

SUSTAINABLE CONSTRUCTION: A DISCUSSION ON THE CURRENT SCENARIO AND THE CHALLENGES OF LIFE CYCLE ASSESSMENT

Camila Cassola Assunção (camila.cassola.assuncao@gmail.com); Daniel Oliveira de Azevedo Sampaio (daniel.oliveira.oas@hotmail.com); Thássia Dias Zanardo Rufato (thata_zanardo98@hotmail.com); Danilo Bordan Istuque (daniloistuque@gmail.com); Mauro Mitsuuichi Tashima (maumitta@gmail.com); Jorge Luis Akasaki (jorge.akasaki@gmail.com); José Luiz Pinheiro Melges (jlpmelges@hotmail.com); Felipe de Almeida Spósito (felipsposito@gmail.com)

Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (UNESP-FEIS) - Brazil

Palavras chave: Avaliação do Ciclo de Vida; Sustentabilidade; Meio ambiente; Construção civil.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) vem ganhando destaque como ferramenta de análise dos impactos ambientais de produtos e serviços, principalmente a partir de 1997, quando foi normatizada pela ISO (International Organization for Standardization). Esse método se destaca por analisar todos os processos envolvidos na produção, desde a extração da matéria-prima até o descarte final, possibilitando a preferência por materiais e processos mais sustentáveis do ponto de vista ambiental. A área de construção civil é responsável por expressivos impactos ao ambiente, causados pelos vários estágios do processo construtivo, fases operacionais e descarte. Com isso, é possível notar que seria de grande importância uma integração da ACV aos diversos processos da construção civil, a fim de colaborar para o desenvolvimento sustentável. A ACV também pode auxiliar pesquisas de desenvolvimento de novos materiais de construção, como compósitos com substituição de matérias-primas comuns por resíduos de processos industriais, já que a ACV é capaz de determinar se esses novos materiais realmente são menos prejudiciais ao meio ambiente. Nesse artigo reuniu informações importantes sobre o tema, servindo como uma base confiável para estudos futuros nessa área, entender os desafios e propor soluções para que a ACV seja cada vez mais empregada no setor da construção civil, propiciando um terreno fértil para avanços em sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

O incentivo ao crescimento da construção civil é interessante para melhor desenvolver a infraestrutura de países, suprir déficits habitacionais e gerar empregos. Investir no setor é uma das alternativas para melhorar a economia. No entanto, o crescimento deve ser acompanhado de um desenvolvimento sustentável, preservando recursos naturais e evitando externalidades negativas.

Segundo Godoy e Saes, 2015:

Externalidade negativa é uma falha de mercado referente à degradação dos recursos naturais, definida como o custo resultante de ações particulares sobre os demais, mesmo que estes últimos não tenham contribuído com os malefícios. As emissões de gases de efeito estufa são um exemplo de externalidade negativa, uma vez que provoca danos a terceiros, mesmo que não sejam responsáveis pelas emissões.

O sistema de produção da construção civil é composto por diversas etapas, como a extração de calcário, fabricação e refinamento de materiais, transporte e execução da obra. No que diz respeito a um dos compósitos da construção civil, o concreto é o terceiro material mais utilizado no mundo, e a construção civil um dos setores socioeconômicos com maior impacto no meio ambiente (MARCELINO-SADABA et al., 2017). Ao analisar as emissões de gases do efeito estufa (GEEs) na construção civil, se faz necessário observar as atividades envolvidas em cada etapa do sistema. Neste panorama, destacam-se as emissões de dióxido de carbono pelo transporte de produtos e pela indústria cimenteira. Esta última colabora com cerca de 8% das emissões globais de gás carbônico, onde a cada 100kg de *clínquer* produzido são emitidos aproximadamente 51kg de CO₂ (JÚNIOR, 2014). A utilização de combustíveis fósseis e de fontes energéticas sujas também é responsável por consideráveis emissões de CO₂ neste processo de produção.

