O IMPACTO AMBIENTAL DO APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOB A VISÃO DO CICLO DE VIDA

https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081159

KONZEN; BÁRBARA ANNE DALLA VECHIA[1]; PEREIRA; ANDRÉA FRANCO[1]
[1]ESCOLA DE ARQUITETURA E DESIGN DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS.
E-MAIL DO AUTOR CORRESPONDENTE: BARBARADVK@GMAIL.COM

RESUMO: O setor da construção civil tem contribuído de modo representativo para a geração de Resíduos Sólidos Urbanos e representa potencial capacidade para incorporar os próprios rejeitos, assim como coprodutos de outros sistemas. Este trabalho objetiva compreender o estado da arte do impacto ambiental do reaproveitamento de resíduos de construção e demolição (RCD) por meio de Avaliação do Ciclo de Vida. Para isso, foram levantados artigos dos últimos dez anos partindo-se dos termos "*construction waste*" e "*life cycle assessment*". Os resultados discutem quais softwares e métodos mais utilizados e os impactos ambientais mais representativos do reaproveitamento dos RCD.

PALAVRAS-CHAVES: Avaliação do Ciclo de Vida, impacto ambiental, materiais de construção, reaproveitamento, RCD.

ABSTRACT: The construction sector has contributed in a representative way for the generation of municipal solid waste and represents potential capacity to incorporate the tailings themselves, as well as co-products of other systems.This work aims to understand the state of the art of the environmental impact of construction and demolition waste (CDW) reuse, through Life Cycle Assessment. For this, articles from the last ten years were surveyed based on the terms "construction waste" and "life cycle assessment". The results discuss which software and methods are most used and the most representative environmental impacts of the reuse of CDW.

KEYWORDS: Life Cycle Assessment, environmental impact, construction materials, reuse, CDW.

1 | INTRODUÇÃO

A construção civil é responsável por 56% do volume de resíduos Sólidos Urbanos coletados no Brasil anualmente, afinal das 79 milhões de toneladas coletadas no ano de 2019, 44,5 são RCD (Resíduo de Construção e Demolição) (1). Considerando tal representatividade, é natural se esperar que o setor que mais contribui para tal geração e resíduos, seja o maior responsável pela reincorporação desse material. O uso dos RCDs como matéria-prima para produção de outros materiais de construção civil vem crescendo como uma solução viável para a reinserção desses materiais no próprio setor.

Ainda que o reaproveitamento pareça ser, ambientalmente, a solução mais interessante, alguns processos intrínsecos a essas ações podem causar impactos significativos. Emissões de CO_2 por transportes, assim como o consumo de água e

energia, entre outros processos industriais, são alguns exemplos. Por isto, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é um método válido a ser empregado como fundamentação para a validação da discussão.

ACV é um método que quantifica o impacto ambiental de produtos, processos ou sistemas, por meio de diferentes categorias de impacto, podendo ser identificada a contribuição de cada etapa do ciclo de vida. O método é definido pela ABNT NBR ISO 14040[2], que orienta seu desenvolvimento em quatro etapas: 1) definição do objetivo e do escopo; 2) análise do Inventário do Ciclo de Vida (ICV); 3) avaliação dos impactos e 4) interpretação. Atualmente, o método pode ser aplicado a partir de softwares e de bases de dados.

Deste modo, se justifica a análise do estado da arte do tema, a fim de identificar quais softwares, bases de dados, metodologias de cálculo e categorias de impacto são mais empregados nos estudos já desenvolvidos, a fim de se fundamentar futuras pesquisas.

