

ANÁLISE DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA DO USO DE AGREGADOS PROVENIENTES DO PROCESSAMENTO DE MATERIAIS VÍTREOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Christian Souza Barboza (christianbarboza@ufgd.edu.br); Agleison Ramos Omido (agleisonomido@ufgd.edu.br); Gabriela Sarti (gabrielasarti12@gmail.com)

Universidade Federal da Grande Dourados, Faculdade de Engenharia (UFGD-FAEN) - Brazil

Palavras chave: agregado reciclado, agregado reciclado de vidro, produção científica.

A indústria da construção civil é considerada uma grande consumidora de recursos naturais e geradora de resíduos. Para mitigar estes impactos novas soluções técnicas vêm sendo estudadas, dentre elas, a incorporação de resíduos sólidos urbanos em concretos e argamassas de cimento Portland apresentando-se como alternativa para a preservação de agregados naturais, economia de energia intrínseca ao processo e redução da emissão de poluentes ao meio-ambiente. O presente trabalho apresenta uma análise de como as produções acadêmicas que vêm abordando a questão do uso de agregados de vidro reciclado (AVR) na construção civil. A estrutura da pesquisa fundamentou-se em uma revisão sistemática da literatura ligada ao tema. Por meio da ferramenta de análise de publicações, disponível no sistema de indicadores de publicação científica da plataforma do Web of Science, foram identificados dados como: o volume de produção de trabalhos científicos na área, principais centros de pesquisa ligados ao tema, bem como a maneira como se estruturam as abordagens sobre o tema. Dos trabalhos selecionados, percebeu-se que grande parcela dos mesmos fora desenvolvida pela China, país que se destaca no cenário mundial como grande produtora de material científico, especialmente nas áreas de desenvolvimento e inovação para as engenharias. O tema vem ganhando espaço nos últimos anos, sendo que, aproximadamente 14% das pesquisas foram publicadas no ano de 2018 e não se verifica um decréscimo na quantidade de trabalhos sobre o assunto desde o ano de 2006. Dentre as áreas das pesquisas sobre os AVR's destacam-se a engenharia, a ciência dos materiais, a tecnologia da construção civil e a as ciências ambientais. Tal panorama, demonstra o caráter interdisciplinar das abordagens e, ainda, o alinhamento das pesquisas que buscam minimizar os impactos ambientais pelo descarte de materiais vítreos, incorporando-o na construção civil.

1. INTRODUÇÃO

O consumo de recursos naturais e de energia vêm crescendo proporcionalmente ao crescimento e desenvolvimento da população mundial. A partir disso, nas duas últimas décadas vem acontecendo mudanças significativas na relação da humanidade com o meio ambiente. O impacto ambiental causado pela extração de matérias-primas é cada vez maior e a disponibilidade dos recursos diminui com o passar do tempo, a construção de novas edificações, ampliações e reformas demandam grande volume matérias-primas, tais como, areia, água, rochas britadas, aglomerantes cimentícios, materiais betuminosos, madeira e outros. Tais elementos fazem parte da produção de vários materiais utilizados na construção civil e, dentre eles, se destaca o consumo de agregados para o concreto, elemento este, considerado o mais consumido ao redor do mundo (SANTORO e KRIPKA, 2016).

Além do consumo de matérias primas, o intenso fluxo de materiais necessários para a produção do ambiente construído possui um evidente impacto no meio ambiente. De acordo com John, Oliveira e Lima (2007), até 75% dos recursos extraídos da natureza objetivam a

construção de edificações, com o agravante que a maior parte destes recursos não é renovável. Assim sendo, a construção civil, pode ser considerada um dos seguimentos com maiores consumos de recursos naturais em uma economia (JOHN, 2000).

Em busca de um equilíbrio entre as ações humanas e a resiliência ecológica¹, a reciclagem de resíduos surge como uma boa alternativa para a redução do impacto causado pelo consumo excessivo de matéria-prima e redução das áreas de disposição dos resíduos (LEITE, 2001).

Quando o resíduo é vítreo, de acordo com a ABIVIDRO (2019), este é infinitamente reciclável. Segundo o mesmo instituto, o material demora aproximadamente 5 mil anos para se decompor, sendo que a sua matriz se mantém inalterada após diversos processos de reciclagem, podendo, assim, ser 100% reaproveitada ao longo de grandes períodos de tempo sem que haja alterações físicas e mecânicas no material final.

A reciclagem do vidro contribui para a preservação dos recursos naturais, reduzindo a extração das areias, principal matéria prima empregada em sua produção e ainda, reduz o volume descartado destes materiais em aterros sanitários, o que, por ser cortante em sua forma granular, gera riscos às pessoas que entram em contato com estes.