Sobre o processo quantitativo que os impactos ambientais pelos processos construtivos ocasionam ao meio ambiente, os mesmo podem ser avaliados com base em inventários que apresentam uma visão detalhada dos fluxos de entrada e saída de materiais, energia e de substâncias geradas e utilizadas dentro do sistema (SOARES, SOUZA E PEREIRA, 2005). Desta maneira, estabelecer as fronteiras do sistema de produção da construção possibilita visualizar o consumo de energia e materiais em cada etapa e conseqüentemente as emissões de GEEs. O planejamento estratégico da obra possibilita escolher as melhores alternativas para o empreendimento, reduzindo desperdícios, impactos ambientais e melhorando sua gestão, por conseguinte é necessário que a equipe técnica gerencie de maneira com que todo o sistema construtivo se incline para a sustentabilidade.

Desenvolvimento sustentável propriamente dito é aquele capaz de suprir as necessidades da sociedade atual sem comprometer as necessidades das gerações futuras (NAÇÕES UNIDAS, 1987). É interessante buscar alternativas para o modelo econômico atual, onde a matéria-prima extraída é transformada e em seguida descartada (AZEVEDO, 2015). A realização do estudo de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) permite avaliar de forma sistemática os aspectos e impactos ambientais de sistemas de produtos, desde a aquisição da matéria prima até sua disposição final NBR 14040 (ABNT ISO, 2009). Desta maneira, mostra-se interessante integrar os estudos da ACV aos diversos processos da construção civil.

A humanidade realiza grande parte de suas atividades em ambientes construídos. Ingrao et al., (2018) sobre Sarwart et al. (2018), mostra que este ambiente criado pelo homem é caracterizado por infraestruturas como: rede elétrica, sistema de transporte, vias navegáveis, gestão de resíduos e serviços ao consumidor. O autor afirma que, devido ao grande consumo de matérias-primas e energia associado ao ciclo de vida de edifícios é possível enquadrar este setor na busca pela sustentabilidade, assim como a ACV é capaz de contribuir com a qualidade e eficiência energética dentro de níveis do sistema como: materiais, componentes, partes ou o todo do edifício.

Conforme a Norma NBR 14040 (ABNT ISO, 2009) o estudo de ACV é composto por quatro fases:

- a) a fase de definição de objetivo e escopo;
- b) a fase de análise de inventário;
- c) a fase de avaliação de impactos;
- d) a fase de interpretação.

Segundo o Manual ILCD, a ACV pode ser realizada em ciclos iterativos entre as fases de definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos e realizando

verificações de integridade, sensibilidade e consistência até que seja obtida exatidão do sistema e alcançada a completude dos resultados do inventário. A Figura 1 mostra que a iteratividade faz parte da estrutura da ACV.

