EXEMPLOS DE EDIFICAÇÕES COM UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

GERIN, Mayara Turi (1); DE NARDIN, Silvana (2)

(1) Mestranda em Sistemas Construtivos, Universidade Federal de São Carlos, mayaragerin@gmail.com;

(2) Professora Adjunta, Universidade Federal de São Carlos, snardin@ufscar.br

Resumo: *Devido à maior escassez de recursos e indisponibilidade de áreas para descarte de resíduos, as cidades europeias se tornaram pioneiras na reciclagem dos resíduos de construção e demolição (RCD). Apesar dos recursos naturais brasileiros não serem inesgotáveis, há uma grande discrepância entre o desenvolvimento da reciclagem de RCD no Brasil e no continente Europeu. Enquanto alguns países já possuem um grande número de construções utilizando agregados de RCD em concreto com função estrutural, o Brasil ainda não possui uma norma específica que preveja essa tecnologia. Dessa forma, este trabalho visa apresentar exemplos de utilização desse tipo de agregados em edificações localizadas em países como Alemanha, Suíça, Espanha, Reino Unido, Singapura e China. Com base na disseminação do avanço desses países na utilização do concreto reciclado e o potencial de aplicação desses resíduos em estruturas, acredita-se contribuir para a inserção do desenvolvimento dessa tecnologia no Brasil.*

Palavras-chave: *Concreto com agregados de RCD, Agregados reciclados, concreto de RCD estrutural.*

Área do Conhecimento: *Estruturas, Estruturas de concreto, Tecnologia de sistemas construtivos*

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da tecnologia de reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) se iniciou na Europa após a Segunda Guerra Mundial para a reconstrução das cidades europeias devastadas (LEVY, 2001). Devido à maior escassez de recursos naturais e necessidade de destinação dos escombros, a Europa tornou-se o continente pioneiro na reciclagem de RCD. Em 1984, já entrava em vigor na Holanda, a norma "CUR - Betonpuingranulaaten als toeslagsmateriaal vor beton" para utilização de agregados de resíduos de concreto (ARC) em novo concreto. Como reflexo desse pioneirismo europeu, atualmente alguns países europeus já trazem normatizações que tratam do concreto reciclado para fins estruturais. A norma holandesa prevê essa aplicação de ARC utilizando coeficientes de segurança mais conservadores para concreto com agregados reciclados. Em agosto de 1998, o Comité alemão de Concreto Armado (DAfStb) publicou a norma para especificação do concreto com agregados reciclados", elaborada com base em quatro anos do projeto de investigação nacional "Baustoffkreislauf im Massivbau" (BIM), esta apresenta as especificações para o uso de ARC em concreto estrutural. A utilização de agregados reciclados em concreto estrutural também é prevista desde 2002 pela especificação de Hong Kong, "Works Bureau Technical Circular No.12", em que permite até 20% de substituição do agregado natural pelo reciclado em concreto estrutural com até 35 MPa (GONÇALVES, 2007). Em contrapartida, a norma brasileira (ABNT NBR 15116:2004) que trata de concreto com agregados de RCD foram publicadas apenas em 2004 com os requisitos de utilização desses agregados em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural. Apesar dessa norma estar em processo de revisão, até o momento dessa publicação não possui uma nova versão.

Esse trabalho tem o objetivo de apresentar exemplos pioneiros de edificações com a utilização dos agregados de RCD. Com isso pretende-se demonstrar o potencial de aplicação do concreto reciclado para fins estruturais e os avanços desse setor em países desenvolvidos. Acredita-se que a divulgação da síntese aqui apresentada incentive a elaboração de uma norma que trate desses resíduos para utilização estrutural e, consequentemente, impulsione a modernização do setor de reciclagem de RCD no Brasil.

2 UTILIZAÇÃO DE CONCRETOS COM AGREGADOS DE RESÍDUOS

Em 6 de maio de 1995, antes mesmo da publicação da primeira norma alemã com especificação do uso de ARC em concreto estrutural, a Fundação Federal Alemã para o Meio Ambiente (DBU) inaugurou seu prédio administrativo utilizando essa tecnologia em Osnabruque, Alemanha (DIERKS, 2017). A edificação, apresentada na Figura 1, possui dois andares e um porão com escritórios, espaço de exposições, áreas de treinamento, área social, sala de reuniões e cozinha. Neste projeto, agregados de resíduos de concreto foram utilizados em substituição ao agregado natural na composição do concreto utilizado na construção das paredes estruturais (DEUTSCHEN BUNDESSTIFTUNG UMWELT, 2015). Segundo Deutschen Bundesstiftung Umwelt (2001), embora o projeto estrutural tenha previsto o concreto classe C25, o traço do concreto reciclado foi dosado como C35 como procedimento de segurança. No total, cerca de 120 m³ de concreto reciclado foram empregados neste edifício de escritórios. Por ser a primeira utilização desse tipo de concreto quando ainda não havia nenhuma normatização que tratasse do uso estrutural do concreto reciclado, alguns cuidados especiais foram tomados como o acompanhamento da construção por especialistas e consentimento de autoridades do país. No entanto, os estudos mostraram que o material reciclado atingiu, com segurança, a resistência à compressão e demais propriedades necessárias para fins estruturais. Passamos de mais de 25 anos de construção, a edificação ainda é um exemplo importante de construção sustentável e arquitetura moderna.