A produção de vidro a partir de material reciclado consome menos energia que a sua produção inicial, sem a incorporação do vidro reciclado. Há ainda, uma diminuição das emissões de gases que contribuem para o aumento do efeito estufa (dióxido de carbono CO₂ e dióxido de enxofre SO₂), já que, além de menores energias empregadas, os deslocamentos produtivos são menores (CAMARATE, 2016). Apesar disso, no ano de 2014 apenas 49,9% das embalagens de vidro passaram pelo processo de reciclagem (CEMPRE, 2013; ABIVIDRO, 2014).

Outra possibilidade para o reuso deste material, é a sua incorporação em matrizes cimentícias a partir do seu processamento e transformação em agregado artificial (agregado vítreo reciclado – AVR), poupa-se um gasto energético considerável em comparação à extração e britagem de rochas, pois o vidro é um material mais frágil que não necessita do auxílio de explosivos em sua extração (CAMARATE, 2016).

Segundo a definição da NBR 9935/2011, que determina terminologia dos agregados, dá-se o nome de agregado ao material sem forma ou volume definido, geralmente inerte, que possui dimensões e propriedades adequadas para a produção de concretos e argamassas. No concreto de cimento Portland, o agregado aumenta as resistências mecânica e química do composto; diminui o custo da obra, graças à economia de cimento; além de reduzir as possíveis oscilações de volume que podem ocorrer devido a variações de temperatura (PETRUCCI, 1975).

Neste cenário, em meio acadêmico, o direcionamento das pesquisas acerca do tema é um importante fenômeno que pode influenciar o mercado da construção civil, viabilizando novos materiais construtivos com características mais sustentáveis, sendo estes, menos impactantes ambientalmente, socialmente menos danosos e com menores custos econômicos embutidos.

Na maioria dos casos, as razões que motivam pesquisas utilizando resíduos sólidos como matéria-prima para o desenvolvimento de novos materiais de construção, são o esgotamento das matérias-primas não renováveis, a redução no consumo de energia, a

¹ A resiliência ecológica refere-se à habilidade que tem um ecossistema de suportar perturbações mantendo sua estrutura e funções, ou seja, a sua capacidade de absorver distúrbios, a eles de adaptar e tirar benefícios dos mesmos, através da sua adaptação e reorganização (VEIGA, 2010).

menor quantidade de emissão de poluentes na natureza, a redução de custos do material e a melhoria da saúde e segurança da população (JOHN, 2000).

A incorporação de resíduos sólidos como agregados no concreto vem sendo estudada por vários pesquisadores há alguns anos. Como exemplos, cita-se López, Azevedo e Neto (2005), que pesquisaram o uso de vidro reciclado como substituto do agregado fino (areia) no concreto. Matos (2010), pesquisou o uso de resíduos de vidro moído em substituição parcial do cimento.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como OBJETIVOS realizar uma análise de como as publicações acadêmicas vem abordando a questão do uso de agregados reciclados de vidro na construção civil.

3. METODOLOGIA

A estrutura metodológica do estudo se deu a partir de uma revisão da literatura acadêmica vinculada ao tema. Os trabalhos técnicos foram obtidos por meio da base de dados *Web of Science*². A pesquisa foi direcionada a partir da definição da área de interesse, seleção de palavras-chave e a definição da estrutura de tratamento de dados.

A análise foi estruturada com base no volume de produções científicas na área, da identificação dos principais centros de pesquisa sobre o tema, principais autores, agentes de fomento, nacionalidades, tipologias de publicação e a evolução temporal.

As palavras-chave utilizadas, foram: vidro como agregado reciclado, agregado de vidro reciclado e pó de vidro em concretos, agregados para concreto a partir do processamento de materiais vítreos (*glass as recycled aggregate, recycled glass aggregate, glass powder on concrete e aggregates for concrete from the processing of vitreous materials*). Foi feito um recorte temporal, entre os anos de 2006 e 2018, sendo as áreas de interesse fixadas em: tecnologia de construção civil, ciência de materiais multidisciplinar, engenharia civil, ciências ambientais, engenharia ambiental, tecnologia de ciência verde sustentável e compósitos de ciência de materiais (*construction building technology, materials science multidisciplinary, engineering civil, environmental sciences, engineering environmental, green sustainable science technology e materials science composites*).

Os dados foram tratados com o auxílio da ferramenta analítica do *Web of Science*, a plataforma disponibiliza uma grande gama de indicadores de publicações científicas, que possibilitam a geração de dados que servem para uma análise quantitativa mais completa, permitindo-se agrupar e classificar registros em um conjunto de resultados, extrair valores de dados de vários campos, identificar dados como: volume de produções científicas na área, principais centros de pesquisa sobre o tema, e a maneira como as abordagens realizadas se estruturam.

A pesquisa, enxergada, ante ao volume de trabalhos analisados pode ser dividida em três etapas, a primeira seleção se dá por meio da base de dados escolhida para se obter as publicações, nesta etapa o volume de trabalhos é grande. A segunda é a seleção de trabalhos dentro de uma janela temporal de interesse. A terceira e última é a seleção de um número reduzido de publicações, que, relacionam-se diretamente com a questão de pesquisa, onde, após a seleção das palavras-chave e áreas de interesse, os trabalhos foram selecionados a partir dos seus títulos e dos seus respectivos resumos, aqueles que não abordavam o tema principal da pesquisa foram descartados (Figura 1).

