

TECNOLOGIA DE ANÁLISE DE IMAGENS APLICADA À GESTÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO: UMA ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA

IMAGE ANALYSIS TECHNOLOGY APPLIED TO THE MANAGEMENT OF CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE: A BIBLIOGRAPHIC ANALYSIS

Andréa Ryba Lenzi¹
André Nagalli²

RESUMO

A construção civil é um importante setor da economia brasileira. Ao passo que este setor cresce, surgem também problemas relacionados aos seus processos que ainda são considerados carentes de inovação. Diante disso, tecnologias que promovam a eficiência de seus processos são elementos imprescindíveis na busca por ações mais sustentáveis. Assim, este artigo busca fazer um levantamento do uso de tecnologia de análise de imagens na gestão de resíduos de construção e demolição. Para tanto, realizou-se uma pesquisa bibliográfica a fim de se identificarem as principais aplicações da referida tecnologia, bem como avaliar a importância da técnica na gestão de resíduos. Os resultados mostram a aplicação desta técnica na caracterização morfológica de partículas, na quantificação da geração de RCD, em avaliação de fraturas e fissuras de estruturas, onde foram empregados agregados reciclados e também na separação automática de resíduos. Ressalta-se como grandes vantagens da técnica, a sua ação não invasiva, evitando contato humano com materiais com possível contaminação; maior agilidade nos processos de separação; resultados consideráveis na quantificação da geração de resíduos e possibilidade de substituição de testes de laboratório, no caso da avaliação de fraturas e fissuras. Além disso, cabem desenvolvimentos da técnica de forma a torná-la mais viável economicamente.

Palavras-Chave: Resíduos de construção e demolição, análise de imagem, resíduos de construção civil, gerenciamento de resíduos, reciclagem.

¹ Engenheira Química, mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) e é professora do Departamento de Transportes da UFPR. E-mail: andrea.ryba@ufpr.br.

² Engenheiro Civil, mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), doutor em Geologia pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e é docente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). E-mail: nagalli@utfpr.edu.br

ABSTRACT

Civil construction is an important sector of the Brazilian economy. As this sector grows, there are also problems related to its routine processes that are still lacking in innovation. Therefore, technologies that promote the efficiency of processes are essential elements in searching for more sustainable actions. Thus, this paper seeks to survey the use of image analysis technology to manage construction and demolition waste. Therefore, a bibliographical investigation identified the referred technology's leading applications and evaluated the importance of the technique in waste management. Image analysis can characterize the morphology of the particles. It can also quantify the generation of CDW in the evaluation of fractures and cracks of structures when using recycled aggregates. It can also help in the automatic separation of residues. One of the technique's advantages is the non-invasive feature, avoiding human contact with materials with possible contamination. It has better agility in the separation processes and allows reliable results in the quantification of waste generation. Finally, it can replace some standard laboratory tests in evaluating fractures and cracks. In addition, technical developments lack in order to make it more economically viable.

Keywords: Construction and demolition waste, image analysis, construction waste, waste management, recycling.

INTRODUÇÃO

Nos anos 2010-2020, houve uma considerável expansão do setor de construção civil. Esta tem aumentado a sua participação na produção agregada nacional, chegando a 15% do PIB brasileiro (NAGALLI, 2014). Porém, a mencionada expansão do setor não foi acompanhada na mesma velocidade pelo desenvolvimento de processos mais eficientes e sustentáveis, resultando num aumento considerável da quantidade de resíduos gerados. Desta forma, surge a necessidade de serem desenvolvidas técnicas de caracterização, seja qualitativa e/ou quantitativa, com a finalidade de verificar tantos aspectos a serem melhorados durante a realização de uma obra, na tentativa de evitar a geração, quanto dar o destino adequado aos resíduos gerados.

Neste sentido, o uso de tecnologias que contribuam para a realização do gerenciamento e/ou gestão de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) mais eficientes são de grande valia. E nesse contexto as principais tecnologias de

informação aplicadas são: modelagem de informações de construção (BIM), Sistema de Informações Geográficas (GIS), *big data*, identificação por radiofrequência, Tecnologia de Reconhecimento de Imagem (IRT), Análise de Imagem (IA), Sistema de Posicionamento Global (GPS) e tecnologia de código de barras (Li *et al.*, 2020). Dessas tecnologias, é objeto de interesse deste estudo as tecnologias de reconhecimento de imagem e análise de imagem, que ainda segundo Li *et al.* (2020), juntas representam 3,5% das tecnologias de informação encontradas em publicações científicas na temática da gestão de RCD.

Os resíduos de construção e demolição são considerados problema crítico da indústria da construção civil. Segundo Conama (2002) caracterizam-se como RCDs os resíduos oriundos de construções, reformas, reparos, demolições e de terraplenagem, tais como tijolos, telhas, concreto, solos, argamassas, gesso, madeira, asfalto etc.

