

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES: BARREIRAS E POTENCIALIDADES

Juliana Grillo da Silva Madeira (julianagrillo.arq@gmail.com); João Luiz Calmon (calmonbarcelona@gmail.com); Edna Aparecida Nico-Rodrigues (edna.rodrigues@ufes.br); Márcia Bissoli Dalvi (marciabissoli@gmail.com)

Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) - Brazil

Palavras chave: avaliação do ciclo de vida energético, edificações, desempenho ambiental.

No ciclo de vida dos edifícios, vários recursos naturais são consumidos, assim como diversos poluentes são lançados no meio ambiente, ocasionando danos ambientais regionais e globais. O uso racional e a busca por fontes alternativas de energia são algumas das iniciativas para a sustentabilidade. Para a identificação dos impactos no cenário energético no Brasil, a avaliação do ciclo de vida energético (ACVE) se apresenta como uma ferramenta estratégica, principalmente mediante o problema da crise energética enfrentada. Este artigo tem por objetivo identificar estudos de ACVE em edificações, sinalizando suas características, principais resultados e barreiras para o desenvolvimento de pesquisas desta natureza. Assim, este trabalho resume e organiza 47 estudos de ACVE aplicada em edificações, a partir de levantamento em bancos de dados técnicos /científicos e em periódicos indexados no período de 2012 a 2017. Os resultados mostram que a maioria dos estudos abrangem edifícios residenciais e se concentram nos Estados Unidos e identifica o uso e operação como etapa mais crítica pelo consumo energético. Finalmente, verifica-se que a falta de inventários nacionais, de especialistas, de políticas públicas, complexidade e incompatibilidade com programas e certificações são algumas barreiras para a expansão desta ferramenta na construção civil.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil gera grandes impactos ambientais ao meio ambiente: Dados da Organização das Nações Unidas (ONU) apontam que o setor consome 40% de toda a energia produzida no mundo, extrai 30% dos materiais do meio natural, gera 25% de resíduos sólidos, consome 25% da água do planeta e ocupa 12% das terras. Além disso, as atividades de construção civil também impactam em 10% nas emissões de gases de efeito estufa (GEE), e estas ocorrem, em grande parte fora do canteiro de obras, seja na fase de extração da matéria prima, na fabricação de produtos ou insumos, no transporte ou na fase de uso e operação das edificações (CTE e CRIATIVE, 2015).

Todos esses impactos não podem ser atribuídos somente às atividades de construção civil, mas também as atividades humanas, que se concentram nas cidades. Em 2006, as áreas urbanas consumiram cerca de 66% da energia produzida no mundo. (CTE e CRIATIVE, 2015). Estimativas da ONU, indicam que se o ritmo de aumento de urbanização prosseguir dessa forma, em 2030, esse percentual será elevado cerca de 80%. Outra estimativa da ONU é que em 35 anos, dois terços da população residirão em zonas urbanas, fator preocupante, visto que hoje, cerca de 3,5 bilhões de pessoas já habitam o espaço urbano. (EBC AGÊNCIA NACIONAL, 2017).

A expansão das áreas urbanizadas provoca uma série de consequências que afetam diretamente a qualidade de vida de sua população, como: elevação nas temperaturas, ventilação insuficiente, gerando as chamadas “ilhas de calor”; aumento da poluição ar; redução de áreas verdes, dentre outros.

Por essas questões, o setor da construção civil tem papel fundamental para realização dos objetivos globais do desenvolvimento sustentável, pois tem grande potencial para redução de recursos naturais, reciclagem, reutilização de resíduos e diminuição das emissões de GEE, visando a melhoria do desempenho ambiental dos edifícios.

No Brasil, de acordo com o último censo realizado, verifica-se que 84% dos brasileiros já vive em zonas urbanas (IBGE, 2010). Além disso, frente à crise energética e econômica vivida pelo país, torna-se ainda mais necessário repensar a forma como os projetos são executados, para incluir de forma clara, técnica e economicamente viável as considerações energéticas e ambientais com vistas à redução de insumos, entre eles a energia. (NICOLETTI, 2017)

À medida que a procura por esse modelo construtivo mais sustentável tem aumentado, visando o mínimo de desperdício e o máximo de aproveitamento, novas tecnologias a serviço dessas edificações estão sendo aperfeiçoadas, porém vê-se a necessidade de ferramentas que permitam ao projetista tomada de decisões mais consciente, para identificação desses impactos potenciais nas diversas fases de vida da edificação. Nesse sentido, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), se apresenta como uma ferramenta estratégica na mensuração destes impactos.

Contudo, por ser um estudo de elevada complexidade, a ACV vem sendo substituída por versões simplificadas ou recortes, em que apenas uma categoria é analisada. Os pesquisadores da construção civil aderem usualmente às simplificações da ACV, utilizando a Avaliação do Ciclo de Vida Energético (ACVE), Avaliação do Ciclo de Vida de Emissões de CO₂ (ACVCO₂), Avaliação do Custo do Ciclo de Vida (ACVC), Avaliação do Ciclo de Vida Social (ACVS), entre outros.