Figura 1 - Prédio Administrativo da Fundação Federal Alemã para o Meio Ambiente (DBU)



Fonte: Deutschen Bundesstiftung Umwelt (2015)

Após a divulgação da norma alemã para concretos reciclados estruturais em 1998, a primeira construção alemã a seguir tais diretrizes foi o edifício residencial *"Waldspirale"* na cidade de Darmstadt, Alemanha. Construído entre novembro de 1998 e setembro de 1999, a edificação de 12 pavimentos é composta por 105 apartamentos, estacionamento, um quiosque, um café e um bar (SILVA *et al*., 2018). Uma vista geral do residencial Waldspirale é mostrada na Figura 2. Para a concretagem das paredes, lajes, pilares e fundações, foi necessário cerca de 12.000 m³ de concreto reciclado com classes de resistência C25 (MARINKOVIC; *et al*., 2012).

Figura 2 - Waldspirale, Alemanha



Fonte: Waldspirale (2015)

Recentemente, o estudo de Stürmer e Kulle, (2017) estimou que milhares de construções na Alemanha tenham utilizado essa tecnologia, ou seja, concretos com agregados de resíduos de construção e demolição. No mapa da Alemanha, apresentado na Figura 3, são destacadas as localizações de construções que utilizaram concreto reciclado, divulgadas entre 1994 e 2017 no país.

Figura 3. Localização de construções com concreto reciclado na Alemanha



Fonte: Stürmer e Kulle (2017)

No entanto, as construções com concreto reciclado não estão concentradas apenas na Alemanha. Na Suíça, por exemplo, existe uma série de exemplos de edificações com essa utilização. Ao usar concreto reciclado, a prefeitura da cidade de Zurique assume um papel pioneiro no país. Conforme Stadt Zürich (2017), são exemplos dessas construções o edifício da escola "*Im Birch*" (Figura 4a), construída em 2004 em que os elementos estruturais de concreto utilizaram cerca de 50% de concreto reciclado; o Complexo habitacional de *"Werdwies"*, apresentado na Figura 4b, que foi construído em 2007 possui lajes de concreto com resíduos de concreto e paredes estruturais com concreto de agregados de RCD; o campus da escola *"Hirzenbach"*, finalizada em 2008, utilizou ARC em todos os componentes de concreto; o centro de esportes "*Heuried*", com finalização prevista para 2017, incluía o uso de ARC nos componentes de concreto moldados no local, incluindo componentes impermeáveis e fundações de estacas de concreto. Além desses exemplos, o relatório também prevê a extensão do museu de belas-artes *"Kunsthaus"* em 2020 com todos os componentes de concreto moldados no local com ARC.

Figura 4 – Exemplos de emprego do concreto reciclado em edificações de Zurique, Suíça.



Edifício da escola *"Im Birch"*



Complexo habitacional de *"Werdwies"*

Fonte: Stadt Zürich (2017)

Em Valência, na Espanha, uma ponte estaiada também é exemplo de utilização do concreto com agregados reciclados. A ponte possui 145m de comprimento, com dois vãos assimétricos de 45m e 90m, respectivamente. O vão de 90 m foi concretado utilizando concreto com 35 MPa e 20% de substituição dos agregados naturais graúdos por agregados graúdos de resíduo de concreto. No controle de qualidade do concreto foram realizados ensaios de resistência a compressão, módulo de elasticidade, retração, carbonatação e absorção de água (SÁNCHEZ *et al*., 2009).

A edificação denominada *"Enviromental Building"* localizada em Watford representa o primeiro uso de agregados reciclados em concreto estrutural no Reino Unido. Trata-se de um edifício de escritórios concebido para ser sustentável e um exemplo de baixo consumo de energia. Nesta construção foi empregado cerca de 1500m³ de agregados graúdos reciclados de concreto, os quais foram obtidos a partir da britagem de resíduos de demolição de um edifício de 12 andares localizado em Londres. Nos elementos de fundação foi utilizado concreto C25 (75mm de abatimento) com um consumo de cimento de 350kg/m³ e fator água/cimento de 0,5. Para as lajes e pilares, um concreto classe C35 e mesmo abatimento foi especificado (SILVA *et al*., 2018).

Outro exemplo importante é o "*Hong Kong Wetland Park*", primeira edificação de Hong Kong com a utilização de concreto reciclado. Concluído em 2005, o parque tem 10.000 m² e é composto por galerias de exposições, teatros, lojas de souvenirs, cafés, áreas de recreação infantil, salas de aula e um centro de recursos. No projeto, cerca de 13.000 m³ de concreto reciclado foi produzido para a concretagem de blocos, lajes, vigas, entre outros. Os teores de substituição de agregado natural por agregado reciclado foram de 100% para concreto classe C20 e 20% para concretos de classe superior a C25 (POON e CHAN, 2007).