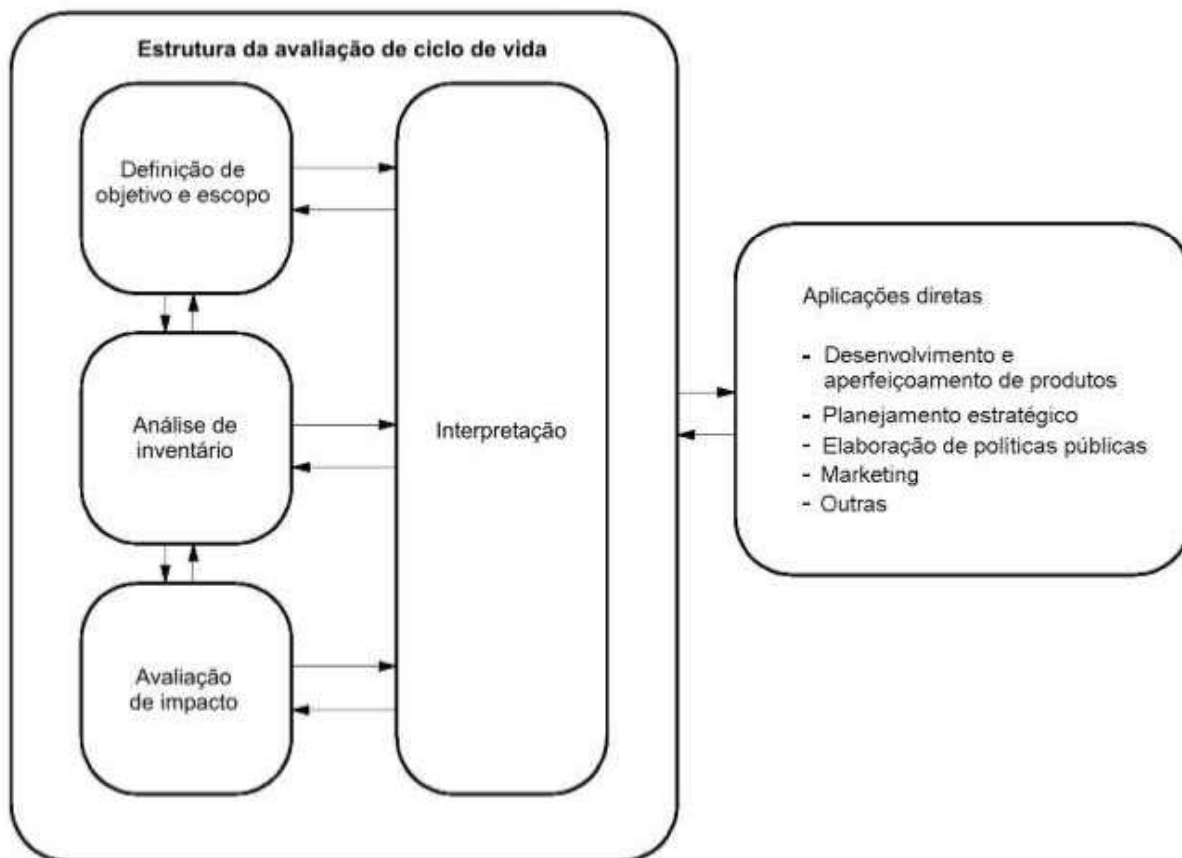


Figura 1: Fases de uma ACV, NBR 14040 (ABNT ISO, 2009)

Algumas dificuldades são encontradas durante a execução das fases da ACV, contribuindo para resultados incertos. Desta forma, todas as simplificações, considerações, critérios de cortes realizados no sistema devem ser deixados claros no corpo do estudo, para nortear a tomada de decisão e permitir assim uma transparência dos resultados.

Quando existe compartilhamento de processos entre sistemas de produtos, a Norma NBR 14044 (ABNT ISSO, 2009) recomenda que, sempre que possível, a alocação seja evitada. Para isso pode ser realizada a divisão dos processos elementares por meio da divisão do processo multifuncional em sub-processos unitários (SAADE, 2017) a serem alocados ou a expansão do sistema de produto.

A fase de avaliação de impactos da ACV consiste em agrupar os dados do inventário em categorias de impacto específicas e indicadores de categoria. A escolha de métodos bem como a avaliação dos impactos, pode acarretar em subjetividades na fase de avaliação do impacto de ciclo de vida (AICV) segundo a NBR 14040 (ABNT ISO, 2009). Bueno et al., (2015) estudaram cinco métodos de AICV para um estudo de caso de paredes não estruturais: EDIP 97/2003, CML 2001, Impact 2002+, ReCiPe 2008 e práticas recomendadas pelo International Reference Life Cycle Data System (ILCD), onde os dois últimos são recentes, buscando analisar a sensibilidade dos resultados da ACV com o uso destes diferentes métodos. Os resultados mostraram ser possível mascarar e manipular informação através da seleção de metodologias e fatores de caracterização convenientes para o estudo. Concluíram também que os fatores regionais e temporais influenciam na variabilidade dos resultados obtidos.

Dreyer, Niemann e Hauschild (2003) utilizaram um mesmo inventário para comparar os métodos de AICV em um estudo de caso com o produto de verniz UV a base de água: EDIP97 e CML2001, concluindo que possuem resultados comparáveis apenas para as categorias de impacto de aquecimento global, ozônio fotoquímico, eutrofização e acidificação e depleção da camada de ozônio estratosférica. Quando resultados diferentes podem ser obtidos com a escolha de diferentes métodos, os autores, sobre Hauschild e Pennington (2002), definem critérios de escolha como: validade científica do método, relevância ambiental de indicadores de categoria, reprodutibilidade e transparência, quantificação de incertezas de indicadores de categoria e possibilidade de se encontrar fator de caracterização para todas as substâncias mais importantes do inventário, acrescentando a importância da compatibilidade com experiência de uso de outras ferramentas de avaliação ambiental.

Segundo Mendes, Bueno e Ometto (2013), como ferramenta de tomada de decisões, as incertezas apresentadas nos resultados são uma importante parte da informação sobre a qualidade da ACV, no entanto, está apenas mencionada na norma NBR 14040 (ABNT ISO, 2009) como parte das fases de avaliação de impacto e de análise de inventário, não sendo fornecidas informações para sua mensuração.

