REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE LOUÇAS SANITÁRIAS EM CONCRETOS – MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DA LITERATURA

ORTIGARA, Yuri Vilas Boas (1); FONTANINI, Patrícia Stella Pucharelli (2)

(1) Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas e IFSULDEMINAS. yuri.ortigara@ifsuldeminas.edu.br

(2) Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, pspucha@gmail.com

Resumo: *A preocupação com o uso massivo de recursos naturais na fabricação de materiais de base cimentícia faz com que cada vez mais o reaproveitamento de resíduos nesta atividade seja estudado. Neste sentido, esta pesquisa buscou por meio de um Mapeamento Sistemático da Literatura – MSL, identificar, categorizar e sintetizar os resultados de pesquisas que incorporaram resíduos de louça sanitária em concretos. Os resultados obtidos indicam apesar do crescimento do número de publicações nos últimos anos, o número total ainda é pequeno frente aos resultados promissores revelados pelos estudos já realizados. Os resíduos de louça sanitária podem ser utilizados como substitutos de agregados naturais em concretos normais ou com características especiais. Este artigo também colabora para a identificação de lacunas de conhecimento sobre o reaproveitamento destes resíduos.*

Palavras-chave: *Concreto, Agregado, Louça Sanitária, Reciclado.*

Área do Conhecimento: *Engenharia Civil – materiais e componentes de construção*

1 INTRODUÇÃO

Materiais de base cimentícia vigoram como um dos mais consumidos em todo o mundo. Consequentemente, a busca de novas tecnologias para estes materiais passou a receber maior atenção pelos pesquisadores, em especial tecnologias fundamentadas na redução de impactos ambientais, uma vez que se tem no processo de fabricação de materiais cimentícios, a utilização em larga escala de recursos naturais não renováveis.

Com preocupação sistemática de minimizar estes impactos, a comunidade científica vem desenvolvendo estudos e avaliando o potencial de materiais provenientes do processo de produção industrial para serem utilizados na fabricação e preparo, por exemplo, de argamassas e concretos (TU; CHEN; HWANG, 2006).

O objetivo desta pesquisa foi identificar e categorizar, por meio de um MSL, os estudos já desenvolvidos no que tange o reaproveitamento de resíduos de louça sanitária para fabricação de concretos, bem como revelar as principais técnicas de caracterização destes estudos. A proposta de categorização e levantamento sistematizado de fatores oferecidos nesta pesquisa pode auxiliar a diagnosticar possibilidades de reaproveitamento dos resíduos, bem como identificar lacunas do conhecimento científico.

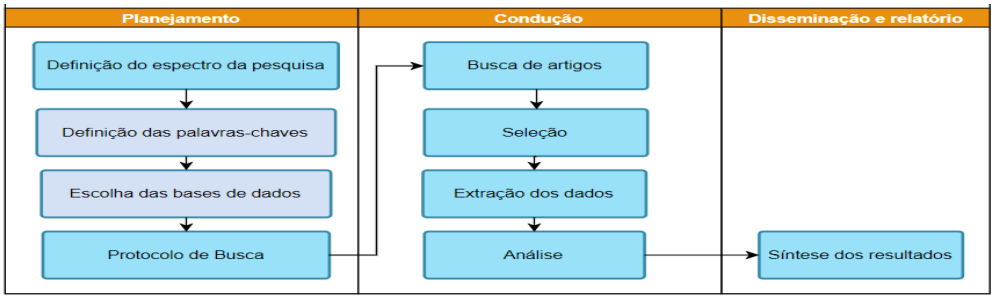
2 METODODOLOGIA

O mapeamento sistemático da literatura tem permite uma visão macro do tema de pesquisa com a qual será possível quantificar e categorizar os resultados de estudos já realizados (BRERETON et al., 2007). A aplicação deste método de pesquisa possibilita identificar as lacunas de conhecimento da questão de pesquisa de um pesquisador (ENGSTRÖM e RUNESON, 2011). Ele é um processo caracterizado como “Baseado em Evidências” (Evidence-based) com a coleta de informações (evidências) que comprovem, justifiquem, complementem e embasem as pesquisas em desenvolvimento.

O método de pesquisa adotado baseou-se em Ruiz e Granja (2013) e o MSL proposto foi constituído

das seguintes etapas: Planejamento, Condução e Disseminação e relatório, de acordo com a Figura 1.