Diante do exposto, a principal motivação deste trabalho é examinar a literatura relacionada à avaliação do ciclo de vida energético em edificações, publicados nos últimos 5 anos, por meio de métodos bibliométricos, usando base de dados do portal periódicos CAPES, identificando os principais resultados e barreiras para o desenvolvimento de pesquisas em ACV e ACVE.

2. ACV E ACVE

A indústria da construção civil e a produção de edificações consomem energia, recursos naturais (renováveis ou não) e contribuem para o aumento das emissões de GEE. As estratégias para a produção de habitações ambientalmente mais sustentáveis têm sido alternativas cada vez mais aplicadas ao mercado da construção, especialmente por meio de selos de certificação da sustentabilidade, como *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), Selo Casa Azul (Caixa Econômica Federal) e Processo AQUA-HQE (Alta Qualidade Ambiental), mas estes sistemas não contemplam a abordagem sistêmica do pensamento do ciclo de vida nos critérios obrigatórios.

Segundo a NBR ISO 14040 (ABNT, 2014), a ACV é uma metodologia no qual o produto ou processo é avaliado em todo o seu ciclo de vida. A ACV tem como objetivo identificar e quantificar impactos ambientais, além de promover a geração de parâmetros que permitam a comparação entre bens e serviços similares, sendo definida pela NBR ISO 14040 (ABNT, 2014, p.5) como “a compilação e avaliação das entradas e saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida” e de acordo com a figura 1, composta por 4 fases.

Além disso, de acordo com a ISO 14044 (ISO, 2006), uma ACV pode auxiliar também na identificação de oportunidades para melhoria do desempenho ambiental de produtos em pontos específicos do seu ciclo de vida; no planejamento estratégico para tomada de

decisões tanto na indústria como nas organizações públicas; na seleção de indicadores de desempenho ambiental relevantes; ou como estratégia de marketing.

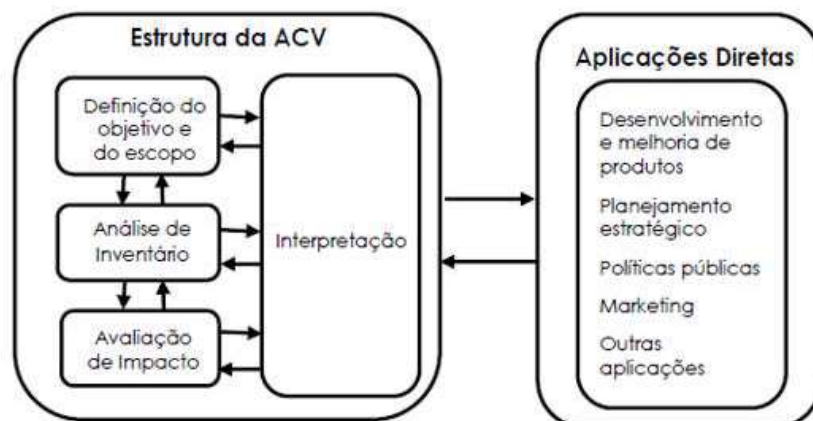


Figura 1. Estrutura de uma ACV. NBR ISO 14040 (ABNT, 2014, p.5)

Em ACV de edificações, vários fatores demandam atenção especial como: vida relativamente longa da edificação, possíveis alterações sofridas ao longo da vida útil, algumas vezes, as edificações têm múltiplas funções ou incorporam muitos componentes, que comumente são produzidos localmente ou integrados a infraestrutura. Isto significa que fazer uma ACV completa de um edifício não é um processo simples como para outros produtos de consumo (BRIBIÁN; USÓN; SCARPELLINI, 2009).

Cabeza et al. (2014) destacam alguns desafios da ACV aplicada à edificações, comparado à ACV aplicada a produtos, dentre eles:

- Cada edificação é construída em sítio diferente, e os impactos dessa localização devem ser considerados (distância de transporte, impactos na vizinhança, dentre outros);
- A complexidade dos processos construtivos e a singularidade de cada edificação;
- Cenário mercadológico incerto;
- As questões ambientais internas de conforto e saúde do usuário também devem ser consideradas.

Buyle, Braet e Audenaert (2013) acrescentam que algumas das dificuldades na elaboração de ACV em edificações incluem o longo ciclo de vida considerado (entre 50 e 100 anos), e consequentemente a imprevisibilidade do comportamento dos componentes da edificação durante esse período. Dessa forma, tendo em vista que os processos construtivos em edificações não são padronizados, a análise do seu ciclo de vida se torna uma tarefa desafiadora.

Em muitos estudos de ACV em edificações, os impactos ambientais estão pautados no consumo energético, seja ele medido por fatores indiretos, a partir da produção dos materiais e que compõem a edificação, ou de forma direta, calculados no período de uso, operação e manutenção. Esses ACVs são conhecidos como análise energética do ciclo de vida ou ACVE (CABEZA et al., 2014).

Segundo Ramesh, Prakash e Shukla (2010) uma ACVE em edificações deve considerar o consumo de energia em 03 fases: manufatura dos materiais de construção, uso e operação da edificação e demolição.