2 | METODOLOGIA

Para esta revisão bibliográfica, utilizou-se como fonte principal a busca avançada disponível pelo Portal de Periódicos CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior). Foram utilizados os termos de referência "*construction waste*" e "*life cycle assessment*", filtrados pelos últimos dez anos, partindo da data de 01/01/2011, revisados por pares. A partir disso, foram encontrados 19 artigos, todos considerados pertinentes e relacionados diretamente com o tema de pesquisa proposto, afinal, apresentam estudos de caso de ACV ou ICV, revisões bibliográficas ou análises que vinculam o impacto ambiental analisado por quaisquer que sejam as categorias de impacto. A partir da análise desses estudos, algumas informações relevantes para futuras pesquisasforam levantadas e organizadas na Tabela 1 a fim de facilitar a compreensão geral dos trabalhos. O levantamento de tais dados permite que futuras pesquisas sejam mais direcionadas, seja para atender a uma lacuna de pesquisa e comparar casos similares, seja para identificar quais os métodos comumente utilizados para fundamentar novas análises. Sendo assim, a Tabela 1 abaixo destaca informações relevantes dos 19 artigos analisados:

AUTOR E LOCAL	LIMITES DO SISTEMA	SOFTWARE, MÉTODO E BASE DE DADOS	UNIDADE FUNCIONAL	CONCLUSÃO
Mercante *et al*., 2012 - Espanha	Tratamento do resíduo, incluindo armazenamento, triagem, reaproveitamento ou aterro. Engloba geração e consumo de energia e combustíveis. Não considera a manutenção da infraestrutura.	Elaboração de ICV. Dados coletados em empresas espanholas envolvidas com ciclo de vida destes materiais.	1 T RCD	Os maiores impactos encontram-se nos processos de moagem e separação granular por peneiramento e limpeza. O impacto das instalações de triagem e tratamento de resíduos pode ser reduzido por ações de coleta seletiva. Os transportes representam papel decisivo e a reciclagem nem sempre é benéfica.
Sudarno, Purwanto e Pratikso, 2013 - Indonésia	Produção de pavimento asfáltico utilizando de agregado reciclado de cimento (2100m² por dia).	Cálculo matemático de emissões a partir da quantidade de asfalto produzida e consumo de energia e combustíveis por tonelada de asfalto produzido.	1 km rodovia	Consumo de energia de 225,46 MJ/km e emissões de 17,43 T.CO2/km. A implementação de pavimentos rodoviários utilizando de reciclagem utiliza energia de modo mais eficiente e produz menos gases de efeito estufa.
Butera, Christensen e Astrup, 2015 - Dinamarca	Gestão do resíduo até a utilização do RCD como agregado para a construção e rodovias	Software não identificado. Métodos diversos. Fonte de dados diversa.	Gestão 1 mg de RCD separado em obra	Para a maioria das categorias de impacto, o aproveitamento dos RCDs é preferível ao aterro. Transportes são responsáveis pela maioria dos impactos relacionados ao aquecimento global, e por isso, os autores recomendam delimitar distâncias menores que 40km a fim de garantir a sustentabilidade do sistema.
Bovea e Powell, 2016 - Espanha e Reino Unido	Revisão bibliográfica quanto a performance do RCD ao longo do ciclo de vida.	Periódicos. Estudos de ACV que englobam a gestão do RCD.	-	A reciclagem fora da obra e a incineração combinadas com aterro são as alternativas mais implementadas. O reaproveitamento ou reciclagem no local é a estratégia menos utilizada.

Kucukvar, Egilmez e Tatari, 2016 - Florida	Produção de materiais de construção brutos e reciclados	Método matemático. Fonte por referências.	Construção 1 edifício	Reciclagem de metais contribuiu para a redução da pegada de carbono. Reciclagem do asfalto e do concreto aumentou a pegada de carbono devido ao alto consumo de combustíveis e às emissões do processo de britagem da reciclagem.
Penteado e Rosado, 2016 - Brasil	Seis cenários que combinam separação, aterro, reciclagem e reaproveitamento de RCD para o aterro de rodovias em diferentes porcentagens	CML 2 2001. Levantamento de campo, revisão bibliográfica e base de dados Ecoinvent 3.1.	0,8 T RCD	A reciclagem é benéfica quando houver separação dos materiais em obra por evitar transporte para instalações de triagem e quando distância entre fonte e reciclagem for menor que 30km. Depleção de recursos abióticos representa o impacto mais relevante em todos os cenários, principalmente devido ao consumo de combustíveis não renováveis. Quanto mais altos os índices de reciclagem, mais altos os impactos relacionados aos transportes. O aquecimento global apresenta impactos negativos pois o impacto evitado pelo reaproveitamento é maior que o causado por transportes e reciclagem.
Yahya, Boussabaine e Alzaed, 2016 - Reino Unido	Eco-custo do gestão de RCDs metálicos, ferrosos e não- ferrosos em três cenários: Aterro, reciclagem e separação.	Eco-indicator 95. Matemático. Ecoinvent.	1 kg RCD metálico	Os impactos ambientais da gestão dos resíduos metálicos dão-se principalmente devido à queima do diesel do maquinário utilizado no processo de demolição e dos veículos de transporte.
Bizcocho e Llatas, 2018 - Espanha	Gestão de resíduos e exploração de cenários de prevenção de RCD por meio de estudo de caso em novos edifícios.	SimaPro 7.1. Ecoinvent v.2.	1 construção 13910 m², dois cenários	A prevenção da geração de resíduo é sempre o cenário mais favorável.