Figura 1 - Método de revisão sistemática da literatura adotado



Fonte: Do autor

2.1 Planejamento

Para a determinação das palavras-chaves, adotou-se o critério de busca exploratórias, de forma que as palavras-chaves utilizadas para a busca dos artigos foram: Sanitary Waste e Concrete. Quanto às bases de dados, foram adotadas nesta pesquisa as seguintes bases: Web of Science, Scopus, Ei Compendex, DOAJ, e Scielo. Todas estas bases estão disponibilizadas pelos convênios CAPES e Unicamp. A inserção das palavras-chaves se deu de forma que o termo *"Sanitary waste*" não fosse separado em dois termos distintos e que sempre estivesse relacionado ao termo "*Concrete".* Estes termos foram procurados nos campos "título", "resumo", "palavras-chaves" ou "tópico".

2.2 Condução

Nesta etapa aplicou-se o protocolo de buscas. Foram selecionados artigos que propusessem quaisquer formas de reaproveitamento dos resíduos na produção de materiais de base cimentícia. Os resultados da fase anterior foram filtrados, objetivando a exclusão de estudos que, não utilizassem resíduos de louça sanitária na produção de concretos cimentícias, não se tratassem de artigos científicos de periódicos ou que não estivessem em inglês, espanhol ou português.

2.3 Disseminação e relatório

As publicações consideradas aderentes foram analisadas sistematicamente segundo os seguintes critérios: Forma de incorporação dos resíduos: agregado graúdo, miúdo ou pozolana; Identificação dos ensaios de caracterização do resíduo empregado; Análise dos resultados dos trabalhos.

3 RESULTADOS

3.1 Condução

A busca nas bases de dados conforme estabelecido no protocolo resultou num total de 100 artigos, sendo 46 na *Web of Sicience,* 26 na *Scopus,* 23 na *Ei Compendex,* 5 na DOAJ. Na base *Scielo,* não foram encontrados artigos. Num primeiro momento, os resultados das buscas foram exportados para o Zotero. O resultado de cada uma das bases foi salvo em pastas individuais. Após a remoção dos itens duplicados os resultados, foi realizada a leitura dos títulos e resumos para classificação dos artigos em aderentes ou não aderentes. Foram considerados aderentes os artigos que utilizasse resíduo de louça sanitária como componente de concretos, o que resultou na redução de 100 para 20 artigos.

3.2 Disseminação e relatório

Após a leitura dos artigos, os mesmos foram classificados de acordo com a forma de introdução destes resíduos nestes materiais (Figura 2).

Figura 2 - Quantidade de artigos segundo a forma de emprego no resíduo



Fonte: Do autor

O interesse em utilizar o resíduo de louça sanitária como agregado pode ser explicado pela menor necessidade de moagem deste resíduo. A Tabela 1 apresenta a classificação de cada artigo nas categorias propostas.

Tabela 1 - *Classificação dos artigos segundo a forma de emprego do resíduo*

Emprego	Autor e ano de publicação
Agregado graúdo e miúdo	Halicka, Ogrodnik e Zegardlo (2013); García-González *et al.* (2015); Zegardlo, Szelag e Ogrodnik (2016); Ogrodnik, Zegardlo, Szelag (2017); Zegardlo, Szelag e Ogrodnik (2018); Franus *et al.* (2018); Ogrodnik, Powezka e Zegardlo (2018); Orgodnik, Szulej e Franus (2018); Ogrodnik e Szulej (2018); Thomas *et al* (2018)
Agregado graúdo	Medina *et al.* (2011); Medina, Frías e Sánches De Rojas (2012); Medina *et al.* (2012), Medina, Sánches De Rojas e Frías (2013)a; Medina, Sánches De Rojas e Frías (2013)b; Medina, Frías e Sánches De Rojas (2014); Medina, *et al.* (2015); Medina *et al.* (2016)a;
Agregado miúdo em concreto	Alves *et al.* (2014), Vieira *et al.* (2016)

Fonte: Do autor

Nos artigos analisados, observa-se a realização de ensaios de caracterização física, tais como: granulometria, determinação de densidade, absorção de água, coeficiente de forma, porosimetria, índice de dureza, resistência ao esmagamento, módulo de elasticidade e durabilidade. Dentre os ensaios de caracterização química presentes nos artigos pode-se citar: DRX, FRX, MEV e Infravermelho.