Dong e Ng (2015) criaram um modelo de avaliação do ciclo de vida para avaliar impactos ambientais da construção civil em Hong Kong, conhecida como EMoC, sendo possível ser aplicado em diversas fases do ciclo de vida do projeto, permitindo que empreiteiros e desenvolvedores possam tomar decisões com base em soluções ecologicamente corretas. Este novo modelo fornece métodos de tratamento de resíduos como a reciclagem, reutilização e aterro, incluindo o transporte de materiais residuais para as estações de tratamento, podendo ser potencialmente usado na China, suprimindo assim, uma necessidade regional. Os autores ainda afirmam ser possível utilizar este modelo para outras regiões, no entanto seriam necessários desenvolvimentos adicionais.

Conforme o exposto é interessante que o meio científico contribua para o desenvolvimento sustentável dentro do setor da construção civil através de pesquisas sobre materiais e processos alternativos e criando meios para que as fases da ACV possam melhor se adequar às diferenças regionais, permitindo resultados mais confiáveis e próximos da realidade. Mendes, Bueno e Ometto (2013) ressaltam a importância de realizar uma comparação efetiva entre métodos AICV e verificar se os modelos e seus fatores de caracterização realmente representam os impactos ambientais em diferentes regiões do mundo.

Portanto, realizar estudos que contribuam para o desenvolvimento da ACV em setores específicos da construção civil também são interessantes para fortalecer sua aplicação, assim como Ingrao et al., (2018) contribuiu com um apanhado de informações teóricas como as principais categorias de impacto e categorias de dados de inventário que devem ser considerados em uma ACV em edifícios.

2. OBJETIVO

Objetiva-se buscar em alguns dos principais periódicos científicos internacionais artigos que realizaram a Avaliação do Ciclo de Vida dentro do setor da construção civil, organizando-os por região de aplicação e trazendo os principais desafios e soluções encontrados pelos autores.

3. MÉTODOS

O procedimento metodológico utilizado foi uma revisão bibliográfica em alguns dos principais periódicos científicos internacionais, utilizando a plataforma ScienceDirect. Para a

pesquisa de artigos, foram utilizadas as seguintes palavras-chave: Life Cycle Assessment, LCA e Civil Construction.

Para a comparação entre os métodos, considerações e limitações encontradas em cada estudo de ACV, as seguintes informações foram identificadas:

- Produto ou serviço avaliado;
- Local de origem: País de origem do produto avaliado;
- Ano de realização do estudo;
- Método de AICV utilizado;
- Limitações e desafios encontrados;
- Soluções propostas;