De acordo com a figura 2, Tavares (2006), um dos pioneiros nos estudos de ACVE de edificações no Brasil, traz para a realidade brasileira valores de consumo de energia em todas as etapas do ciclo de vida da edificação, também abordando as mesmas 3 fases.

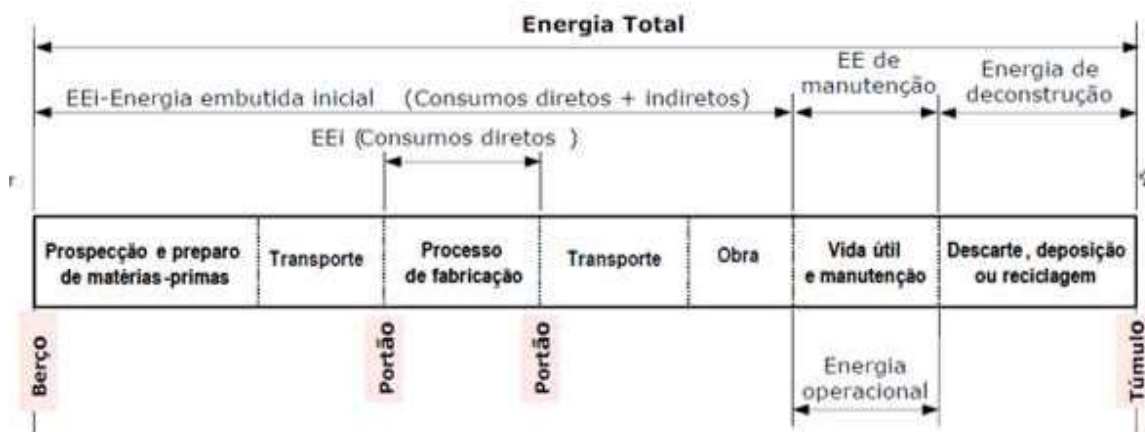


Figura 2. Ciclo de Vida Energético. (Tavares, 2006, p.56)

Na primeira fase, a energia utilizada é denominada de incorporada, ou seja, o somatório de toda a energia utilizada desde a extração do material, passando pelo processo de fabricação, até transporte e montagem no canteiro de obra.

A energia Operacional é aquela necessária na fase de uso e operação da edificação, para manter o conforto do usuário e atender às demandas dos equipamentos instalados. Já a energia de demolição, é a gasta para o desmonte e/ou descarte da edificação.

Diversos estudos apontam que a fase de operação é a que mais consome energia, entre 80% e 90%, (DIXIT, 2017a; CHAU, LEUNG e NG, 2015; ATMACA, 2015; CABEZA et. al., 2014; RAMESH, PRAKASH e SHUKLA, 2010) seguido da energia operacional de 10 a 20% (DIXIT, 2017a; BJORN, HALL e WALL, 2013; RAMESH, PRAKASH E SHUKLA, 2012).

A energia de demolição, em muitos casos, é insignificante ou até mesmo desconsiderada (DIXIT, CULP e FERNANDEZ-SOLIS, 2012; RAMESH, PRAKASH E SHUKLA, 2010).

De acordo com o balanço energético Nacional de 2016, realizado pelo Ministério de Minas e Energia, aproximadamente 50% da energia elétrica produzida no país é consumida pelas edificações residenciais, comerciais e do setor público (BRASIL, 2017). Dessa forma, é fundamental que os novos empreendimentos e os existentes lancem mão de medidas para aumento da eficiência energética, afim de reduzir seus consumos, custos operacionais e impactos ambientais associados.

No Brasil destaca-se como matriz energética as fontes renováveis, provenientes, principalmente, de hidroelétricas. Contudo, mediante a crise hídrica enfrentada pelo país, o cenário energético precisa investir em formas alternativas de concepção de energia, além de atuar na produção de edificações mais eficientes energeticamente e de equipamentos que consumam menos energia.

Diante desse cenário, o objetivo desse artigo é identificar e analisar estudos de ACVE em edificações, através de pesquisa bibliográfica, apontando principais resultados e barreiras para o desenvolvimento de pesquisas nessa área.

3. METODOLOGIA

O presente artigo mapeia trabalhos publicados na temática de ACVE aplicada exclusivamente à edificações. Inicialmente a busca foi realizada pelo portal periódicos CAPES (Periódicos CAPES/MEC, 2017), utilizando-se as palavras-chave “life cycle energy” e “buildings”. Na sequência, realizou-se filtros, considerando-se apenas os artigos publicados nos últimos 5 anos, e revisados por pares. Os resultados inicialmente apresentados mostraram artigos também voltados para outros temas sem relação com o objetivo desse estudo, tornando-se necessário realizar novos refinamentos.

Analisando essa nova amostragem, observou-se que 83% dos artigos indexados estavam na base de dados Scopus, de grande abrangência internacional. Sendo assim, optou-se, por redirecionar a busca nesta plataforma, levando-se em consideração, também, a facilidade para obtenção de alguns dados nela presentes e essenciais à bibliometria apresentada neste artigo.