² O portal *Web of Science* é uma plataforma de gestão de produções científicas que conta com várias revistas científicas indexadas. Link para acesso: <http://apps-webofknowledge.ez50.periodicos.capes.gov.br/>

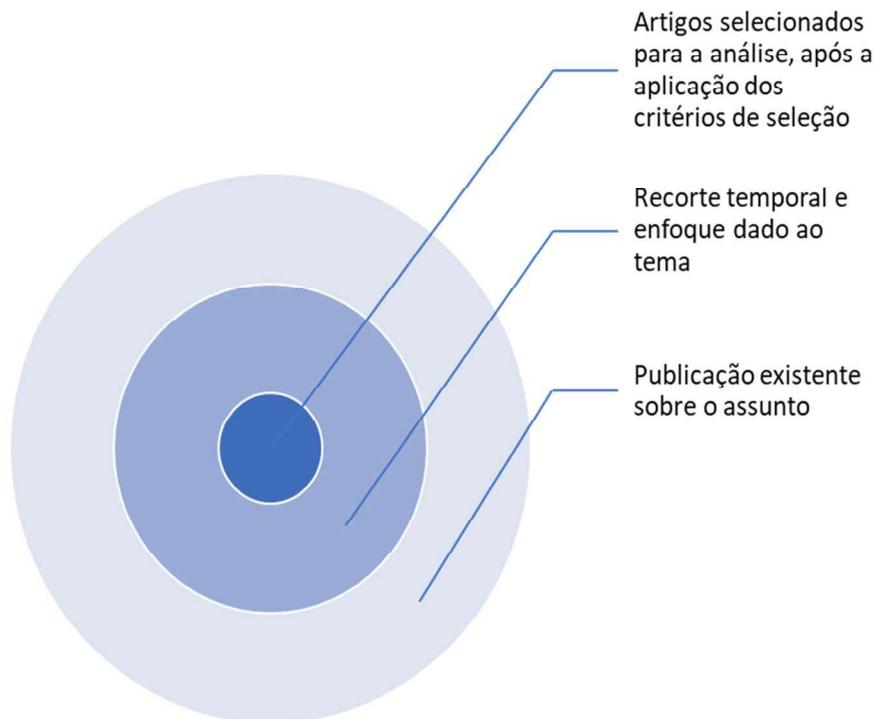


Figura 1. Volume de publicações nas diferentes fases da pesquisa

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Panorama das Abordagens acadêmicas quanto ao tema

Foram selecionados 309 estudos relacionados ao tema, destes, percebeu-se que 22,3% foram realizados pela China, país que se destaca no cenário mundial como grande produtora de trabalhos científicos especialmente nas áreas de desenvolvimento e inovação para as engenharias. Em seguida, EUA e Austrália, países em que o volume de reciclagem e reincorporação de materiais vítreos são elevados (CRENTSIL et al. 2001; MEYER et al., 1999). A Figura 2 ilustra o volume de produções científicas por países sobre o tema abordado.