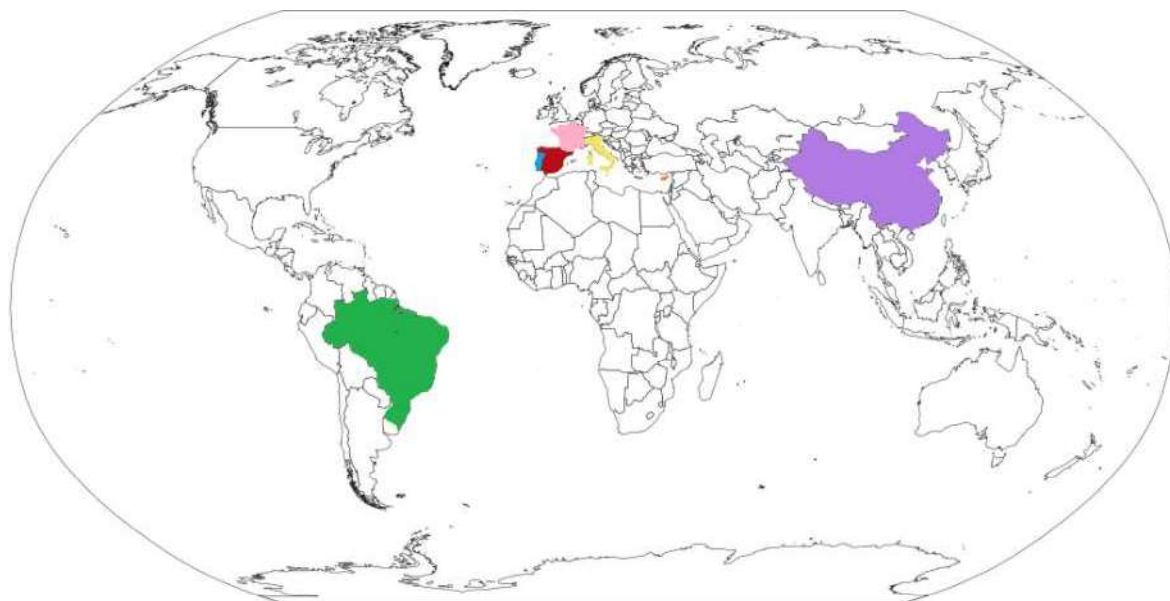
4. RESULTADOS

Tendo em vista que as particularidades de diferentes regiões de estudo influenciam na escolha de métodos de AICV, o presente estudo proporcionou um levantamento das aplicações dos principais métodos de AICV em algumas regiões. A Tabela 1 sintetiza esses resultados.

A Tabela 1 apresenta informações sobre os artigos revisados.

Referência	Título do artigo	País de origem	Método de AICV
Rosato et al. (2017)	Life cycle assessment of natural and mixed recycled aggregate production in Brazil	Brasil (América do Sul)	Impact 2002+
Vitale et al. (2017)	Life cycle assessment of the end-of-life phase of a residential building	Itália (Europa)	Impact 2002+
Pons et al. (2018)	Life cycle assessment of earth-retaining walls: An environmental comparison	Espanha (Europa)	ReCiPe 2008
Evangelista et al. (2018)	Environmental performance analysis of residential buildings in Brazil using life cycle assessment (LCA)	Brasil (América do Sul)	Cumulative Energy Demand (CED) ILCD 2011
Christoforou et al. (2016)	Cradle to site Life Cycle Assessment (LCA) of adobe bricks	Chipre (Europa)	CML (2001)
Borghi, Pantini e Rigamonti (2018)	Life cycle assessment of non-hazardous Construction and Demolition Waste (CDW) management in Lombardy Region (Italy)	Itália (Europa)	ILCD 2011 CED
Kurda, Silvestre e Brito (2018)	Life cycle assessment of concrete made with high volume of recycled concrete aggregates and fly ash	Portugal (Europa)	CML
Santos et al. (2018)	Life cycle assessment of low temperature asphalt mixtures for road pavement surfaces: A comparative analysis	França (Europa)	CML 2001
Ding, Xiao e Tam (2016)	A closed-loop life cycle assessment of recycled aggregate concrete utilization in China	China	Global Warming Potential (GWP) CED Consumption of Primary Mineral Resources (CMR)

A Figura 2 mostra uma representação da localização no mundo de cada artigo apresentado neste trabalho.



- Legenda:
- Rosato et al. (2018) e Evangelista et al.(2018)
 - Santos et al.(2018);
 - Kurda, Silvestre e Brito (2018);
 - Ding, Xiao e Tam(2016);
 - Christoforou et al.(2016);
 - Pons et al. (2018);
 - Borghi, Pantini e Rigamonti (2018) e Vitale et al.(2017)

Figura 2: Região de cada referência pesquisada

Esse estudo possibilitou o levantamento em função do produto ou serviço, limitações, desafios e soluções de cada um dos principais artigos estudados. A seguir, na Tabela 2 estão descritas as limitações, soluções e resultados obtido pelos autores.