No Brasil foram coletados aproximadamente 123 mil t/dia de RCD no ano de 2017 (ABRELPE, 2017). Ainda segundo ABRELPE (2017), acredita-se que parte dos RCD gerados não são adequadamente descartados e/ou coletados. Porém, estes resíduos impactam negativamente o meio ambiente e a sociedade, necessitando então um manejo adequado.

Diante disso, o objetivo desta pesquisa é realizar um levantamento da aplicabilidade da técnica de análise de imagem na avaliação de resíduos de construção e demolição, além de identificar as vantagens de sua utilização.

METODOLOGIA

Para se ter informações a respeito dos estudos que estão sendo desenvolvidos em termos do uso de tecnologias que utilizem análise de imagem na gestão de resíduos de construção, a metodologia foi dividida em duas etapas: pesquisa bibliográfica e análise cienciométrica.

A pesquisa bibliográfica foi realizada em bases de dados indexadas, SCOPUS e Web of Science. Para tanto, foram utilizadas as palavras-chaves “*construction and demolition waste*” e “*image analysis*”, resultando em trinte e nove artigos científicos, que, após filtragem dos dados, resultou num total de dezenove artigos relevantes para o desenvolvimento deste estudo. Outros cinco artigos foram

localizados por meio de outra base de dados indexada, a Web of Science.

Na sequência, realizou-se uma análise das publicações ao longo dos anos, a fim de se verificar a evolução do tema, em termos de publicações científicas. Por fim, realizou-se um mapeamento científico com a finalidade de se compreender a amplitude do tema pesquisado, bem como a sua relevância em termos mundiais e as suas possibilidades de desenvolvimento.

ANÁLISE DA LITERATURA

Muitos são os métodos e técnicas utilizados na gestão dos RCD. Como reportado por Sarc *et al.* (2019) tecnologias empregadas com sucesso em outros setores industriais podem ser usadas com sucesso na gestão de RCD, tornando o processo mais eficiente. Dentre essas tecnologias, Sarc *et al.* (2019) citam técnicas que fazem uso de análise de imagem como tecnologias já desenvolvidas.

Nesse sentido, o trabalho pioneiro no uso de análise de imagem aplicado em estudos relacionados a RCD foi reportado por Abbas *et al.* (2008), que propuseram um método para determinar o teor de argamassa residual em agregados de concreto reciclado. É sabido que a argamassa residual afeta as propriedades do agregado reciclado, logo, o método combina esforços mecânicos e químicos e o procedimento é validado com o emprego de análise de imagem, que participa do processo determinando o teor de argamassa residual (ABBAS *et al.*, 2008).

Na sequência, Brisola *et al.* (2010) aplicaram a técnica de análise de imagem para a classificação de partículas finas, sintéticas, de resíduos de construção e demolição. Mais especificamente, foi desenvolvido um algoritmo para caracterização automática de partículas de argamassa, cerâmica ou concreto, em termos de forma, tamanho e textura. A aquisição das imagens se deu via MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura) e o mapeamento de imagem ocorreu via histograma de tons de cinza. Brisola *et al.* (2010) concluíram que, somente considerar o fator forma não é suficiente para caracterização da imagem, sendo a textura um fator fundamental. O melhor resultado em termos de classificação das amostras para argamassa e cerâmica foram superiores a 80%, considerando todos os fatores em conjunto (forma, tamanho e textura). Nesta mesma condição, para

as partículas de concreto o melhor resultado foi de 56,3%. Este resíduo foi considerado a principal limitação do método, mas ainda assim, pode ser mais rápido e preciso do que a classificação visual.

A mesma técnica apresentada por Brisola *et al.* (2010) foi empregada por Gomes *et al.* (2011) na caracterização morfológica de partículas de areias naturais e artificiais, estas formadas por resíduos de construção e demolição (RCD) do tipo argamassa, cerâmica e concreto. Por meio do emprego da técnica de análise de imagem foi possível identificar que o formato da partícula de areia natural era um pouco mais arredondado. Porém, as texturas apresentaram-se claramente diferentes, sendo que as partículas de areia artificial eram um aglomerado de partículas, compostas, às vezes, por diferentes minerais, além de serem mais porosas.

Dando continuidade, Lima *et al.* (2014) usaram a técnica de análise de imagem apresentada por Gomes *et al.* (2011) para caracterização de forma e textura, de agregados finos, produzidos com resíduos de concreto, argamassa e cerâmica. O objetivo era estudar a influência do agregado fino reciclado nas propriedades reológicas de argamassa de cimento Portland. Portanto, o trabalho de Lima *et al.* (2014) não foca na referida técnica e sim na avaliação das propriedades reológicas do agregado fino reciclado.