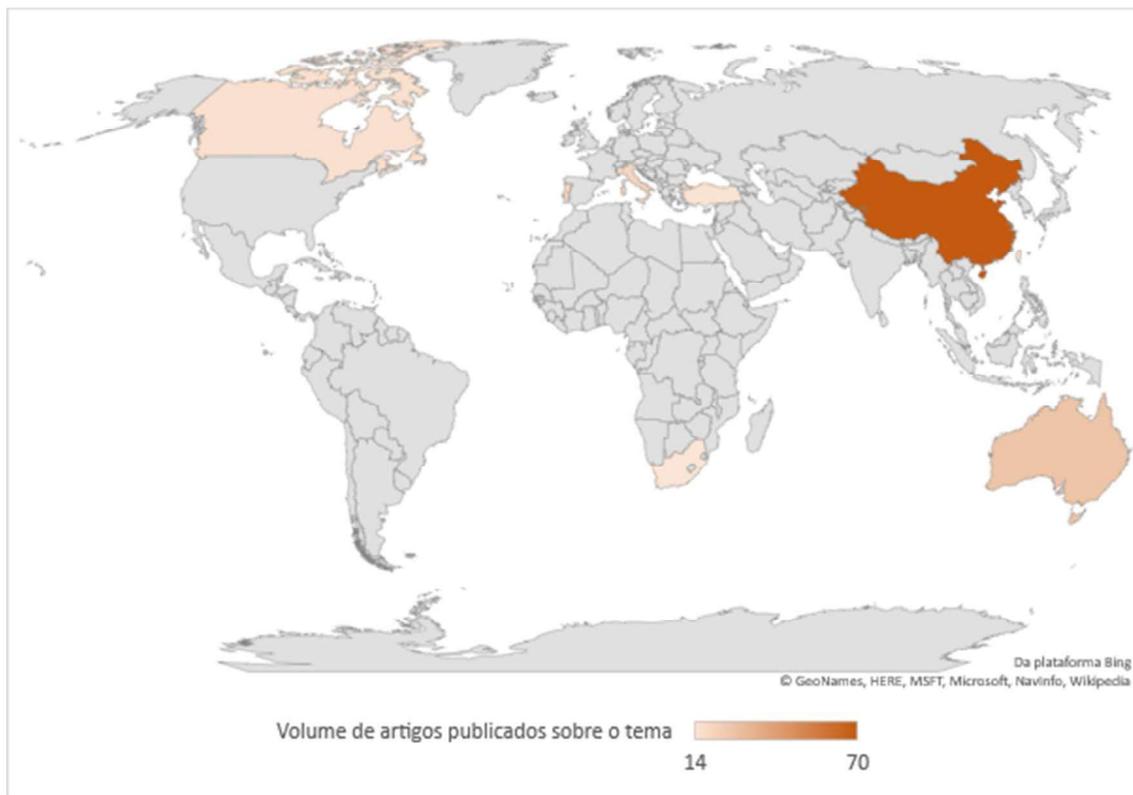


Figura 2. Volume de produções científicas por países sobre os AVR's

Fonte: Adaptado da plataforma do Web of Science

Ao analisar as publicações acerca do tema ao longo dos anos, pode-se perceber que o tema vem sendo cada vez mais discutido dentre os pesquisadores, já que não se verifica até o ano de 2014 um decréscimo na quantidade de publicações sobre a temática (Figura 3). Em 2015 há um decréscimo de publicação, havendo já em 2016 uma recuperação da curva ascendente, verificada desde o ano anterior.

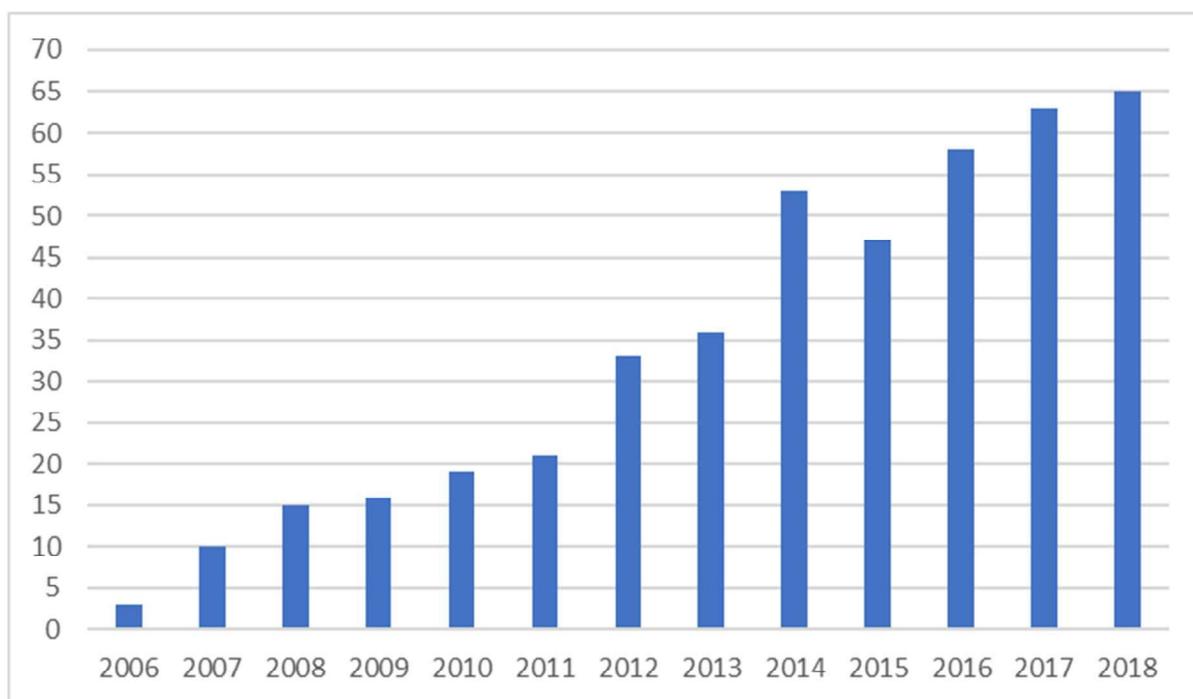


Figura 3. Evolução da quantidade de trabalhos sobre AVR ao longo dos anos

Fonte: Adaptado da plataforma do Web of Science

Com relação às áreas de pesquisa, verificou-se que os campos mais relacionados à temática, a partir dos trabalhos analisados, são: a engenharia, a ciência dos materiais, a tecnologia da construção civil e a ecologia das ciências ambientais, como observado na Figura 4:

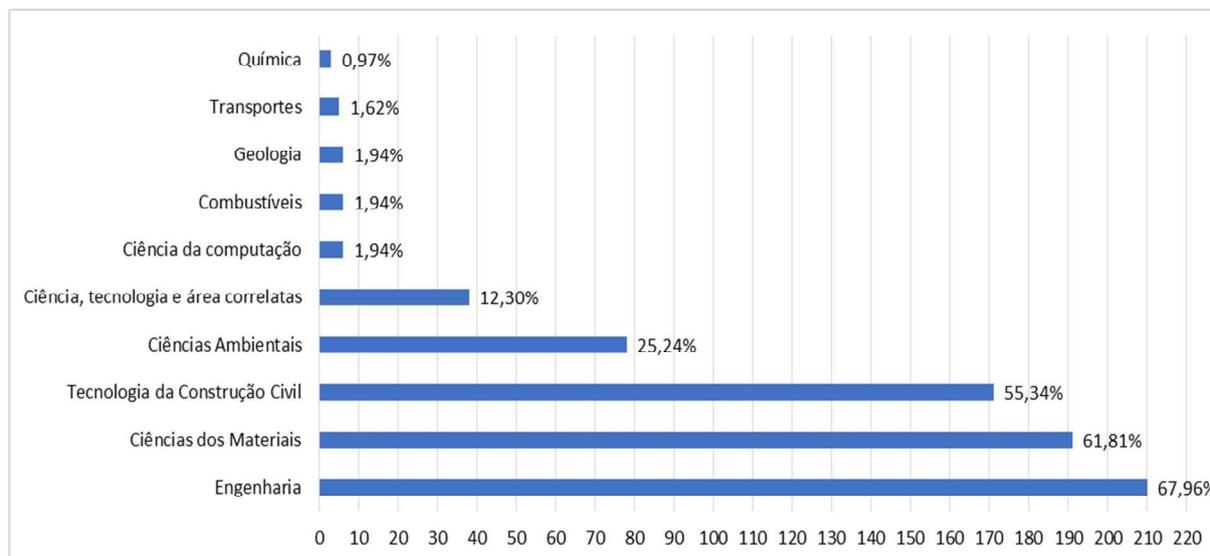


Figura 4. Áreas das pesquisas sobre os AVR's

Fonte: Adaptado da plataforma do Web of Science

O panorama ilustrado demonstra o caráter interdisciplinar da abordagem, além da preocupação generalizada em minimizar os impactos ambientais gerados pelo descarte de materiais vítreos, incorporando-os na construção civil, não apenas nas áreas relacionadas à preservação do meio ambiente ou à sustentabilidade ambiental.

A maior parte dos trabalhos desenvolvidos nesta área são os artigos que publicitam os resultados de pesquisas práticas que incorporaram materiais vítreos processados em bases cimentícias, verificando os efeitos físicos, químicos e mecânicos nestes materiais. Cerca de 79,6% dos documentos foram publicações de artigos, 16,2% foram publicações de procedimentos e apenas 7,4% foram artigos de revisão bibliográfica sobre o tema. Seja pela recente notabilidade do tema ou pelo pouco volume de publicações acumuladas, o tema ainda é pouco revisto bibliograficamente em meio acadêmico.

Os centros de pesquisa que mais se destacam na investigação da incorporação dos AVR's na construção civil são, respectivamente, a Universidade Politécnica de Hong Kong, a Universidade de Tecnologia SwinBurne e a Universidade de Lisboa. Analisando-se os principais centros pesquisadores com os países que mais publicam trabalhos acadêmicos sobre o tema, temos que, a China e a Austrália possuem os dois maiores centros de pesquisa, em volume, na área (Figura 5).