Referência	Produto ou serviço avaliado	Limitações e desafios encontrados	Soluções propostas
Rosato et al. (2017)	Agregados naturais e agregados reciclados mistos	Utilização de dados genéricos para o inventário; Não confiabilidade de alguns dados.	Utilização sempre que possível de dados brasileiros; Cortes nas fronteiras do sistema para maior confiabilidade de dados.
Vitale et al. (2017)	Fim de vida de um edifício residencial	Alocação ligada à utilização dos materiais de demolição. Importância da reciclagem do aço para os impactos ambientais e possível sensibilidade de dados.	Metodologia de expansão do sistema para evitar alocação; Verificação da sensibilidade dos resultados obtidos para os impactos relacionados ao aço ao se variar o cenário da metodologia de expansão do sistema. Comparação dos efeitos da quantidade de resíduos tratada no desempenho ambiental. Recomendação de técnicas adequadas de demolição seletiva, aumentando a qualidade e quantidade de resíduos enviados para tratamento.
Pons et al. (2018)	Paredes de retenção de terra	Incerteza relacionada com a utilização de um banco genérico de dados, com imprecisão relacionada com a localização geográfica, tecnologia utilizada e fator temporal de coleta de dados; Incertezas geradas pela combinação de indicadores ambientais pelo método de LCIA ReCiPe 2008; Dificuldade em interpretar categorias de impacto de midpoint;	Uso da matriz pedigree para definir a incerteza total ao utilizar certos dados; Utilização apenas do banco de dados Ecoinvent para precisão de resultados; Normalização das categorias de danos utilizando o conjunto de normalização Europa ReCiPe H / H (pessoa/ano) para fornecer uma visão global do impacto ambiental total causado; Análise de incerteza probabilística utilizando simulações de Monte Carlo; Abordagem endpoint para obter resultados globais e mais fáceis de comparar; Recomendação de triturar o concreto na fase final de vida das paredes de retenção para permitir sua carbonatação reduzindo impactos ambientais.
Evangelista et al. (2018)	Habitações típicas brasileiras	Barreiras devido à ausência de estrutura metodológica, critérios, parâmetros e aplicações práticas da ACV no Brasil.	Abordagem metodológica do cone invertido. Utilização do banco de dados do Ecoinvent v3.01 e coleta de dados brasileiros como o consumo de água e energia durante etapas do ciclo de vida de cada edifício; Recomendação de utilização de múltiplas perspectivas de análise de resultados.
Christoforou et al. (2016)	Tijolos de adobe	Falta de estudos sobre o impacto ambiental da produção de adobe;	Utilização do software GaBi que permite utilização de ampla quantidade de modelos de ACIV; Desconsideração da produção de resíduos no sistema; Dados obtidos de produtores locais de adobe e da literatura; Utilização de diferentes cenários de produção para conseguir avaliar a influencia do transporte no desempenho ambiental dos tijolos de adobe.

Referência	Produto ou serviço avaliado	Limitações e desafios encontrados	Soluções propostas
Borghi, Pantini e Rigamonti (2018)	Gestão não perigosa de resíduos de construção e demolição	Dados de fluxo de Resíduos de construção e demolição (RCD) para cada tipo analisados não estavam disponíveis a nível regional; Multifuncionalidade; Falta de dados primários; A gestão de RCD contribui para minimizar a extração de recursos naturais, no entanto, este processo é responsável por impactos ambientais ligados a emissões de dióxido de carbono equivalente.	Conjunto de dados específicos para o contexto regional; Utilização de dados do Ecoinvent 3.3 e literatura para completar o inventário. Fluxos de RCD estimados; Expansão dos limites do sistema para incluir produções primária e resolver o caso de multifuncionalidade; Exclusão de categorias de impacto como o impacto do uso da terra e impacto das radiações ionizantes. Alteração de cenários como análise de sensibilidade mostrou espaço para melhorias; Recomenda-se controle de qualidade de RCD. Recomenda-se utilização de dados locais para estudos semelhantes em contextos geográficos diferentes.
Kurda, Silvestre e Brito (2018)	Concreto com alto volume de agregados reciclados de concreto e cinzas volantes	Falta de estudos detalhados sobre o impacto ambiental das matérias primas utilizados; Falta de algumas informações fornecidas por empresas;	Algumas categorias de impacto ambiental não foram consideradas por não serem significativas para atividades da construção; Recolhimento de dados de empresas de Portugal; Utilização de banco de dados genéricos para completude dos dados; Utilização do método NativeLCA para selecionar conjuntos de dados genéricos mais apropriados para a aplicação.
Santos et al. (2018)	Mistura asfáltica de baixa temperatura	Inexistência de alguns dados de inventário de ciclo de vida (ICV) na literatura; Falta de informações na literatura sobre algumas fases da construção;	Busca por utilização de dados mais atuais possíveis e serem geográficos e tecnologicamente representativos; Utilização do banco de dados do Ecoinvent 3.2 e relatórios disponíveis publicamente; Simplificações quanto a alguns impactos ambientais de fases de produção com falta de informações na literatura; Análise de cenários para verificação da sensibilidade de dados e busca pelas melhores alternativas.
Ding, Xiao e Tam (2016)	Ciclo fechado do agregado reciclado	A análise comparativa entre estruturas de concreto com agregado reciclado e concreto com agregado natural é limitada a condições ambientais não agressivas;	Aplicação da teoria do berço ao berço; Simplificações considerando que os impactos de concreto com agregado reciclado e concreto com agregado natural possuam os mesmos impactos ambientais na fase de construção, serviço e demolição; Simplificação com relação à função de ambos concretos; Comparação de cenários de acordo com a produção dos agregados; Dados extraídos através de entrevistas com operadoras e fabricantes locais e do banco de dados chinês; Consideração dos impactos relacionada ao descarte em aterros.