Procedeu-se então, a coleta completa dos artigos e leitura dos respectivos resumos na língua portuguesa ou inglesa. Foram excluídos trabalhos de ACVE de outros assuntos, por exemplo envolvendo os temas “materiais de construção” e “sistemas construtivos”. Foram consideradas as tipologias de edificação residencial, comercial e de serviço, sendo consideradas pesquisas publicadas entre 2012 e 2017.

Após, foi realizada uma seleção dos artigos mais aderentes a proposta deste trabalho, limitando-se a pesquisa pelos tópicos “energy”, “engineering”, considerando-se “articles” e “reviews”. Na sequência, os artigos selecionados foram organizados em ordem cronológica e sintetizados com as seguintes informações: ano publicação, nome do periódico, área temática de abordagem, tipo de estudo, local de realização do estudo, tipo de edificação selecionada, vida útil considerada, fronteira do estudo no ACV e principais resultados apontados. Por fim, também foi realizada análise do periódico, checando sua classificação na plataforma sucupira. (PLATAFORMA SUCUPIRA CAPES, 2017).

4. RESULTADOS

O levantamento das informações na base de dados Scopus, ocorreu durante o mês de novembro de 2017 e os resultados obtidos geraram o quantitativo de 47 artigos. Estes resultados demonstram uma aparente ampliação da preocupação com o tema – análise do ciclo de vida energético – a partir de 2015, como podem também indicar um provável incentivo às pesquisas sobre o assunto (Figura 3).

Percebe-se ainda que em 2015, o número de publicações quase que triplicaram em relação ao ano anterior. Até a data do recorte da pesquisa, afere-se que essa percentagem estava em torno de 20%, porém salienta-se, que do intervalo da pesquisa até o momento podem ter ocorrido novas inclusões.

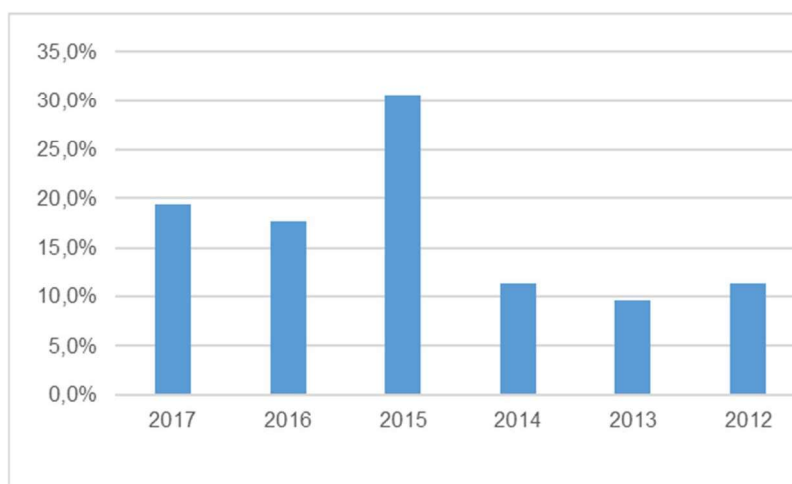


Figura 3. Percentual de publicações por ano. (Autoria Própria)

Dentre os artigos analisados, os países que se destacam em publicações de ACVE (figura 4) são os Estados Unidos da América (EUA), com 27%, seguido da Austrália (19%) e China (15%). O Brasil não aparece no *ranking* de publicações sobre o tema. Contudo, foi encontrado um artigo brasileiro (SILVA e SPOSTO, 2012).

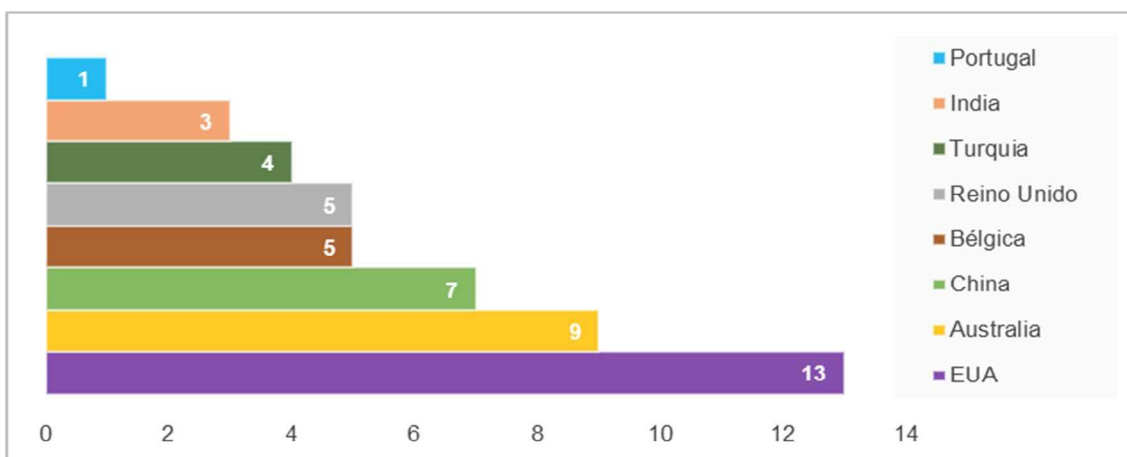


Figura 4. Número de Publicações por País. (Autoria Própria)