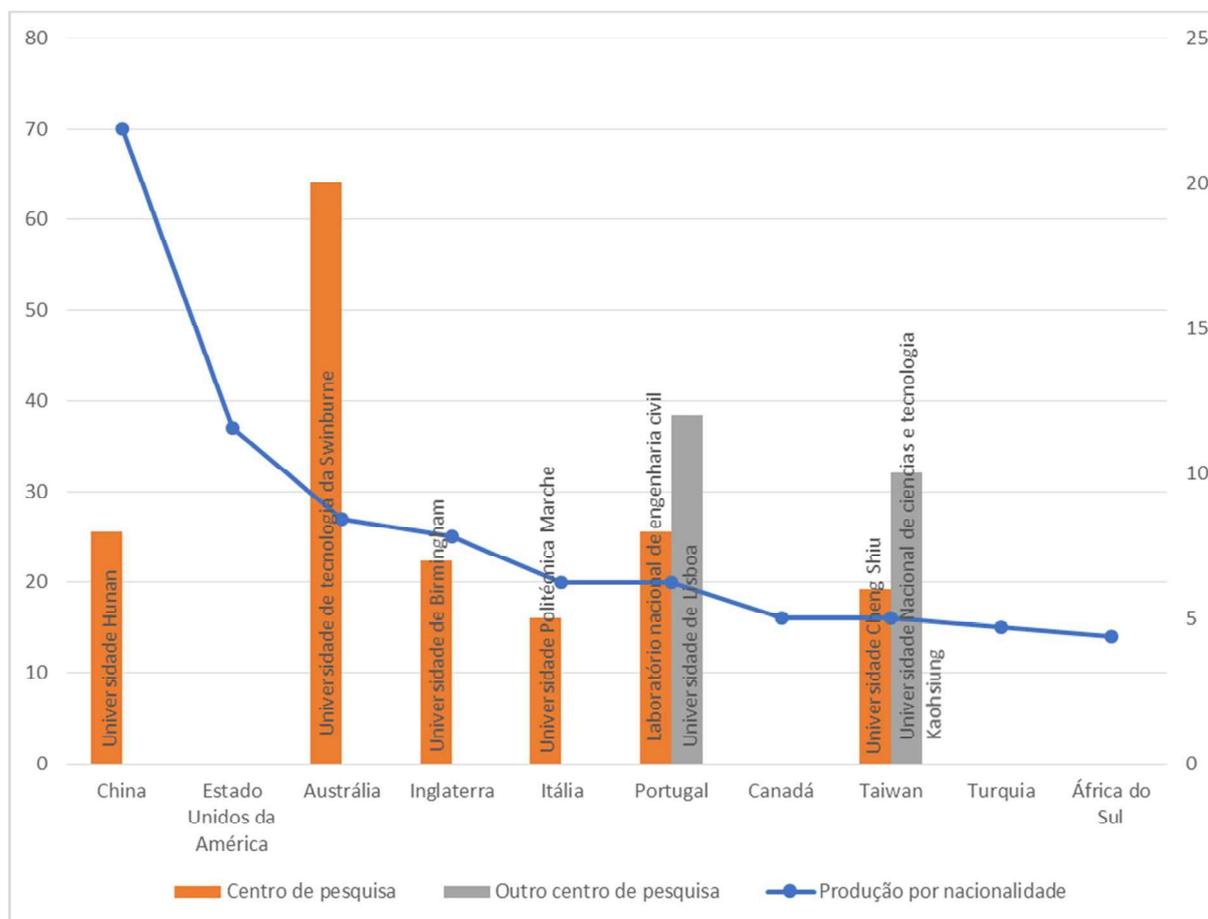


Figura 5. Principais centros de pesquisas sobre os AVR's

Fonte: Adaptado da plataforma do Web of Science

Pode-se verificar ainda o comportamento das pesquisas ao longo dos diversos países ao redor do mundo (Figura 5). Sendo que, o comportamento verificado em países desenvolvidos e com grandes extensões territoriais e aqueles com quantidades significativas de centros de pesquisa não apresentam uma universidade ou laboratório de pesquisa com uma grande produtividade sobre o tema, porém figuram entre os que mais pesquisam sobre o tema. Estados Unidos e Canadá, por exemplo, estão em segundo e sétimo mais produtivos, porém, os seus institutos de pesquisa não apresentam uma grande quantidade de trabalhos acadêmicos publicados sobre AVR's, isso demonstra a descentralização das pesquisas, ou a sua popularização em diversos centros. Em contrapartida, na Austrália as publicações estão concentradas em um único centro de pesquisa. Portugal e Taiwan, países com dimensões geográficas reduzidas, e por consequência, um menor número de centros de investigação concentram a publicação de artigos acadêmicos em dois polos.

Não por coincidência, verifica-se por meio da Figura 6, que os principais agentes financiadores de pesquisas nesta área são os que mais possuem publicações que exploram as potencialidades do uso dos AVR's. Os chineses da Universidade politécnica de Hong Kong, do fundo do meio ambiente e conservação, e da Fundação nacional de ciências nacionais da China (*Hong Kong polytechnic university, environment and conservation fund e national natural science foundation of China*) representam 15,6% do total investido nesta área nos anos avaliados por esta pesquisa, sendo que, apenas o primeiro agente abarca mais da metade do valor investido na China para este tema.

