Combining LCA and LCC to support sustainable policy making. **Waste Management**, 75, p. 3–21, 2018.



DHIR, R. K.; LIMBACHIYA, M. C.; LEELAWAT, T. Suitability of recycled concrete aggregate for use in BS 5328 designated mixes. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings**, 134 (3), p. 257-274, 1999.

DOSHO, Y.; NARIKAWA, M.; NAKAGOME, A.; KIKUCHI, M. Application of recycled aggregate concrete for structural concrete. Part 2-Feasibility study on cost effectiveness and environmental impact. In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds.), **Proceedings of the International Conference on the Use of Recycled Concrete Aggregates**. Thomas Telford, London, UK, p. 389-400, 1998.

EGUCHI, K.; TERANISHI, K.; NAKAGOME, A.; KISHIMOTO, H.; SHINOZAKI, K.; NARIKAWA, M. Application of recycled coarse aggregate by mixture to concrete construction. **Construction and Building Materials**, 21 (7), p. 1542-1551, 2007.

GALÁN, B.; VIGURI, J. R.; CIFRIAN, E.; DOSAL, E.; ANDRES, A. Influence of input streams on the construction and demolition waste (CDW) recycling performance of basic and advanced treatment plants. **Journal of Cleaner Production**, 236, 117523, 2019.

GOKCE, A.; NAGATAKI, S.; SAEKI, B.; HISADA, M. Identification of frost-susceptible recycled concrete aggregates for durability of concrete. **Construction and Building Materials**, 25 (5), p. 2426-2431, 2011.

HU, M.; KLEIJN, R.; BOZHILOVA-KISHEVA, K.; DI MAIO, F. An approach to LCSA: the case of concrete recycling. **International Journal of Life Cycle Assessment**, 18, p. 1793-1803, 2013.

MAS, B.; CLADERA, A.; OLMO, T.; PITARCH, F. Influence of the amount of mixed recycled aggregates on the properties of concrete for non-structural use. **Construction and Building Materials**, 27 (1), p. 612-622, 2012.

MIRANDA, L. F. R.; ANGULO, S. C.; CARELI, E. D. Recycling of construction and demolition waste in Brazil: 1986-2008. **Ambiente Construído**, 9 (1), p. 57-71, 2009.

MIRANDA, L. F. R. **Reciclagem de resíduos de construção e demolição: teoria e prática**. Ed. Appris, Curitiba., 203 p. 2020.

MÜLLER, A. Lightweight Aggregates from Masonry Rubble. In: VÁZQUEZ, E.; HENDRIKS, C.; JANSSEN, G. M. T. (Eds.), **International RILEM conference on the use of recycled materials in buildings and structures**. RILEM Publications SARL, Barcelona, Spain, p. 97-106, 2004.

NAGATAKI, S.; GOKCE, A.; SAEKI, T.; HISADA, M. Assessment of recycling process induced damage sensitivity of recycled concrete aggregates. **Cement and Concrete Research**, 34 (6), p. 965-971, 2004.



PINTO, T. P. P. **Metodologia para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana**. São Paulo, 1999. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

SILGADO, S. S.; VALDIVIEZO, L. C.; DOMINGO, S. G.; ROCA, X. Multicriteria decision analysis to assess the environmental and economic performance of using recycled gypsum cement and recycled aggregate to produce concrete: the case of Catalonia (Spain). **Resources, Conservation and Recycling**, 133, p. 120-131.

SILVA, R. V.; DE BRITO, J.; DHIR, R. K. Availability and processing of recycled aggregates within the construction and demolition supply chain: A review. **Journal of Cleaner Production**, 143, p. 598-614, 2017.

TERANISHI, K.; DOSHO, Y.; NARIKAWA, M.; KIKUCHI, M. Application of recycled aggregate concrete for structural concrete: part 3-production of recycled aggregate by real-scale plant and quality of recycled aggregate concrete. In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds.), **Proceedings of the International Symposium on Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate**. Thomas Telford, London, UK, p. 143-156, 1998.

YANAGI, K.; KASAI, Y.; KAGA, S.; ABE, M. Experimental study on the applicability of recycled aggregate concrete to cast-in-place concrete pile. In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds.), **Proceedings of the International Symposium on Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate**. Thomas Telford, London, UK, p. 359-370, 1998.

WEIL, M.; JESKE, U.; SCHEBEK, L. Closed-loop recycling of construction and demolition waste in Germany in view of stricter environmental threshold values. **Waste Management Research**, 24, p. 197–206, 2006.

ZHAO, W.; LEEFTINK, R. B.; ROTTER, V. S. Evaluation of the economic feasibility for the recycling of construction and demolition waste in China-The case of Chongqing. **Resources, Conservation and Recycling**, 54 (6), p. 377-389, 2010.