O agregado reciclado de louça sanitária não exige nenhum processamento especial para sem aplicado à produção de concreto(ZEGARDŁO; SZELĄG; OGRODNIK, 2016), e apresenta propriedades dentro dos limites para uso, sendo capaz de fornecer as propriedades do agregado convencional (GARCÍA-GONZÁLEZ et al., 2015; OGRODNIK; SZULEJ; FRANUS, 2018; ZEGARDŁO; SZELĄG; OGRODNIK, 2016). É possível utilizar o agregado reciclado em diferentes proporções de substituição e substituição completa dos agregados naturais se mostrou viável e vantajosa tecnicamente (OGRODNIK; SZULEJ, 2018).

Concretos produzidos com agregados graúdos reciclados de louça sanitária, atendem aos requisitos de concretos para fins estruturais (MEDINA et al., 2011; MEDINA; FRÍAS; SÁNCHEZ DE ROJAS, 2012; MEDINA; SÁNCHEZ DE ROJAS; FRÍAS, 2013a). O agregado reciclado não modificou a cinética das reações de hidratação do cimento (MEDINA et al., 2011) e a morfologia das formações surgidas em decorrência do processo de hidratação também não foram alteradas (MEDINA; FRÍAS; SÁNCHEZ DE ROJAS, 2012).

A inclusão do agregado reciclado, aumenta o volume poros capilares e diminui o volume de macroporos. (MEDINA et al., 2011, 2012; MEDINA; FRÍAS; SÁNCHEZ DE ROJAS, 2012; MEDINA; SÁNCHEZ DE ROJAS; FRÍAS, 2013b) e zona de transição entre o agregado reciclado e a pasta se mostrou muito mais compacta e menos porosa do que a da pasta e agregado natural, o que resulta em concretos com propriedades mecânicas melhoradas e maior resistência a agentes agressivos (MEDINA et al., 2016; MEDINA; FRÍAS; SÁNCHEZ DE ROJAS, 2012; ZEGARDŁO; SZELĄG; OGRODNIK, 2016). Já com relação à espessura e ao módulo de elasticidade da zona de transição, não foram identificadas diferenças significativas (MEDINA et al., 2015)

A resistência à compressão dos concretos produzidos com agregado graúdo reciclado de louças sanitárias se mostrou superior ao concreto referência e há medida que a porcentagem de agregado reciclado aumentou, houve melhora no comportamento mecânico dos concretos (MEDINA et al., 2011, 2012, 2016; MEDINA; FRÍAS; SÁNCHEZ DE ROJAS, 2012) Quando a substituição do agregado graúdo ocorre em sua totalidade estudos apontaram que o concretos produzidos resistência a tração e a compressão maiores (ZEGARDŁO; SZELĄG; OGRODNIK, 2016) ou iguais (GARCÍA-GONZÁLEZ et al.,

2015) as concreto referência

Substituições em até 25% do agregado natural pelo reciclado não impactou na necessidade de aumentar a quantidade de água em sua fabricação, mantendo consistência próxima ao concreto referência (MEDINA et al., 2011, 2016)

O concreto produzido com agregado reciclado é mais resistente a mudanças de temperatura do que concreto produzido com agregado natural (MEDINA; SÁNCHEZ DE ROJAS; FRÍAS, 2013a).

Por ser mais poroso o agregado cerâmico pode facilitar a difusão do vapor de água na pasta de cimento, diminuindo a probabilidade de fragmentação (ZEGARDŁO; SZELĄG; OGRODNIK, 2018) sendo que o surgimento de fissuras ocasionadas devido à elevação de temperatura é 30 vezes menor (FRANUS et al., 2018). Quando produzidos com cimento de alto teor de alumina e resíduos cerâmicos, possuem capacidade de trabalhar em temperaturas de até 1000°C (OGRODNIK; ZEGARDŁO; SZELĄG, 2017).