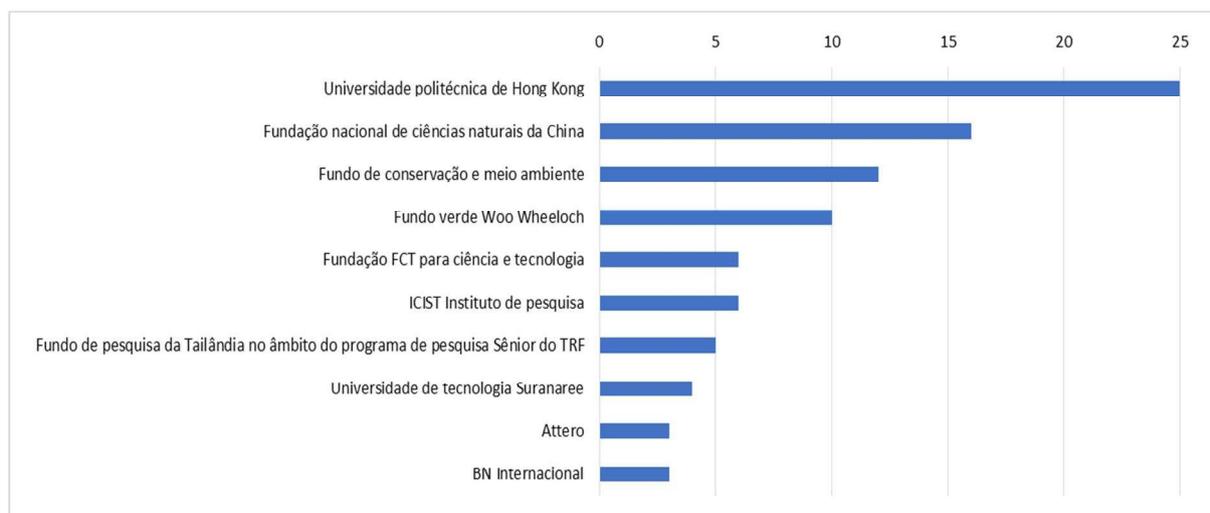


Figura 6. Principais agentes financiadores da investigação sobre os AVR's na construção civil

Fonte: Adaptado da plataforma do Web of Science

Entre os autores que mais se dedicam a estudar o tema, quase que em sua totalidade, dos dez com mais publicações científicas no período analisado são chineses (Figura 7), o que demonstra, mais uma vez, o interesse deste país nos resultados da pesquisa da reincorporação de materiais em bases cimentícias.

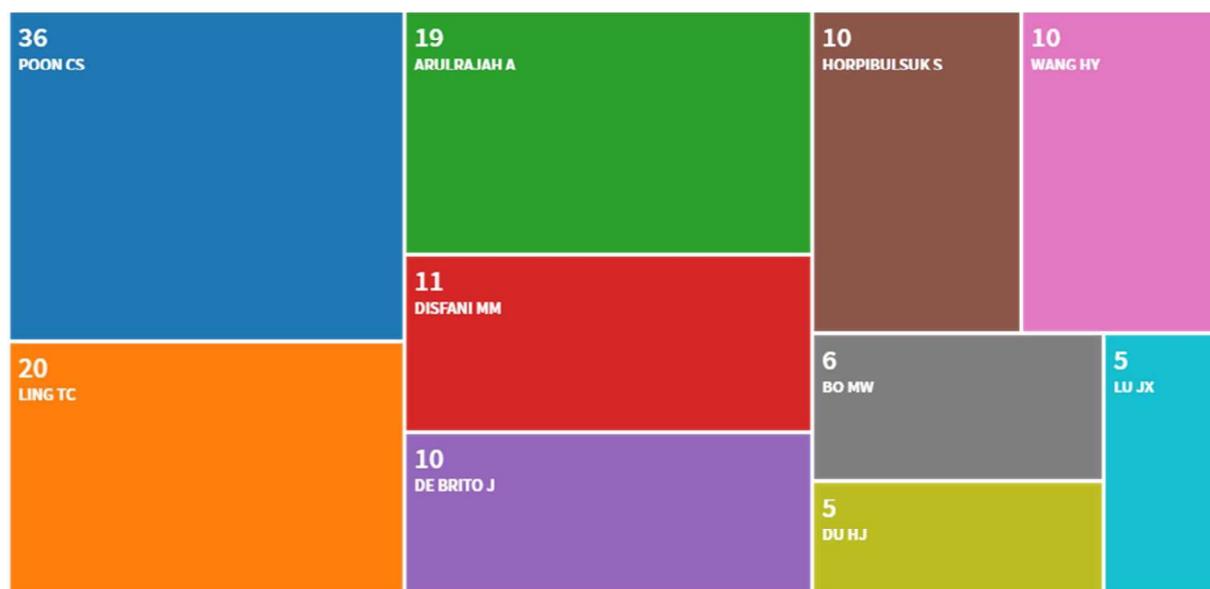


Figura 7. Principais autores de trabalhos sobre os AVR's

Fonte: Adaptado da plataforma do Web of Science

Um fator importante para a consulta de materiais técnicos para elucidar ou iniciar os estudos para a aplicação de um novo material é analisar um periódico que busca publicar trabalhos sobre o tema, pois, verifica-se uma evolução dos conceitos no âmbito editorial de determinada revista. Sobre isso, verifica-se que a grande maioria dos trabalhos foram veiculados pela construção civil e materiais de construção civil (*construction and building materials*) periódico de grande fator de impacto e alta visibilidade acadêmica (Figura 8).



Figura 8. Principais periódicos que abordam o tema

Fonte: Adaptado da plataforma do Web of Science

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS - CONCLUSÕES

A partir dos dados levantados, pode-se ter um panorama de como está estruturado o cenário das pesquisas sobre o tema investigado. Grande parte das publicações situam-se na China, com destaque para a alta produtividade científica sobre os AVR's da Universidade de Hunan. Este país apresenta índices elevados na expansão de obras de construção civil, alto volume de resíduos sólidos urbanos e escassez de matérias primas (MOTTA, 2005). O que, em tese, é um cenário interessante para a expansão da incorporação de AVR em matrizes cimentícias

Os outros países que mais investem na investigação do tema, EUA e Austrália, já se utilizam deste material em suas edificações, sendo, portanto, natural que as pesquisas se dediquem a investigar tal temática.