5. DISCUSSÃO

As adaptações realizadas por cada autor de acordo com a características de seus trabalhos formam soluções para diminuir incertezas. Mendes, Bueno e Ometto (2013) confirmam a possibilidade de desenvolvimento de modelos de ACV direcionados a particularidades de diferentes regiões de estudo através de métodos de AICV que abordem categorias específicas de impacto ambiental.

Por não existirem bancos de dados completos para cada área da construção civil pesquisada, bem como para contexto regional específicos, são necessárias soluções como a coleta de dados em instituições e empresas locais e utilização de bancos de dados genéricos disponíveis em softwares específicos para ACV. Como o mostrado na revisão bibliográfica do presente artigo, a completeza dos dados referentes ao inventário do ciclo de vida foi buscada através da utilização de diversas fontes de dados.

Os trabalhos realizados em ambiente europeu se preocuparam em tornar os dados o mais reais possível para as regiões avaliadas através de pesquisas locais, adicionalmente as de fontes de dados já disponíveis a esta região.

A variação do cenário de aplicação da ACV foi realizada através da identificação de processos ou fluxo de produtos cuja variação das características produziam resultados diferentes para o meio ambiente. Ao realizar modificações e realizar procedimentos sistemáticos, verifica-se nessas publicações que conseguiu-se estimar os efeitos das escolhas feitas durante as fases da ACV. Desta maneira, é possível verificar o melhor cenário para que um novo material ou processo produtivo contribua para a diminuição de impactos ambientais.

Alguns pesquisadores ainda encontraram dificuldade com relação a falta de pesquisas dentro da área da construção civil analisada, dificultando assim a definição do escopo e escolhas como critério de corte para a realização da ACV.

6. CONCLUSÃO

Conclui-se ser necessário continuar o investimento em pesquisas focadas na realização da ACV dentro da construção civil, visto que o setor abrange diversas áreas com características particulares a cada uma delas. A busca por adaptações de modelos para as diferentes realidades encontradas por cada estudo de ACV contribui para auxiliar o desenvolvimento de pesquisas futuras.

Esta pesquisa buscou identificar alguns dos desafios e apontar algumas soluções propostas em trabalhos científicos mais recentes, mostrando como o conteúdo das ACVs varia bastante conforme sua região de aplicação e a área de interesse.

A ACV pode ser identificada como uma boa ferramenta para a avaliação da real contribuição de produtos alternativos para o desenvolvimento sustentável dentro da construção civil.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (2009). *NBR ISO14040 Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura*. Brasil: ABNT. 21 pg.
- Azevedo, J. L.; (2015). *A economia circular aplicada no Brasil: uma análise a partir dos instrumentos legais existentes para a logística reversa*. In: *Congresso Nacional de Excelencia em Gestão, 6*, Rio de Janeiro.
- Borghi, G.; Pantini, S.; & Rigamonti, L. (2018). *Life cycle assessment of non-hazardous Construction and Demolition Waste (CDW) management in Lombardy Region (Italy)*. *Journal of Cleaner Production*, 184, 815–825. doi:10.1016/j.jclepro.2018.02.287