Borghi, Pantini e Rigamonti, 2018 - Itália	Diferentes cenários de gestão de RCDs não perigosos, sendo que o cenário de reciclagem, sugere o uso como agregado reciclado de concreto e de pavimentação de rodovias.	SimaPro 8.3. ILCD 2011 e CED. Coleta de dados e experimentação.	1 T RCD não-perigoso	Os impactos ambientais da reciclagem são maiores que os benefícios. Simultaneamente, o sistema usual possui melhor performance do que cenários de aterro. O melhor cenário foi definido pela otimização do sistema usual. Aterro sanitário representa os maiores impactos em toxicidade humana agentes não-cancerígenos e ecotoxicidade de água doce. No sistema de gestão de RCD corrente, os transportes representam os maiores impactos em 9 das 15 categorias analisadas. A reciclagem causa os maiores impactos em 4 categorias: toxicidade humana por agentes cancerígenos, eutrofização de água doce, depleção de recursos hídricos e outros recursos naturais. Minimizar os transportes pode ser uma solução para a redução dos impactos.
Colangelo *et al*., 2018 - Itália	Transportes, produção, tratamento e descarte de quatro diferentes misturas de concreto: RCD, cinzas de incineração, lama de mármore e escória de alto-forno.	SimaPro 8. Eco-indicator 99.	1 m³ concreto com agregado reciclado	O uso de agregados reciclados apresenta melhores resultados do que o concreto convencional em todas as categorias de impacto. A mistura com escória de alto forno representa os menores impactos na maioria das categorias. RCD e cinzas de incineração oscilam com valores medianos, e a mistura com lama de mármore causa os maiores impactos dos 4 resíduos na maioria das categorias.
Hackenhaar *et al*., 2019 - Brasil	Analisar premissas para propor sistema de reciclagem e tratamento de RCD.	Revisão bibliográfica	-	Demanda por adaptação dos dados para o cenário brasileiro. Os autores considerame um sistema integrado a melhor estratégia.

Jalaei, Zoghi e Khoshand, 2019	Resíduos de construção, manutenção e demolição para análise da interoperabilidade entre ferramenta ACV e BIM para cálculo de RCD.	Athena (ferramenta de integração entre BIM e ACV).	Quantitade de resíduo gerada pelo ciclo de vida de um edifício	Uso da ferramenta BIM pode reduzir os resíduos gerados ao longo do ciclo de vida dos edifícios, assim como os impactos ambientais, especialmente emissões de CO2. Nas 3 fases, foi comparada a geração de resíduos utilizando BIM e não utilizando. Os resultados de geração de resíduo são sempre menores com o uso da ferramenta BIM.
Rosado *et al*., 2019 - Brasil	Gestão de RCD em 8 cenários.	SimaPro 8.0.2. CML E Impact 2002. Ecoinvent v.3.1.	10 000 T em 15303 m² de área e 62 municípios	A principal contribuição para a toxicidade humana são os processos de transportes por caminhões. A reciclagem é o processo que causa os maiores impactos, especialmente a reciclagem do aço. Ao mesmo tempo, os autores afirmam que a reciclagem do aço é imprescindível. Os resíduos de papelão representam menos de 5% do volume de RCD mas contribuem com 33 e 67% do aquecimento global nos diferentes métodos de cálculo.
Rosado e Penteado, 2019 - Brasil	Comparação de sistema de gestão de RCD municipal atual com outro que utiliza 70% de reciclagem.	SimaPro 8.2.0. CML 2000. Ecoinvent v.3.01. EU & DK Input Output US LCI.	1 T de RCC	Redução de 22% dos impactos ambientais. Devido às grandes distâncias, alguns municípios não obtiveram benefícios ambientais com a reciclagem. A disposição final em aterro sanitário contribui com 68% dos impactos, e os transportes com 20%.
Hasan, Whyte e Jassmi, 2020 - Emirados Árabes	Extração da matéria-prima, processamento, produção, construção, manutenção e reabilitação para construção de rodovia utilizando RCD.	SimaPro 5.8.2. ReCiPe. Ecoinvent 3.3 e revisão bibliográfica.	3,5 km rodovia com 30 anos de vida útil	A extração das matérias-primas e seu processamento representam os maiores impactos na maioria dos cenários, seguidos por processo construtivo e transportes para a categoria de mudanças climáticas. O cenário usual causa os maiores impactos em todas as categorias. Os cenários que utilizam de materiais alternativos apresentam os maiores ganhos nas categorias de depleção de recursos fósseis, aquecimento global, radiação ionizante e uso do solo, respectivamente.