Dentre os principais autores publicadores na área, conforme figura 5, estão: os australianos Robert H. Crawford e André Stephan (AYE et. al., 2011; STEPHAN, CROWFORD e MYTTENAERE, 2012; STEPHAN e CROWFORD, 2013; STEPHAN, CROWFORD e MYTTENAERE, 2013; CROWFORD, 2014; CROWFORD et. al., 2016), o americano Manish Kumar Dixit (DIXIT et. al., 2012; DIXIT, CULP e FERNANDEZ-SOLÍS, 2013; DIXIT, 2017a; DIXIT, 2017b) e o turco Nihat Atmaca (ATMACA, A. e ATMACA, N., 2015; ATMACA, A. e ATMACA, N., 2016; ATMACA, N., 2017). Na interpretação da figura 5, é importante destacar que o Crawford, o mais citado, aparece em seis artigos, mas seus coautores não apresentam a mesma frequência de publicação.

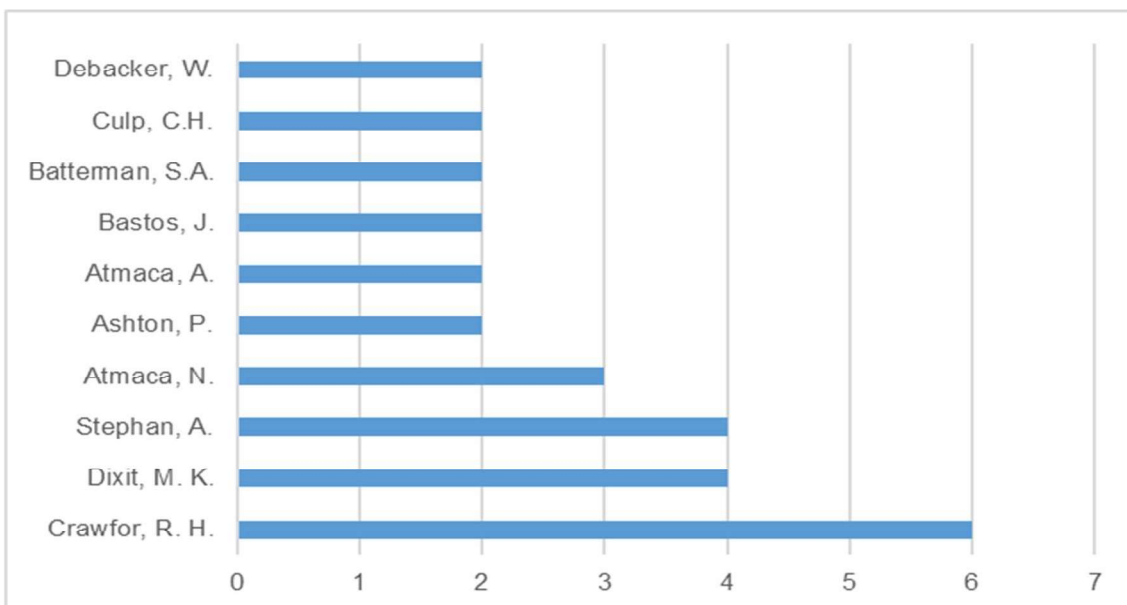


Figura 5. Número de Publicações por Autor. (Autoria Própria)

A classificação das publicações de maior relevância também foi elaborada por meio do maior número de citações que cada artigo recebeu (Quadro 1) no período de 2012 a 2017, revelando sua importância acadêmica e podendo servir de base para outros trabalhos.

Quadro 1. Artigos, Autores e nº de citações por ano. (Autoria Própria)

Artigo	Autor	Ano Publicação	Nº Citações
Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: a review	Luisa F. Cabeza, Lidia Rincon, Virigina Vilarino, Gabriel Perez, Albert Castell	2013	219
Need for an embodied energy measurement protocol for buildings: A review paper	Manish K. Dixit, Jose L. Fernandez-Solis, Sarel Lavy, Charles H. Culp	2012	135
A comprehensive assessment of the life cycle energy demand of passive houses	Stephan, A., Crawford, R.H., de Myttenaere, K.	2013	67
System boundary for embodied energy in buildings: a conceptual model for definition	Dixit, M.K., Culp, C.H., Fernández-Solís, J.L.	2013	57
Towards a More Sustainable Building Stock: Optimizing a Flemish Dwelling Using a Life Cycle Approach	Stephan, A., Crawford, R.H., De Myttenaere, K.	2012	51
China's energy consumption in the building sector: A life cycle approach	Zhang, Y., He, C.-Q., Tang, B.-J., Wei, Y.-M.	2015	33
LCE analysis of buildings – Taking the step towards Net Zero	Berggren, B., Hall, M., Wall, M.	2013	33
Life Cycle energy and greenhouse gas analysis of three buildings types in a residential area in Lisbon	Joana Bastos, Stuart A. Batterman & Fausto Freire	2014	32
A review of life cycle assessment method for building industry	Abd Rashid, A.F., Yusoff, S.	2015	30