- Bueno, C.; Hauschild, M. Z.; Rossignolo, J. A.; Ometto, A. R.; & Mendes, N. C. (2016). Sensitivity analysis of the use of Life Cycle Impact Assessment methods: a case study on building materials. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2208–2220. doi:10.1016/j.jclepro.2015.10.006
- Christoforou, E.; Kylili, A.; Fokaides, P. A.; & Ioannou, I. (2016). Cradle to site Life Cycle Assessment (LCA) of adobe bricks. *Journal of Cleaner Production*, 112, 443–452. doi:10.1016/j.jclepro.2015.09.016
- Ding, T.; Xiao, J.; & Tam, V. W. Y. (2016). A closed-loop life cycle assessment of recycled aggregate concrete utilization in China. *Waste Management*, 56, 367–375. doi:10.1016/j.wasman.2016.05.031
- Dong, Y. H., & Ng, S. T. (2015). A life cycle assessment model for evaluating the environmental impacts of building construction in Hong Kong. *Building and Environment*, 89, 183–191. doi:10.1016/j.buildenv.2015.02.020
- Dreyer, L. C.; Niemann, A. L.; & Hauschild, M. Z. (2003). Comparison of Three Different LCIA Methods: EDIP97, CML2001 and Eco-indicator 99. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 8(4), 191–200. doi:10.1007/bf02978471
- European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability (2010) *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Evangelista, P. P. A.; Kiperstok, A.; Torres, E. A.; & Gonçalves, J. P. (2018). Environmental performance analysis of residential buildings in Brazil using life cycle assessment (LCA). *Construction and Building Materials*, 169, 748–761. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.02.045
- Godoy, S. G. M.; Saes, M. S. M. *Cap-and-Trade e projetos de redução de emissões: comparativo entre mercados de carbono, evolução e desenvolvimento*. *Ambiente & Sociedade*, São Paulo, p.141-160, jan. 2015.
- Ingrao, C.; Messineo, A.; Beltramo, R.; Yigitcanlar, T.; & Ioppolo, G. (2018). How can life cycle thinking support sustainability of buildings? Investigating life cycle assessment applications for energy efficiency and environmental performance. *Journal of Cleaner Production*, 201, 556–569. doi:10.1016/j.jclepro.2018.08.080
- Junior, A. N. (2014). *Captura de CO2 em materiais cimentícios através de carbonatação acelerada*. Tese (Doutorado em engenharia civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro(UFRJ). Rio de Janeiro, Brasil.
- Kurda, R.; Silvestre, J. D.; & de Brito, J. (2018). Life cycle assessment of concrete made with high volume of recycled concrete aggregates and fly ash. *Resources, Conservation and Recycling*, 139, 407–417. doi:10.1016/j.resconrec.2018.07.004
- Marcelino-Sadaba, S.; Kinuthia, J.; Oti, J.; & Seco Meneses, A. (2017). Challenges in Life Cycle Assessment (LCA) of stabilised clay-based construction materials. *Applied Clay Science*, 144, 121–130. doi:10.1016/j.clay.2017.05.012
- Mendes, N. C.; Bueno, C.; & Ometto, A. R. (2015). Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos. *Production*, 26(1), 160–175. doi:10.1590/0103-6513.153213
- Nações Unidas (1987), *Relatório da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento*, 42/187.
- Pons, J. J.; Penadés-Plà, V.; Yepes, V.; & Martí, J. V. (2018). Life cycle assessment of earth-retaining walls: An environmental comparison. *Journal of Cleaner Production*, 192, 411–420. doi:10.1016/j.jclepro.2018.04.268
- Rosado, L. P.; Vitale, P.; Penteado, C. S. G.; & Arena, U. (2017). Life cycle assessment of natural and mixed recycled aggregate production in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 151, 634–642. doi:10.1016/j.jclepro.2017.03.068

- Santos, J.; Bressi, S.; Cerezo, V.; Lo Presti, D.; & Dauvergne, M. (2018). *Life cycle assessment of low temperature asphalt mixtures for road pavement surfaces: A comparative analysis*. *Resources, Conservation and Recycling*, 138, 283–297. doi:10.1016/j.resconrec.2018.07.012
- Saade, M. R. M.; (2017) *Modelagem de multifuncionalidade aplicada a ACV de cimentos e concretos*. Tese (Doutorado em engenharia civil). Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo da Unicamp. Campinas, Brasil.
- Soares, S. R.; Souza, D. M.; Pereira, S.W. (2006). *A avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil*. In: *Coletânea Habitare: Construção e Meio Ambiente*. p. 97-127.
- Vitale, P.; Arena, N.; Di Gregorio, F.; & Arena, U. (2017). *Life cycle assessment of the end-of-life phase of a residential building*. *Waste Management*, 60, 311–321. doi:10.1016/j.wasman.2016.10.002

8. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.