Singhal e Pandey 2020 - Índia	Coleta e tratamento do resíduo comparando aterro e reciclagem como alternativas de gestão de RCD.	SimaPro 8.5. ReCiPe 2016. Ecoinvent 3.4.	1 T RCD	A reciclagem representa menores impactos devido à recuperação de material. Consumo de energia mais limpa reduziu emissões de carbono mas aumentou depleção de recursos minerais e eutrofização, o que vincula a reciclagem ao consumo excessivo de energia. Os impactos ambientais da reciclagem diminuem conforme os transportes são evitados.
Kvocka *et al*., 2020 - Europa	Produção de revestimento pré-fabricado de fachadas de geopolímeros com RCD, incluindo construção, uso, demolição e reuso em rodovias.	GaBi. Ecoinvent.	1 m² painel	O processo produtivo é a etapa que causa os maiores impactos, seguido pelo processo construtivo. O consumo de energia representa altos impactos devido a geração por usinas térmicas. Vidro, mármore e alumínio são os materiais que causam os maiores impactos ambientais, devido à extração das matérias-primas e produção.
Zulcão *et al*., 2020 - Brasil	Da extração das matérias-primas até o ponto de reaproveitamento do resíduo do processamento de pedras ornamentais para a produção de materiais cimentícios em diferentes misturas.	SimaPro 8.4. Ecoinvent 3.3.	1 kg e 1m³ RCD	Secagem artificial aumenta os impactos significativamente. O reaproveitamento do material resulta em menores impactos ambientais em todas as misturas. O reaproveitamento melhora a resistência a compressão em 20% com substituição de até 5%. Com substituições de 25 a 40%, as perdas de desempenho ainda podem compensar os ganhos ambientais. Para o uso em argamassas e concretos de alto desempenho, os ganhos ambientais não compensam a perda de resistência.
Meek *et al*., 2021 - Austrália	Extração da matéria-prima, transportes, processamento, construção, uso, manutenção, fim-de-vida	OpenLCA v.1.7.2. AusLCI v2.8. Ecoinvent v3.4.	1 kg caulim	Os resultados para potenciais de aquecimento global mostraram que o reaproveitamento do resíduo é 15% menor do que o usual.

Tabela 1 – Levantamento das principais informações doS artigos revisados

Fonte: Elaborado pela autora.

3 | DISCUSSÃO

De modo geral, percebe-se que a maioria dos ICVs para a avaliação de impactos de sistemas de gestão de RCDs, incluem processos como:

- coleta na fonte de geração (obra);
- transportes;
- instalações de triagem;
- instalações de reciclagem, podendo incluir limpeza, moagem, trituração, peneiramento;
- reuso;
- incineração;
- aterro sanitário.