Dos artigos coletados, todos encontram-se publicados em 5 revistas. Dentre os periódicos (Figura 6), identificados na pesquisa, destacam-se que todas as revistas, exceto a *Buildings*, estão classificadas como A1, através da plataforma sucupira (PLATAFORMA SUCUPIRA CAPES, 2017)

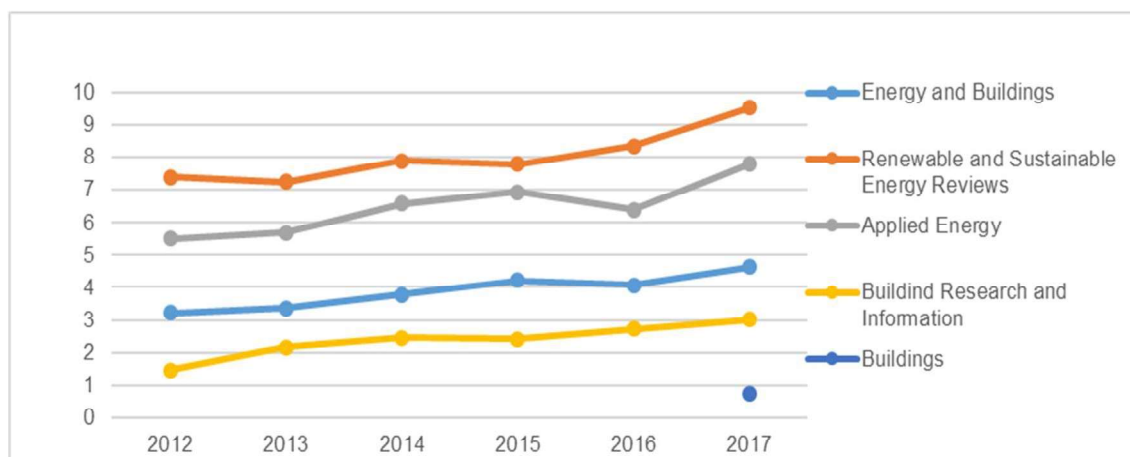


Figura 6 . Periódicos versus média de citações no Scopus. Autoria Própria

Foi verificado também que cerca de 80% são estudos de caso, sendo identificados 9 *reviews* realizados nos últimos 5 anos, porém nenhum destes são pesquisas bibliométricas.

Para a realização de qualquer ACV, faz-se necessário estabelecer uma série de itens fundamentais. Dentre eles destacam-se: fronteira, vida útil considerada, unidade funcional, assim como base de dados (inventário) e *software* utilizado. Percebeu-se que todos os

estudos abordam a fronteira da ACVE realizada, mas nem sempre abordam a unidade funcional e o *software* para as simulações realizadas.

Apesar da grande maioria realizar estudos em tipologias residenciais, a unidade funcional, não segue um padrão, denotando divergências, ora dificultando ou impossibilitando possíveis comparações. Apenas 9% dos casos abordaram outras tipologias arquitetônicas, como edificação histórica (HU, 2017), edifício comercial (POMPONIA et. al., 2015; AZARI, 2014) e museu (GEA et al. 2015).

A vida útil considerada na maioria dos estudos, foi de 50 anos, havendo alguma variação para 75 anos em quatro casos (HU, 2017; BASTOS, BATTERMAN e FREIRE, 2013; RAMESH, PRAKASH e SHUKLA, 2012; RAMESH, PRAKASH e SHUKLA, 2010).

Quando mencionado, o *software* mais utilizado, foi o *energy plus*, de natureza gratuita, sendo observado sua utilização em 5 dos estudos de caso elencados (MACIAS et. al., 2017; MASTRUCCI e RAO, 2017; BOJIC, JOHANNES, ZUJNIK, 2013; RAMESH, PRAKASH e SHUKLA, 2012; RAMESH, PRAKASH e SHUKLA, 2010)

A grande maioria dos estudos aborda a energia incorporada e operacional, nas fases de uso e operação da edificação. A fase de *retrofit*, foi citada apenas por três dos estudos, constituindo uma lacuna para pesquisas futuras.

5. BARREIRAS PARA APLICAÇÃO DA ACVE EM EDIFICAÇÕES

Apesar de considerada uma ferramenta estratégica, a ACVE encontra diversas barreiras de aplicação no setor da construção civil e mais especificamente em edificações, como observado nos estudos selecionados.

Dentre as limitações identificadas pode-se citar a falta de bancos de dados em muitos países (DIXIT, 2017a; DIXIT, 2017b; CHAU, LENG e NG, 2015; CABEZA et. al., 2014; BERGGREN, HALL e WALL, 2013; BOURELLE, ANDRESSEN e GISTAVESSEN, 2013), assim como no Brasil, limitando a realização de inventários locais (PAULSEN e SPOSTO, 2012). A grande maioria dos bancos disponíveis trazem informações de processos produtivos internacionais e podem causar distorções se aplicados por outros países, promovendo questionamento de seus resultados.