Concretos produzidos com substituição integral de agregados naturais por agregados cerâmicos apresentaram resistência a tração e a compressão maiores (ZEGARDŁO; SZELĄG; OGRODNIK, 2016). A penetração de água não é maior do que as do concreto referência (MEDINA; SÁNCHEZ DE ROJAS; FRÍAS, 2013b; ZEGARDŁO; SZELĄG; OGRODNIK, 2016). Quando expostos a agentes do ambiente marinho, concretos com substituição parcial de agregado reciclado apresenta um bom comportamento, as perdas das propriedades mecânicas são menores do que as relatadas em um ambiente de cura ideal (THOMAS et al., 2018). Sendo por tanto, os concretos produzidos com agregados reciclados, considerados como materiais duráveis (MEDINA et al., 2016; MEDINA; SÁNCHEZ DE ROJAS; FRÍAS, 2013b)

Concretos produzidos com agregado reciclado graúdo possuem densidade fresca inferior à dos concretos convencionais (MEDINA et al., 2011, 2016), já quando produzidos com substituição total dos agregados graúdos e miúdos por agregados reciclados, a densidade do concreto é comparável à do concreto referência (ZEGARDŁO; SZELĄG; OGRODNIK, 2016).

O agregado cerâmico permite a fabricação de concretos de ultra alta resistência (acima de 120Mpa) com concentrações de cimento relativamente baixas (ZEGARDŁO; SZELĄG; OGRODNIK, 2016) e o uso destes agregados oferecem vantagens técnicas, econômicas e ambientais de grande importância (GARCÍA-GONZÁLEZ et al., 2015; MEDINA et al., 2012; MEDINA; FRÍAS; SÁNCHEZ DE ROJAS, 2012; MEDINA; SÁNCHEZ DE ROJAS; FRÍAS, 2013a; OGRODNIK; SZULEJ; FRANUS, 2018)

Concretos produzidos com agregados cerâmicos miúdos e dosagem que iguala a quantidade livre para hidratação entre o concreto reciclado e o referência, não atendem as especificações para concretos estruturais (ALVES et al., 2014). Isto se deve ao fato de que agregados miúdos de louça exigem o aumento da relação a/c do concreto para que sejam mantidas as propriedades de trabalhabilidade do concreto (ALVES et al., 2014; VIEIRA et al., 2016). Estes concretos apresentaram maior absorção de água e profundidade de penetração de cloretos em virtude da formação de uma microestrutura mais porosa, que por sua vez foi formada por conta da maior reação a/c (VIEIRA et al., 2016).O módulo de elasticidade e a resistência a abrasão também foram negativamente afetadas pelo uso de agregado miúdo reciclado (ALVES et al., 2014). Contudo, o uso de superplastificantes se mostrou eficaz para solução dos problemas apresentados, sendo que o concreto produzido com agregados reciclados apresentou maior resistência a compressão do que o concreto de controle (VIEIRA et al., 2016). O que viabiliza o emprego destes concretos na construção civil, inclusive para fins estruturais.

4 CONCLUSÕES

O emprego do MSL permitiu levantar e avaliar a aplicação de diferentes de resíduos cerâmicos de várias maneiras em matrizes cimentícias. Foi possível identificar pesquisas com incorporação dos resíduos como agregado miúdo, graúdo ou pozolana. Apenas 20 artigos realmente foram aderentes ao tema, sendo que o mais antigo foi publicado em 2011. Isto demonstra que o tema é contemporâneo e há lacunas para serem preenchidas com estudos futuros, principalmente com relação a aplicação deste resíduo como material pozolânico, uma vez que nenhum artigo tratou deste tema.

O maior número de estudos de reaproveitamento dos resíduos como agregado pode ser explicado pela menor necessidade de processamento do material. O que torna o processo mais barato e ambientalmente mais amigável.

A variedade dos ensaios de caracterização dos resíduos demonstra a preocupação na investigação profunda das propriedades destes resíduos para que sejam incorporados nos concretos e argamassas.

Com relação a aplicabilidade do resíduo como agregado, praticamente todos os resultados apontam para melhoria nas propriedades dos concretos.

5 REFERÊNCIAS

ALVES, A. V. et al. Mechanical properties of structural concrete with fine recycled ceramic aggregates. **Construction and Building Materials**, [s. l.], v. 64, p. 103–113, 2014.

BRERETON, P. et al. Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. **Journal of Systems and Software**, Software Performance. [s. l.], v. 80, n. 4, Software Performance, p. 571–583, 2007.