O edifício "Samwoh Eco-Green Building" é um edifício de três andares localizado em Singapura e construído com concreto com 100% de substituição dos agregados naturais por agregados reciclado. O concreto reciclado de classe C40 foi usado para a construção de todos os elementos estruturais do edifício, que incluíam vigas, colunas, lajes e paredes. Inaugurado oficialmente em março de 2010, o edifício foi construído como parte de um projeto de pesquisa financiado pelo Ministério do Desenvolvimento Nacional de Singapura com o objetivo de avaliar a viabilidade do uso de agregados de resíduo de concreto. A construção teve o acompanhamento de laboratório para verificação do concreto e os resultados também auxiliaram na elaboração de diretrizes para uso de agregados de concreto em estruturas (SILVA *et al*., 2018).

3 CONCLUSÕES OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com a revisão bibliográfica, a necessidade de destinação dos escombros na segunda Guerra Mundial fez das cidades europeias as pioneiras no desenvolvimento de reciclagem de RCD. Com a maior escassez de recursos e espaços para destinação de resíduos, alguns destes países já possuem normatização que prevê a utilização de RCD em concreto com função estrutural. A Alemanha e Suíça possuem uma grande quantidade de exemplos de utilização, no entanto, essa tecnologia também já está presente em outros países como Espanha, China, Singapura e Inglaterra. Com base na apresentação do avanço desses países na utilização do concreto reciclado, esse resumo demonstra o potencial de aplicação desses resíduos em estruturas também no Brasil. Assim como o exemplo da Fundação Federal Alemã para o Meio Ambiente (DBU) na Alemanha e o edifício "Samwoh Eco-Green Building" em Singapura, edificações-modelo também podem ser convenientes ao fornecer dados para elaboração de uma norma durante sua própria construção.

4 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio, desde março/2018, para realização deste estudo.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos, 2004.

DEUTSCHEN BUNDESSTIFTUNG UMWELT (DBU). **Bauen für die Zukunft**. Osnabruque, Alemanha:

Deutschen Bundesstiftung Umwelt, 2015. 62 p. Disponível em: https://www.dbu.de/phpTemplates/publikationen/pdf/180615110839odmi.pdf. Acesso em: 9 abril 2019.

DEUTSCHEN BUNDESSTIFTUNG UMWELT (DBU). **Studie zum Recycling von Beton**. Osnabruque, Alemanha: Deutschen Bundesstiftung Umwelt, 2001. 2p. Disponível em: https://www.dbu.de/phpTemplates/publikationen/pdf/180615110839odmi.pdf. Acesso em: 9 abril 2019.

DIERKS, J. Ein Tempel der High-Tech-Ökologie für Osnabrück. **Osnabrücker Zeitung**, Osnabruque, Alemanha, 24. Jul. 2017. Disponível em: https://www.noz.de/lokales/osnabrueck/artikel/925885/ein-tempel-der-high-tech-oekologie-fuer-osnabrueck. Acesso em: 8 abril 2019.

WALDSPIRALE, el complejo residencial en forma de espiral. Jan. 2015. **El Comercio**, Peru. Disponível em: https://elcomercio.pe/casa-y-mas/arquitectura/waldspirale-complejo-residencial-forma-espiral-326414. Acesso em 9 abril 2019.

GONÇALVES, P. C. M. **Betão com agregados reciclados - Análise comentada da legislação existente**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2007.

LEVY, S. L. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

MARINKOVIC;, S. B.; IGNJATOVI;, I. S.; RADONJANIN, V. S.; MALEŠEV, M. M. *In:* FARDIS, M.N. **Innovative Materials And Techniques In Concrete Construction**: Aces Workshop, 2012, cap. 7,. p. 115–130.

POON, C. S.; CHAN, D. The use of recycled aggregate in concrete in Hong Kong. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 50, n. 3, p. 293–305, 2007.

SÁNCHEZ, J. M.; ALAEJOS, P.; DOMINGO, A.; LÁZARO, C.; LÓPEZ, F. Construction of a cable-stayed bridge with recycled concrete in Valencia (Spain). *In*: International RILEM Conference on Progress of Recycling in the Built Environment, 2., 2009, São Paulo. **Anais** [...]. São Paulo, 2009. p. 321–331.

SILVA, R. V.; JIMÉNEZ, J. R.; AGRELA, F.; BRITO, J. DE. Real-scale applications of recycled aggregate concrete. *In*: **New Trends in Eco-efficient and Recycled Concrete**, 2018, cap. 21. p. 573–589.

STADT ZÜRICH. **A concrete example**: Recycled concrete mock-up. Zurique, Suíça: Amt für Hochbauten, 2017. 5p. Disponível em: www.stadt-zuerich.ch/beton-konkret. Acesso em: 9 abril 2019.

STÜRMER, S.; KULLE, C. Untersuchung von Mauerwerksabbruch (verputztes Mauerwerk aus realen Abbruchgebäuden) und Ableitung von Kriterien für die Anwendung in Betonen mit rezyklierter Gesteinskörnung (RC-Beton mit Typ 2 Körnung) für den ressourcenschonenden Hochbau. **DBU-Abschlussbericht Abschl. Konstanz**, Alemanha, 2017.