Já Linß *et al.* (2012) desenvolveram um método de identificação ótica para agregados de RCD, baseada na técnica de análise e processamento de imagem e aprendizagem de máquina (do inglês, *machine learning*). Segundo Linß *et al.* (2012), o objetivo do estudo foi melhorar a qualidade dos agregados, melhorando assim a qualidade da reciclagem, e construir uma base para um método de classificação inovador, em se tratando de processamento de RCD. O método atingiu taxas de reconhecimento superiores a 97%. Porém, Linß *et al.* (2012) reportam que o método ainda pode ser otimizado. Nessa mesma linha de aplicação, a melhoria da qualidade de agregados reciclados de concreto, Serranti *et al.* (2015) trabalharam no desenvolvimento de um método não destrutivo, rápido e de baixo custo, baseado em análise de imagens hiperespectrais, com utilização de técnicas quimiométricas, para caracterização e classificação de agregados reciclados. Partindo para a aplicação, Xu *et al.* (2018) usaram técnicas de processamento e

análise de imagem na identificação de propriedades de agregados reciclados e Liu *et al.* (2020) aplicaram a análise de imagem para verificar a heterogeneidade espacial estratificada também de agregados reciclados.

Anding, Garten e Linß (2013) desenvolveram um sistema baseado em um algoritmo de classificação para RCD com reconhecimento em tempo real, baseado em análise de imagens RGB. Posteriormente, Córdoba *et al.* (2019), desenvolveram um método de caracterização qualitativa de alguns RCD's, buscando rapidez no processo, a fim de diagnosticar inicialmente a composição do resíduo.

Em outra linha de aplicação, Xuan *et al.* (2013) desenvolveram uma técnica, baseada em análise de imagem, para analisar numericamente fraturas em base e sub base de uma estrada, construída com o uso de um percentual de agregados reciclados. Mais especificamente utilizou-se concreto reciclado triturado e material de alvenaria. Os resultados de testes de resistência a tração indireta, obtidos com o método desenvolvido por Xuan *et al.* (2013), indicam que o método investigado é comparável com aquele obtido em testes em laboratório.

Ainda ponderando a aplicação na pavimentação, Kazmee *et al.* (2015) também fizeram uso da técnica de análise de imagem na avaliação de agregados de concreto reciclados para serem usados em pavimentos. A técnica foi utilizada para determinação de tamanho e propriedades morfológicas dos materiais, tais como tamanho, textura e angularidade entre agregados maiores.

Em se tratando de mais aplicações em estruturas, Michaud *et al.* (2016) avaliaram a performance de agregados de concreto reciclado aplicados em lajes de concreto armado. Foram comparados os desenvolvimentos de fissuras de cada corpo de prova por meio do uso de correlação de imagem digital e sensoriamento por fibra óptica. Michaud *et al.* (2016) concluíram, dentre outras, que a correlação de imagem digital e o sensoriamento por fibra óptica podem ser usados para determinar o comportamento de fissuras de corpos de prova de concreto armado. Posteriormente, Zhang *et al.* (2019) buscaram avaliar a deformação de estruturas, onde também foram empregados agregados reciclados, concluindo que a técnica de análise de imagem pode ser utilizada para o propósito em questão.

Já Di Maria *et al.* (2016) propuseram uma técnica para avaliação da distribuição do tamanho de agregados formados por RCD. O tamanho das

partículas de agregados influencia em propriedades fundamentais dos materiais de construção, tais como trabalhabilidade, resistência e durabilidade (DI MARIA *et al.*, 2016). A técnica proposta utiliza uma câmera industrial e o método é baseado na elaboração de um catálogo de imagens com distribuição granulométrica conhecida. A imagem do material que a ser analisado será, então, comparada com aquelas do catálogo, sendo realizada uma interpolação. Segundo Di Maria *et al.* (2016), o método apresenta ganhos em termos de rapidez, quando comparada com trabalhos de peneiramento manuais, por ser uma operação sem contato e de forma contínua, além da precisão de 81 a 85%, com possibilidade de operação em plantas de tratamento mecânico de RCD.

Agora, aplicando a técnica para estimar a quantidade de resíduos de demolição gerados, Kleemann *et al.* (2017) utilizaram a técnica de análise de imagem para validar as estatísticas de demolição e, posteriormente, realizar a quantificação do resíduo. A técnica consiste na detecção de mudanças ao longo do tempo, com base na comparação entre imagens.

Nesta mesma linha de aplicação, Yu *et al.* (2019) propuseram um método para quantificação de resíduos de demolição de edifícios com base em dois indicadores: a taxa de geração de resíduos (WGR) e a área bruta de construção (GFA). A taxa de geração de resíduos foi obtida com base em medições no local e em dados existentes, segundo diferentes tipos de construção e de estrutura, bem como composição e proporção dos resíduos. A área bruta de construção, por sua vez, foi obtida com base na tecnologia de reconhecimento de imagem obtidas do Google Earth. A incerteza dos dados apurados, mediante o uso do método proposto, ficou na faixa de 10% e, embora Yu *et al.* (2019) considerem que a eficiência pode ser melhorada, o método apresenta-se mais rápido do que a medição manual em campo ou do uso de técnicas fotogramétricas e técnicas de scanner a laser.