A partir desses processos, pôde-se perceber diversas variações de cenários, e com isso, algumas conclusões:

- transportes representam os processos com os impactos ambientais mais representativos [3, 5, 11, 15];
- reciclagem não pode ser considerada benéfica em todos os casos [3, 7, 11, 16];
- reciclagem tende a ser benéfica quando o resíduo for separado em obra, eliminando transportes para instalações de triagem [3, 8, 11, 16];
- reciclagem tem potencial de evitar o uso de aterros e a extração de recursos naturais [16, 20];
- a descentralização de usinas de reciclagem pode ser uma boa solução para a redução dos impactos ambientais causados pelos transportes.

Dentre as diversas categorias de impacto analisadas, pôde-se perceber que a maioria dos estudos analisam o impacto ambiental dos RCD a partir da categoria de impacto de aquecimento global ou mudanças climáticas, assim como emissões de CO_2, e isso é perceptível em estudos de muitas áreas. Entretanto, pode-se perceber que toxicidade e eutrofização da água, diretamente relacionadas com a lixiviação do resíduo quando depositado em aterro, podem ser categorias de impacto importantes a serem analisadas. Além disto, categorias de impacto tais como emissões de GEE (gases de efeito estufa), ou ainda toxicidade humana e agentes inorgânicos respiratórios, também tendem a apresentar resultados bastante significativos, considerando-se as emissões causadas pelos transportes e, também, a poluição gerada por aterros sanitários, especialmente, ao se tratar de resíduos.

O SimaPro é software mais utilizado. Ainda assim, GaBi e OpenLCA também são referência. Em relação aos métodos de cálculo, CML, ILCD, Ecoindicator e ReCiPe foram os que mais apareceram. No que se refere à base dados, Ecoinvent foi a mais utilizada. A partir disto, tais referências se demonstram válidas para futuras pesquisas.

Por fim, pôde-se perceber que, dos 19 artigos levantados, cinco são de origem brasileira (aproximadamente 27%), o que demonstra preocupação nacional com o

impacto ambiental do reaproveitamento de RCDs e o desenvolvimento de pesquisas brasieleiras presentes em âmbito mundial.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Percebe-se claramente a pertinência do desenvolvimento de pesquisas na área para a promoção de maior eficiência e otimização de recursos no setor da cosntrução civil, assim como, a mitigação dos impactos em categorias consideradas mais representativas.

A elaboração de ACV ligada, especificamente, ao reaproveitamento dos RCDs, permite compreender a real validade do uso de RCD para a produção de novos materiais de construção. Entretanto, nesses casos, vale lembrar que para que essa produção seja aplicável na prática, a maioria dos estudos deve ser acompanhada por análises físicas e químicas, afinal, a substituição de matérias-primas brutas por resíduos somente é viável se puderem ser garantidas as propriedades mecânicas desses novos materiais.

Considerando a grande incidência de discussões acerca do impacto ambiental gerado pelos transportes, é possível vislumbrar que, uma vez encontradas e implantadas soluções para mitigar os impactos provocados pelos transportes, os demais impactos ligados à gestão dos resíduos se tornarão salientes, para os quais deverão, também, ser encontradas soluções.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), que permitiram a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020**. Acesso em: 4 jun. 2021. Disponível em: https://abrelpe.org.br/panorama-2020/.

2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14040**: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Versão Corrigida: 2014.

3. MERCANTE, Irma T. et al. Life cycle assessment of construction and demolition waste management systems: a Spanish case study. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 17, n. 2, p. 232-241, 2012. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1007/s11367-011-0350-2.

4. SUDARNO; PURWANTO; PRATIKSO. Life Cycle Assessment on Cement Treated Recycling Base (CTRB) Construction. **Waste Tech**, v. 1, n. 1, p. 6-11, 2013. http://dx.doi.org/10.12777/wastech.2.2.2014.6-11.

5. BUTERA, Stefania; CHRISTENSEN, Thomas H.; ASTRUP, Thomas F. Life cycle assessment of construction and demolition waste management. **Waste Management**, v. 44, p. 196-205, out. 2015. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.07.011.

6. BOVEA, M. D.; POWELL, J. C. Developments in life cycle assessment applied to evaluate the environmental performance of construction and demolition wastes. **Waste Management**, v. 50, p. 151-172, abr. 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.01.036.