Os estudos de ACVE em edifícios têm demonstrado grande variabilidade nos resultados, muitas vezes decorrentes da falta de homogeneidade metodológica (CABEZA et al., 2014). Fato igualmente já constatado por Paulsen e Sposto (2012) e Tavares (2006).

Em geral observou-se que, a escassez de especialistas, a falta de incentivos fiscais e de políticas públicas, são outras dificuldades no processo de disseminação da ACVE na construção civil. (DIXIT, 2017; CHAU, LENG e NG, 2015; CABEZA et. al., 2013; RAMESH, PRAKASH e SHUKLA, 2012)

Outras limitações podem ser citadas para aplicação da ACVE em edificações (DIXIT, 2017a; ATMACA, 2015; CHAU, LEUNG e NG, 2015; BOURELLE, ANDRESSON e GISTAVSEN, 2013; PAULSEN e SPOSTO, 2012):

- Complexidade de uso da metodologia;
- Desconhecimento dos profissionais ligados ao setor quanto à devida interpretação dos estudos e aplicação dos resultados;
- Ausência ou escassez de parâmetros ambientais ligados a produção de materiais de construção ou sistemas construtivos;
- Existência de diversas ferramentas e métodos de avaliação que geram resultados diferentes para um mesmo estudo;
- *Softwares* de simulação de ACVE sem interface direta com os programas computacionais usados no setor da construção.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ACV se apresenta como ferramenta estratégica e instrumento reconhecido mundialmente na avaliação do desempenho ambiental de empreendimentos de diversas naturezas, permitindo identificar oportunidades de melhoria do perfil ambiental de edifícios nas diversas fases do ciclo de vida. A ACVE, uma especificidade desta metodologia, assume papel importante nessa avaliação voltada para a eficiência energética das edificações.

Dentre os estudos destacados neste artigo, percebe-se que as pesquisas abrangem em sua maioria edifícios residenciais, seguidos dos comerciais e de serviços, sendo as abordagens prioritariamente ligadas ao conforto e ao consumo energético, identificação das fases mais críticas na geração de impactos e comparação de sistemas estruturais/construtivos, com o propósito de gerar estratégias de melhoria de desempenho ambiental.

Nota-se que a grande maioria não contempla o ciclo de vida completo, sendo que estes estudos realizam recortes em etapas específicas. De uma forma geral, a etapa de uso e operação se revela como a mais impactante, notadamente pelo consumo energético.

A maior parte dos estudos se concentra nos países desenvolvidos, com aplicação de metodologias e inventários locais e priorizando basicamente o consumo energético e emissão de CO₂. Não foram identificados na América Latina avanços significativos nos estudos de ACVE em edificações, nem de disseminação da metodologia.

Os dados levantados também sinalizam que a falta de padrão metodológico, de inventários nacionais, a escassez de profissionais especializados, a complexidade da metodologia e a interface limitada com os programas computacionais e sistemas de certificação utilizados na construção civil, constituem barreiras para o fortalecimento e consolidação da ACVE como ferramenta de avaliação de desempenho ambiental/energético de edificações.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO nº 14044: Avaliação do Ciclo de Vida Requerimento e Diretrizes. Rio de Janeiro, 2006.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO nº 14040: Avaliação do Ciclo de Vida Princípios e Estruturas. Rio de Janeiro, 2009.
- Atmaca, Nihat. *Life-cycle assessment of post-disaster temporary housing*. *Building Research & Information*, v. 45, n. 5, p. 524-538, 2017.
- Atmaca, A.; Atmaca, N.. *Comparative life cycle energy and cost analysis of post-disaster temporary housings*. *Applied Energy*, v. 171, p. 429-443, 2016.
- Atmaca, A.; Atmaca, N. *Life cycle energy (LCEA) and carbon dioxide emissions (LCCO₂A) assessment of two residential buildings in Gaziantep, Turkey*. *Energy and Buildings*, v. 102, 2015, p. 417-431.
- Aye, L., Ngo, T.; Crawford, R. H.; Gammampila, R.M. *Life cycle greenhouse gas emissions and energy analysis of prefabricated reusable building modules*. *Energy And Buildings*, [s.l.], v. 47, p.159-168, abr. 2012. Elsevier BV.
- Azari, R. *Integrated energy and environmental life cycle assessment of office building envelopes*. *Energy and Buildings*, v. 82, p. 156-162, 2014.
- Bastos, J.; Batterman, S.A.; Freire, F. *Significance of mobility in the life-cycle assessment of buildings*. *Building Research & Information*, v. 44, n.4, 2015, p. 376-393.
- Bastos, J.; Batterman, Stuart A.; Freire, F.. *Life-cycle energy and greenhouse gas analysis of three building types in a residential area in Lisbon*. *Energy and buildings*, v. 69, p. 344-353, 2014.
- Berggren, B ; Hall, M.; Wall, M. *LCE analysis of buildings – Taking the step towards Net Zero Energy Buildings*. *Energy And Buildings*, [s.l.], v. 62, p.381-391, jul. 2013. Elsevier BV.