Na busca por melhorias nos métodos de quantificação de resíduos, Bogoviku & Waldmann (2021) combinam uma análise geoespacial e de imagem para avaliar os estoques de construções minerais. Com o auxílio de mapas topográficos antigos e das atividades de construção e demolição, estimativas de resíduos são geradas para diferentes cenários estocásticos. Anteriormente,

mediante o uso de mapas e fotografias aéreas, Miatto *et al.* (2019) buscaram estimar a vida de edificações, bem como os estoques de edifícios na cidade de Pádua, na tentativa de estimar a geração dos resíduos de demolição.

Já Liu *et al.* (2019) partiram para a melhoria na qualidade das imagens obtidas para classificação de RCD. Muitas imagens são obtidas a partir de resíduos situados sobre correias transportadoras e acabam ficando borradas, perdendo qualidade. Nesse sentido, Liu *et al.* (2019) empregaram métodos de restauração de imagens, buscando a sua melhoria e alcançaram resultados notáveis.

Outra aplicação é na identificação e separação de resíduos. Bonifazi *et al.* (2019) usaram um dispositivo de detecção de imagem hiperespectral para identificar e separar resíduos que continham amianto. O método automatizado permite a identificação em um fluxo, com método não destrutivo e sem contato humano com os materiais, o que já representa grandes ganhos.

Seguindo pelo caminho da identificação de resíduos, Hoong *et al.* (2020) desenvolveram um método automatizado para determinar a composição de agregados reciclados, que emprega redes neurais e análise de imagem. Foi criado um banco de dados de aprendizagem para as redes neurais com 36.000 imagens de materiais individuais, classificados de acordo com a sua natureza. Após treinamento, a precisão para classificar as imagens de grãos foi de 97%. Nesta mesma lógica, Hoang *et al.* (2020) utilizaram a técnica de análise de imagem para identificar os componentes dos resíduos de construção e demolição. Mediante o uso dessa técnica foi possível identificar solo, tijolo e concreto.

E, por fim, dando um passo além, Xiao *et al.* (2020) elaboraram um protótipo de um robô para a realização de classificação e separação automática de RCD baseada em contornos. Com a utilização de mapas de altura e imagens hiperespectrais de infravermelho próximo (NIR), o protótipo do robô captura o elemento e o coloca no local correto de reciclagem com precisão próxima a 100%.

DISCUSSÕES

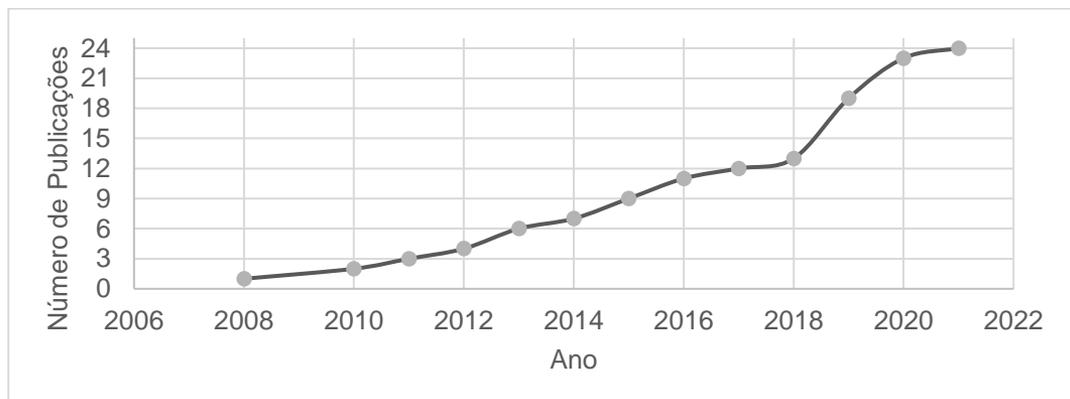
Diante do levantamento bibliográfico, pode-se verificar o emprego da técnica de análise de imagem para: classificação e/ou caracterização morfológica de partículas (forma, textura, tamanho de partícula etc.), representando

aproximadamente 62,5% dos trabalhos avaliados; quantificação de resíduos de construção e/ou demolição, com representatividade de 17%; análise de fraturas e/ou fissuras mediante emprego de agregados reciclados, com 12,5%; e Identificação e separação de RCD, 8% dos trabalhos consultados.

Observou-se ainda que o uso de técnicas que envolvam a técnica em estudo evoluiu ao longo do tempo, em termos de uso de tecnologia para aquisição de imagem e seu processamento, além do número de publicações em periódicos internacionais. Em alguns trabalhos, como no reportado por Brisola *et al.* (2010), observou-se o uso de técnicas de aquisição de imagem mais sofisticadas, como o uso de MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura) e imagens hiperespectrais (Bonifazi *et al.*, 2019), ou seja, técnicas com sensibilidade adequada, que envolvem elevados investimentos para a sua aplicação. Já em trabalhos mais atuais, câmeras convencionais passaram a ser utilizadas também (Di Maria *et al.*, 2016), bem como imagens disponíveis na internet, como do Google Earth (Yu *et al.*, 2019), que, nestes casos, tornam a técnica mais viável para ser implementada em campo.