7. KUCUKVAR, Murat; EGILMEZ, Gokhan; TATARI, Omer. Life Cycle Assessment and Optimization-Based Decision Analysis of Construction Waste Recycling for a LEED-Certified University Building. **Sustainability**, v. 8, 13p., 18 jan. 2016. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/su8010089.

8. PENTEADO, Carmenlucia Santos Giordano; ROSADO, Laís Peixoto. Comparison of scenarios for the integrated management of construction and demolition waste by life cycle assessment: a case study in brazil. **Waste Management & Research**: The Journal for a Sustainable Circular Economy, v. 34, n. 10, p. 1026-1035, 28 jul. 2016. SAGE Publications. http://dx.doi.org/10.1177/0734242x16657605.

9. YAHYA, Khairulzan; BOUSSABAINE, Halim; ALZAED, Ali Nasser. Using life cycle assessment for estimating environmental impacts and eco-costs from the metal waste in the construction industry. **Management Of Environmental Quality**: An International Journal, [S.L.], v. 27, n. 2, p. 227-244, 14 mar. 2016. Emerald. http://dx.doi.org/10.1108/meq-09-2014-0137.

10. BIZCOCHO, Nuria; LLATAS, Carmen. Inclusion of prevention scenarios in LCA of construction waste management. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 24, n. 3, p. 468-484, 2019. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1007/s11367-018-1462-8.

11. BORGHI, Giulia; PANTINI, Sara; RIGAMONTI, Lucia. Life cycle assessment of non-hazardous Construction and Demolition Waste (CDW) management in Lombardy Region (Italy). **Journal f Cleaner Production**, v. 184, p. 815-825, maio 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.287.

12. COLANGELO, Francesco et al. Life Cycle Assessment (LCA) of Different Kinds of Concrete Containing Waste for Sustainable Construction. **Buildings**, v. 8, n. 5, 12p., 11 maio 2018. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/buildings8050070.

13. HACKENHAAR, I. C. et al. Life Cycle Assessment applied to construction and demolition waste treatment: proposal of a brazilian scenario. **Iop Conference Series**: Earth and Environmental Science, v. 323, 9p. 6 set. 2019. IOP Publishing. http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012054.

14. JALAEI, Farzad; ZOGHI, Milad; KHOSHAND, Afshin. Life cycle environmental impact assessment to manage and optimize construction waste using Building Information Modeling (BIM). **International Journal of Construction Management**, 18p., 28 mar. 2019. Informa UK Limited. http://dx.doi.org/10.1080/15623599.2019.1583850.

15. ROSADO, Laís Peixoto et al. Life cycle assessment of construction and demolition waste management in a large area of São Paulo State, Brazil**. Waste Management**, v. 85, p. 477-489, fev. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2019.01.011.

16. ROSADO, Laís Peixoto; PENTEADO, Carmenlucia Santos Giordano. Avaliação do ciclo de vida do Sistema Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil da Região Metropolitana de Campinas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 1, p. 71-82, fev. 2019. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522019179604.

17. HASAN, Umair; WHYTE, Andrew; JASSMI, Hamad Al. Life cycle assessment of roadworks in United Arab Emirates: recycled construction waste, reclaimed asphalt pavement, warm-mix asphalt and blast furnace slag use against traditional approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 257, 16p., jun. 2020. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120531.

18. JAIN, Sourabh; SINGHAL, Shaleen; PANDEY, Suneel. Environmental life cycle assessment of construction and demolition waste recycling: a case of urban india. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 155, 12p., abr. 2020. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104642.

19. KVOčKA, Davor et al. Life Cycle Assessment of Prefabricated Geopolymeric Façade Cladding Panels Made from Large Fractions of Recycled Construction and Demolition Waste. **Materials**, v. 13, n. 18, 16p., 5 set. 2020. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/ma13183931.

20. ZULCÃO, Robson et al. Life cycle assessment of the ornamental stone processing waste use in cement-based building materials. **Construction and Building Materials**, v. 257, 14p., out. 2020. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119523.

21. MEEK, Alexandra H. et al. Alternative stabilised rammed earth materials incorporating recycled waste and industrial by-products: life cycle assessment. **Construction and Building Materials**, v. 267, 43p., jan. 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120997.