Os principais agentes financiadores de pesquisas nesta área são chineses, sendo que os principais centros de pesquisa e pesquisadores com maiores volumes de publicações também pertencem a este país.

Em contrapartida, o principal periódico, responsável pelo maior número de publicações sobre o tema em meio acadêmico no período analisado por esta pesquisa, "construction and building materials" não é chinês. A revista, com fator de impacto 3.485 (até 2017) é integrante do domínio Elsevier, importante gerenciador de periódicos, em inglês, majoritariamente.

Os resultados obtidos por esse levantamento possuem recortes temporais e de conteúdo, representando, portanto, uma fotografia específica de um determinado fenômeno, não representado o estado da arte sobre o tema. Os dados dão indícios e, quando analisados em conjunto, formam um conjunto que permite realizar extrapolações para novas abordagens práticas e teóricas sobre o tema. A análise do panorama científico pode representar como o mercado irá se comportar no futuro, pois, antes de ser uma solução construtiva, está fora desenvolvida e amplamente pesquisada.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9935: Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

- ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DAS INDUSTRIAS AUTOMÁTICAS DE VIDRO. *Reciclagem de Vidro*. Disponível em: <<http://www.abividro.org.br/reciclagem-abividro>>. Acesso em 16 nov. 2018.
- _____. *Vidro – O resíduo infinitamente reciclável*. Disponível em: <<https://www.abividro.org.br/noticias/vidro-o-residuo-infinitamente-reciclavel>>. Acesso em 17 mar. 2019.
- BATABYAL, A. A. *On some aspects of ecological resilience and the conservation of species*. *Journal of Environmental Management* 52, pp. 373-378. 1998.
- CAMARATE, D. J. B. L. et al. *Incorporação de vidro reciclado em betões: análise da influência do processo de amassadura no agregado reciclado de vidro*. 2016. *Dissertação de Mestrado*.
- COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM - CEMPRE. *CEMPRE Review*. 2013. Disponível em: <<http://cempre.org.br/artigo-publicacao/artigos>> Acesso em 16 nov. 2018.
- COELHO A., de Brito, J. *Generation of Construction and Demolition Waste in Portugal*. *Waste Management & Research*, V. 29, N. 7, 2011, pp. 739-750.
- CRENTSIL, K. S., BROWN, T., TAYLOR, A., *Recycled glass as sand replacement in premix concrete*, Ed. *Eco- Recycled Australia and CSIRO*, 2001.
- HOLLING, C. S., SCHINDLER, D., WALKER, B. W. and ROUGHGARDEN, J. *Biodiversity in the functioning of ecosystems: an ecological synthesis*. In *Biodiversity Loss: Economic and Ecological Issues* (C. Perrings, K. Maler, C. Folke, C. S. Holling and B. Jansson, eds), Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1995.
- JOHN, V. M. *Reciclagem de Resíduos na Construção Civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento*. São Paulo, 2000. 113 f. Tese (Livre-docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.
- JOHN, V. M.; OLIVEIRA, D. P.; LIMA, J. A. R. *Levantamento do estado da arte: Seleção de materiais. Projeto tecnologias para construção habitacional mais sustentável*. São Paulo: FINEP, 2007.
- LEITE, M. B. *Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – UFRS. Porto Alegre, p.18. 2001.
- LEMOS, E. *Diagnóstico da cadeia de Reciclagem de Embalagem de Vidro em Santa Catarina*. 2012. Trabalho de CONCLUSÕES de Curso (Graduação).
- LÓPEZ, D. A. R.; AZEVEDO, C. A. P.; NETO, E. B. *Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com vidro moído como agregado fino*. *Cerâmica*, São Paulo, v. 51, n. 320, dez. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S03666913200500400003&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 19 mar. 2019.
- MATOS, Ana Mafalda. *Estudo de Argamassa com substituição parcial de cimento por resíduos de vidro moído*. 2010. 173 f. *Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal*, 2010.
- MOTTA, R. S. *Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego*. 2005. *Dissertação de Mestrado*.
- MEYER, C., Y. Xi, J. *Mater. in Civil Eng. ASCE* 11, 2. 1999.
- Petrucci, E.G. *Materiais de construção*. Porto Alegre: Globo, 435p. 1975.
- SANTORO, J. F.; KRIPKA, M. *Determinação das emissões de dióxido de carbono das matérias primas do concreto produzido na região norte do Rio Grande do Sul*. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 16, n. 2, p. 35-49, 2016.
- VEIGA, J. E. DA. *Indicadores De Sustentabilidade*. *Estudos Avançados*, v. 24, n. 68, p. 39–52, 2010.