FRANUS, W. et al. Microstructural Differences in Response of Thermoresistant (Ceramic) and Standard (Granite) Concretes on Heating. Studies Using SEM and Nonstandard Approaches to Microtomography and Mercury Intrusion Porosimetry Data. **Materials**, [s. l.], v. 11, n. 7, p. 1126, 2018.

GARCÍA-GONZÁLEZ, J. et al. Ceramic ware waste as coarse aggregate for structural concrete production. **Environmental Technology**, [s. l.], v. 36, n. 23, p. 3050–3059, 2015.

MEDINA, C. et al. Caracterización de los hormigones realizados con áridos reciclados procedentes de la industria de cerámica sanitaria. **Materiales de Construcción**, [s. l.], v. 61, n. 304, p. 533–546, 2011.

MEDINA, C. et al. Gas permeability in concrete containing recycled ceramic sanitary ware aggregate. **Construction and Building Materials**, [s. l.], v. 37, p. 597–605, 2012.

MEDINA, C. et al. INFLUENCE OF INTERFACIAL TRANSITION ZONE ON ENGINEERING PROPERTIES OF THE CONCRETE MANUFACTURED WITH RECYCLED CERAMIC AGGREGATE. **Journal of Civil Engineering and Management**, [s. l.], v. 21, n. 1, p. 83–93, 2015.

MEDINA, C. et al. Durability of recycled concrete made with recycled ceramic sanitary ware aggregate. Inter-indicator relationships. **Construction and Building Materials**, [s. l.], v. 105, p. 480–486, 2016.

MEDINA, C.; FRÍAS, M.; SÁNCHEZ DE ROJAS, M. I. Microstructure and properties of recycled concretes using ceramic sanitary ware industry waste as coarse aggregate. **Construction and Building Materials**, [s. l.], v. 31, p. 112–118, 2012.

MEDINA, C.; SÁNCHEZ DE ROJAS, M. I.; FRÍAS, M. Freeze-thaw durability of recycled concrete containing ceramic aggregate. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 40, p. 151–160, 2013. a.

OGRODNIK, P.; SZULEJ, J. The Assessment of Possibility of Using Sanitary Ceramic Waste as Concrete Aggregate—Determination of the Basic Material Characteristics. **Applied Sciences**, [s. l.], v. 8, n. 7, p. 1205, 2018.

OGRODNIK, P.; SZULEJ, J.; FRANUS, W. The Wastes of Sanitary Ceramics as Recycling Aggregate to Special Concretes. **Materials**, [s. l.], v. 11, n. 8, p. 1275, 2018.

OGRODNIK, P.; ZEGARDŁO, B.; SZELĄG, M. The Use of Heat-Resistant Concrete Made with Ceramic Sanitary Ware Waste for a Thermal Energy Storage. **Applied Sciences**, [s. l.], v. 7, n. 12, p. 1303, 2017.

RUIZ, J. de A.; GRANJA, A. D. Um mapeamento sistemático da literatura sobre a relação entre valor e colaboração na construção. **Anais** In: SIBRAGEC,. Salvador, BA. 2013

THOMAS, C. et al. Influence of curing conditions on recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, [s. l.], v. 172, p. 618–625, 2018.

TU, T.-Y.; CHEN, Y.-Y.; HWANG, C.-L. Properties of HPC with recycled aggregates. **Cement and Concrete Research**, [s. l.], v. 36, n. 5, p. 943–950, 2006.

VIEIRA, T. et al. Durability-related performance of concrete containing fine recycled aggregates from crushed bricks and sanitary ware. **Materials & Design**, [s. l.], v. 90, p. 767–776, 2016.

ZEGARDŁO, B.; SZELĄG, M.; OGRODNIK, P. Ultra-high strength concrete made with recycled aggregate from sanitary ceramic wastes – The method of production and the interfacial transition zone. **Construction and Building Materials**, [s. l.], v. 122, p. 736–742, 2016.

ZEGARDŁO, B.; SZELĄG, M.; OGRODNIK, P. Concrete resistant to spalling made with recycled aggregate from sanitary ceramic wastes – The effect of moisture and porosity on destructive processes occurring in fire conditions. **Construction and Building Materials**, [s. l.], v. 173, p. 58–68, 2018.