Na Figura 1, verifica-se um aumento gradual no número acumulado de publicações, levantadas neste estudo, desde 2008 até o presente ano, 2021. Observa-se que, embora individualmente os temas análise de imagem e RCD sejam temas de destaque internacional em pesquisas, quando combinados, ainda não tem muita representatividade, embora exista um aumento do número de publicações.

Figura 1 – Publicações acumuladas ao longo do tempo.



Fonte: Os autores.

Em relação às publicações, na Tabela 1, pode-se observar alguns periódicos com publicações nos temas em questão. Foram relacionados os periódicos, por ordem decrescente de citações, sendo considerado no mínimo 6 destas. O periódico com maior número de publicações é o “Journal of Cleaner Production”, com 3 artigos publicados no tema e com elevado fator de impacto (7.246). Porém, o artigo com maior número de citações é aquele publicado no “Journal of ASTM International”, cujo fator de impacto não foi identificado. Embora ambas as revistas tenham poucas publicações nos temas avaliados, apresentam bastante citações, o que representa um reconhecimento do trabalho dos autores, além da possível continuidade do tema. Estas informações são importantes para demonstrar a influência do tema pesquisado na produção mundial.

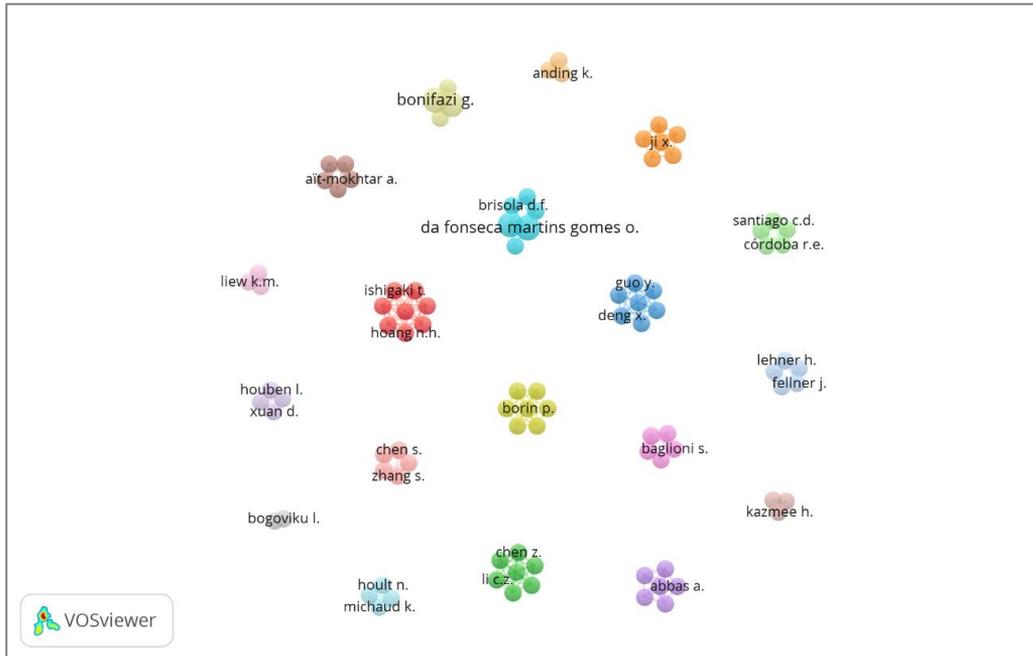
Tabela 1 – Periódicos com maior número de citações, verificadas com o auxílio do programa VOSviewer.

Periódicos	Nº de Publicações	Citações	Fator de Impacto*
Journal of ASTM International	1	94	-
Resources Conservation and Recycling	2	59	-
Journal of Cleaner Production	3	43	7.246
Cement and Concrete Composites	1	26	6.257
Waste Management	2	26	5.448
Key Engineering Materials	1	7	0.224
IEEE Transactions on Industrial Electronics	1	6	7.515

Fonte: * *Journal of Citation Reports*, verificado em junho/2021.

Já em relação a cooperação entre os grupos de pesquisadores, pode-se observar na Figura 2, diante de uma análise de coautoria, viabilizada pelo *software* VOSviewer, a ausência de trabalhos em conjunto com outros grupos de pesquisadores. As publicações ainda estão vinculadas a ações individuais de grupos. A cooperação entre autores pode contribuir para a melhoria do desenvolvimento das pesquisas no tema.

Figura 2 - Análise de coautoria realizada com base na pesquisa SCOPUS e com auxílio do software VOSviewer.



Fonte: Os autores.

Analisando as publicações dos autores dos artigos consultados nesta investigação, percebe-se que a maioria tem apenas uma ou, no máximo, duas publicações no tema (análise de imagem e resíduos de construção e demolição). Porém, são trabalhos relevantes, não só pelo mérito da pesquisa, mas também pelo número de citações, o que demonstra que o tema está em desenvolvimento.

Na Tabela 2, pode-se observar alguns exemplos de trabalhos, cujos autores tem apenas uma publicação no tema em questão, bem como o número de citações. Como exemplo, Abbas *et al.* (2008) é o artigo com maior número de citações, daqueles investigados, porém é um dos pioneiros no tema em questão. Abbas *et al.* (2008), como já reportado, trabalharam na melhoria da qualidade de agregados reciclados de concreto. Já Miatto *et al.* (2019) e Kleemann *et al.* (2017) são exemplos de trabalhos mais recentes e que já apresentam um elevado número de citações, quando comparado com os demais trabalhos analisados. Recapitulando, Miatto *et al.* (2019) e Kleemann *et al.* (2017) trabalharam com a estimativa de geração de resíduos de demolição, empregando as técnicas de

análise de imagem.

Tabela 2 – Relação de alguns autores, suas publicações e citações.

Autores	Publicações	Citações
Abbas <i>et al.</i> (2008)	1	94
Miatto <i>et al.</i> (2019)	1	32
Kleemann <i>et al.</i> (2017)	1	27

Fonte: Os autores.

A Tabela 3 apresenta os países, onde estão sendo desenvolvidas as pesquisas no tema central deste estudo, daqueles aqui investigados, e foram organizados por número de publicações. Liderando as publicações aparece a China com cinco artigos científicos e setenta e cinco citações. Já o Brasil aparece com três publicações e dez citações.

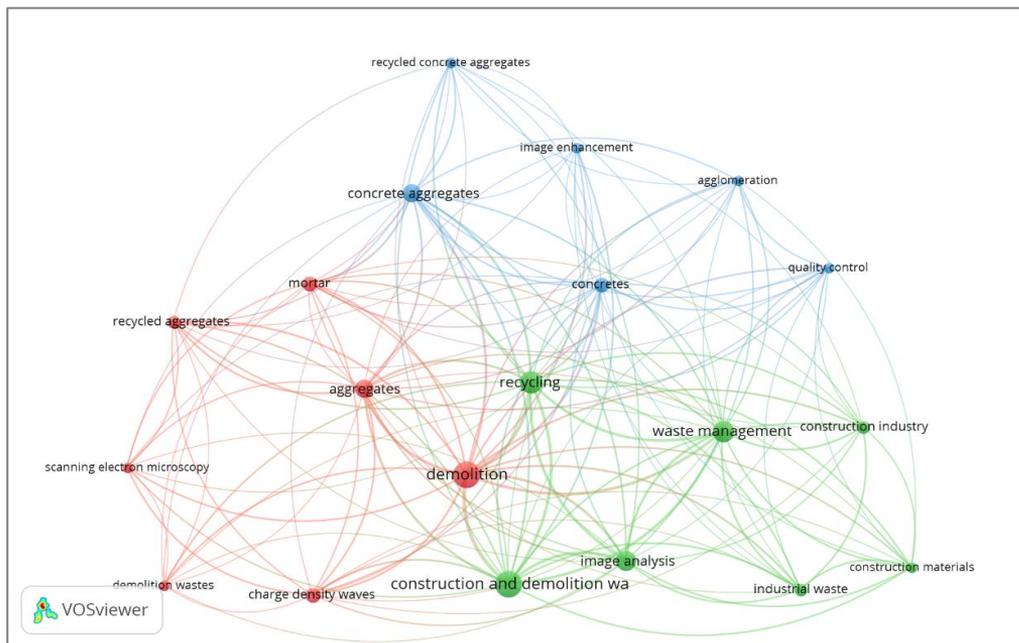
Tabela 3 – Número de publicações e citações por país.

País	Publicações	Citações	País	Publicações	Citações
China	5	75	Áustria	1	27
Itália	4	55	Bélgica	1	7
Austrália	3	55	França	1	2
Brasil	3	10	Alemanha	1	3
EUA	3	52	Luxemburgo	1	0
Canadá	2	97	Holanda	1	0
Hong Kong	2	36	Vietnam	1	6
Japão	2	38			

Fonte: Os autores.

Já na Figura 3, pode-se observar uma rede de coocorrência de palavras-chave, onde as diferentes cores representam diferentes “clusters”. Pode-se verificar a existência de três clusters. Para se construir essa rede de relacionamento entre as palavras, filtrou-se aqueles termos mais adequados para o propósito desta pesquisa.

Figura 3 - Análise de coocorrência de palavras-chave realizada com base na pesquisa Scopus e com auxílio do software VOSviewer.



Fonte: Os autores.

Pode-se observar ainda na Figura 3 que as palavras mais frequentemente citadas são “construction and demolition waste”, “image analysis”, “waste management”, “demolition waste” e “concrete aggregates”. As duas primeiras aparecem com maior frequência em virtude de serem as palavras-chave pesquisadas e as duas últimas por terem diversos trabalhos que tratam de melhoria de agregados de concreto reciclados de resíduos de demolição.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a realização deste estudo, pode-se observar a evolução das pesquisas científicas que envolvem a aplicação da técnica de análise de imagem em resíduos de construção e demolição. De técnicas de aquisição de imagem mais sofisticadas, com o uso de equipamentos mais sensíveis, que foram empregadas nos primeiros desenvolvimentos, à imagens obtidas da internet, em estudos mais recentes, demonstram que a evolução da tecnologia pode reduzir os custos vinculados a etapa de aquisição de imagem, além de favorecer a sua aplicação em campo. Percebe-se também uma evolução na aplicabilidade da técnica de análise de

imagem aliada a robótica para, além da identificação das partículas, promover a separação dos resíduos, favorecendo a reciclagem de RCD.

Pode-se observar ainda que o campo de estudo tem se mostrado interessante aos olhos dos pesquisadores, já que é crescente o número de publicações e interesse dos autores ao longo do tempo. Porém, o estudo demonstra que há pouca interação entre pesquisadores e a formação de inúmeros *clusters* com ações de pesquisa isoladas. Isso se deve provavelmente pelo fato de os autores focarem os seus trabalhos em resíduos de construção e demolição e não na técnica de análise de imagem. A interação entre os mesmos possivelmente será maior, caso o tema investigado seja RCD apenas. As publicações tem ocorrido em periódicos conceituados e de elevado fator de impacto, o que demonstra a relevância do tema.

Contudo, um dos principais diferenciais da utilização de análise e processamento de imagens é a possibilidade de uso de um método não invasivo, que permite a realização de trabalhos sem contato físico entre o operador e o resíduo, que inclusive pode conter contaminação. Outra vantagem reside no fato de se aplicar a técnica para a realização de análises em tempo real, além da redução do tempo processamento de determinados trabalhos, quando comparado com a realização manual. Mas ainda há muito o que se desenvolver em termos da redução de custos na aplicação da técnica e viabilização de utilização em campo, com o emprego de equipamentos menos sensíveis.

REFERÊNCIAS

ABBAS, A., FATHIFAZL, G., BURKAN ISGOR, O., RAZAQPUR, G., FOURNIER, B., FOO, S. Proposed method for determining the residual mortar content of recycled concrete aggregates. **Journal of ASTM International**. 5(1). 2008.

ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017. Abrelpe, 2017. Disponível em https://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama_abrelpe_2017.pdf. Acesso em 8 jul. 2021.

ANDING, K., GARTEN, D., LINß, E.. Application of intelligent image processing in

the construction material industry. **ACTA IMEKO**. Volume 2, n.1, p. 61 – 73. 2013.

BOGOVIKU, L.; WALDMANN, D. Modelling of mineral construction and demolition waste dynamics through a combination of geospatial and image analysis. **Journal of Environmental Management**. 282. n. 111879. 2021.

BONIFAZI, G., CAPOBIANCO, G., SERRANTI, S. Hyperspectral imaging and hierarchical PLS-DA applied to asbestos recognition in construction and demolition waste. **Applied Sciences (Switzerland)**, 9(21),4587. 2019.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. (2002) Resolução CONAMA nº. 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil. Ministério do Meio Ambiente: CONAMA, 2002. Diário Oficial da União. Brasília, DF: Imprensa Oficial. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>. Acesso em: 12 jul. 2021.

BRISOLA, D.F., DA CUNHA, B.M.; GOMES, O. F. M.; LIMA, P.; PACIORNIK, S. **Classification of fine particles from construction and demolition waste through image analysis**. IWSSIP 2010 - 17th International Conference on Systems, Signals and Image Processing, p. 368 a 371. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/289450931_Automatic_classification_of_particles_from_construction_and_demolition_waste_through_digital_image_analysis> Acesso em: 8 jul. 2021

CÓRDOBA, R. E.; MARQUES NETO, J. C.; SANTIAGO, C. D.; PUGLIESI, E.; SCHALCH, V. Alternative construction and demolition (C&D) waste characterization method proposal. **Eng Sanit Ambient**. 24, n.1. p. 199-212. 2019.

DI MARIA, F.; BIANCONI, F; MICALE, C.; BAGLIONI, S.; MARIONNI, M. Quality assessment for recycling aggregates from construction and demolition waste: An image-based approach for particle size estimation. **Waste Management**, 48, p. 344-352, 2016.

GOMES, O. DA F. M.; LIMA, P. R. L.; FONTES, A. V. **Morphological Characterization of Natural and Artificial Sands Through Image Analysis**. **Proceedings**. 10th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM). August 2011, TRONDHEIM, Norway. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/301174718_Morphological_Characterization_of_Natural_and_Artificial_Sands_Through_Image_Analysis> Acesso em: 8

jul. 2021

HOANG, N. H.; ISHIGAKI, T.; KUBOTA, R.; TONG, T. K.; NGUYEN, T. T.; NGUYEN, H. G.; YAMADA, M.; KAWAMOTO, K. Waste generation, composition, and handling in building-related construction and demolition in Hanoi, Vietnam. **Waste Management**, 117, p. 32-41. 2020.

HOONG, J. D. L. H.; LUX, J.; MAHIEUX, P.-Y., TURCRY, P.; AÏT-MOKHTAR, A. Determination of the composition of recycled aggregates using a deep learning-based image analysis. **Automation in Construction**, 116, n. 103204, 2020.

KAZMEE, H., TUTUMLUER, E., MISHRA, D. **Performance evaluations of pavement working platforms constructed with large-sized unconventional aggregates.** Airfield and Highway Pavements 2015: Innovative and Cost-Effective Pavements for a Sustainable Future - Proceedings of the 2015 International Airfield and Highway Pavements Conference. p. 849-860.

KLEEMANN, F., LEHNER, H., SZCZYPIŃSKA, A., LEDERER, J., FELLNER, J. Using change detection data to assess amount and composition of demolition waste from buildings in Vienna. **Resources, Conservation and Recycling**. 123, p. 37-46. 2017.

LI, C. Z.; ZHAO, Y.; XIAO, B.; YU, B.; TAM, V. W.Y.; CHEN, Z.; YA, Y. Research trend of the application of information technologies in construction and demolition waste management. **Journal of Cleaner Production**. Volume 263, 121458. 2020.

LIMA, P. R. L.; TOLEDO FILHO, R. D.; GOMES, O. F. M. Influence of Recycled Aggregate on the Rheological Behavior of Cement Mortar. **Key Engineering Materials**, 600, pp. 297-307. 2014.

LINß, E; LUDWIG, H. -M.; ANDING, K. **Study of the identification of aggregates of construction and demolition waste by using object recognition methods.** Life-Cycle and Sustainability of Civil Infrastructure Systems - Proceedings of the 3rd International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering, IALCCE, pp. 2188-2195. 2012.

LIU, H.; ZHANG, J.; ZHOU, N.; GUO, Y.; LI, B.; YAN, H.; DENG, X. Investigation of spatial stratified heterogeneity of cemented paste backfill characteristics in construction demolition waste recycled aggregates. **Journal of Cleaner Production**, 249, 2020.

LIU, S., FENG, Y., ZHANG, S., SONG, H., CHEN, S. **L0 sparse regularization-based image blind deblurring approach for solid waste image restoration**. IEEE Transactions on Industrial Electronics. 66(12), p. 9837-9845. 2019.

MIATTO, A.; SCHANDL, H.; FORLIN, L.; RONZANI, F.; BORIN, P.; GIORDANO, A.; TANIKAWA, H. A spatial analysis of material stock accumulation and demolition waste potential of buildings: A case study of Padua. **Resources, Conservation & Recycling**. 142, p. 245-256. 2019.

MICHAUD, K., HOULT, N., LOTFY, A., LUM, P. Performance in shear of reinforced concrete slabs containing recycled concrete aggregate. **Materials and Structures/Materiaux et Constructions**. 49(10), p. 4425-4438. 2016.

NAGALLI, A. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

SARC, R.; CURTIS, A.; KANDLBAUER, L.; KHODIER, K.; LORBER, K. E.; POMBERGER, R. Digitalisation and intelligent robotics in value chain of circular economy oriented waste management – A review. **Waste Management**. 95, p. 476-492. 2019.

SERRANTI, S.; PALMIERI, R.; BONIFAZI, G. **On-line quality assessment and certification of recycled aggregates from demolition waste based on a chemical imaging approach**. 8th International Conference for Conveying and Handling of Particulate Solids, CHoPS 2015, 3 May 2015 - 7 May 2015.

XIAO, W.; YANG, J.; FANG, H.; ZHUANG, J.; KU, Y. Development of online classification system for construction waste based on industrial camera and hyperspectral camera. Disponível em:
<https://www.researchgate.net/publication/330430171_Development_of_online_classification_system_for_construction_waste_based_on_industrial_camera_and_hyperspectral_camera> Acesso em: 8 jul. 2021.

XIAO, W.; YANG, J.; FANG, H.; ZHUANG, J.; KU, Y.; ZHANG, X. Development of an automatic sorting robot for construction and demolition waste. **Clean Technologies and Environmental Policy**. 22:1829–1841. 2020.

XU, G.; SHEN, W.; ZHANG, B.; LI, Y.; JI, X.; YE, Y. Properties of recycled aggregate concrete prepared with scattering-filling coarse aggregate process. **Cement and Concrete Composites**. 93, p. 19-29. 2018.

XUAN, D., SCHLANGEN, E., MOLENAAR, A., HOUBEN, L. **Fracture analysis of cement treated demolition waste using a lattice model**. Proceedings of the 8th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures. FraMCoS, p. 298-305. 2013.

YU, B.; WANG, J.; LI, J.; ZHANG, J.; LAI, Y.; XU, X. Prediction of large-scale demolition waste generation during urban renewal: A hybrid trilogy method, **Waste Management**, 89, p. 1-9. 2019.

ZHANG, L.W.; SOJOBI, A.O.; LIEW, K.M. Sustainable CFRP-reinforced recycled concrete for cleaner eco-friendly construction. *Journal of Cleaner Production*. 233, 56-75. 2019.