- Bourrelle, J.; S.; Andresen, I.; Gustavsen, A. *Energy payback: An attributional and environmentally focused approach to energy balance in net zero energy buildings*. *Energy and Buildings*, v. 65, p. 84-92, 2013.
- Bojić, M.; Johannes, K.; Kuznik, F.. *Optimizing energy and environmental performance of passive Trombe wall*. *Energy And Buildings*, [s.l.], v. 70, p.279-286, fev. 2014. Elsevier BV.
- Brasil. Ministério de Minas e Energia - MME. *O que fazer para tornar mais eficiente o uso de energia elétrica em prédios públicos*. Disponível em: < <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/cartilha+ENERGIA+op1.pdf> > Acessado em: 18 nov. 2017
- Buyle, M.; Braet, J.; Audenaert, A. *Life cycle assessment in the construction sector: A review*. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, [s.l.], v. 26, p.379-388, out. 2013. Elsevier BV.
- Bribián, I. Z.; Usón, A. A.; Scarpellini, S. *Life cycle assessment in buildings: state-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification*. *Building and Environment*, v. 44, n. 12, p. 2510-2520, 2009
- Cabeza, L. F.; Rincón. L.; Vilariño V.; Pérez G.; Castell A. *Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 29, p.394-416, jan. 2014. Elsevier BV.
- Chau, C.k.; Leung, T.M.; Ng, W.Y. *A review on Life Cycle Assessment, Life Cycle Energy Assessment and Life Cycle Carbon Emissions Assessment on buildings*. *Applied Energy*, [s.l.], v. 143, p.395-413, abr. 2015. Elsevier BV.
- Crawford, R.H.; Bartak, E.L.; Stephan, A.; Jensen, C.A. *Evaluating the life cycle energy benefits of energy efficiency regulations for buildings*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.63, 2016, p. 435-451.
- Crawford, R. H. *Post-occupancy life cycle energy assessment of a residential building in Australia*. *Architectural Science Review*, v. 57, n. 2, p. 114-124, 2014.
- Cte e Criative. *Sustentabilidade: Tendências na construção 2015*. São Paulo: O Nome da Rosa, 2015
- Devi, P.; Palaniappan, S.. *A case study on life cycle energy use of residential building in Southern India*. *Energy and Buildings*, v. 80, p. 247-259, 2014
- Dixit, M. K. *Embodied energy and cost of building materials: correlation analysis*. *Building Research & Information*, v. 45, n. 5, p. 508-523, 2017a.
- Dixit, M. K. *Life cycle embodied energy analysis of residential buildings: A review of literature to investigate embodied energy parameters*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. v.79, 2017b, p. 390-413.
- Dixit, M. K.; Culp, C. H.; Fernández-solís, J. L. *System boundary for embodied energy in buildings: A conceptual model for definition*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 21, p. 153-164, 2013.
- Dixit, M.K.; Fernández-solís, J. L.; Lavy, S.; Culp, C. H. *Need for an embodied energy measurement protocol for buildings: A review paper*. *Renewable and sustainable energy reviews*, v. 16, n. 6, p. 3730-3743, 2012.
- Du, P.; Wood, A.; Stephens, B.; Song, X. *Life-cycle energy implications of downtown high-rise vs. suburban low-rise living: An overview and quantitative case study for Chicago*. *Buildings*, v. 5, n. 3, p. 1003-1024, 2015.
- EBC Agência Brasil. *ONU diz que população mundial chegará a 8,6 bilhões de pessoas em 2030*. Disponível em: < <http://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2017-06/onu-diz-que-populacao-mundial-chegara-86-bilhoes-de-pessoas-em-2030> > Acesso em: 07 jun. 2017
- Ge, J.; Luo, X.; Hu, J.; Chen, S. *Life cycle energy analysis of museum buildings: A case study of museums in Hangzhou*. *Energy and Buildings*, v.109, 2015, p.127-134.
- Geng, S.; Wang, Y.; Zuo, J.; Zhou, Z.; Du, H.; mao, G. *Building life cycle assessment research: A review by bibliometric analysis*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s.l.], v. 76, p.176-184, set. 2017. Elsevier BV

- Goggins, J.; Moran, P.; Armstrong, A.; Hajdukiewicz, M. *Lifecycle environmental and economic performance of nearly zeroenergy buildings (NZEB) in Ireland. Energy and Buildings*, v.116, 2016, p. 622-637.
- Himpe, E.; Trappers, L.; Debacker, W.; Delghust, M.; Laverge, J.; Janssens, A.; Moens, J.; Van Holm, M. *Life cycle energy analysis of a zero-energy house. Building Research & Information*, v. 41, n. 4, p. 435-449, 2013.
- Hu, M. *Balance between energy conservation and environmental impact: Life-cycle energy analysis and life-cycle environmental impact analysis, Energy and Buildings*, v. 140, 2017, p.131–139.
- Lamberts, R.; Dutra, L.; Pereira, F. O. R. *Eficiência energética na Arquitetura*. 3. Ed., 2013.
- Lamnatoua, C.; Baigb, H.; Chemisanaa, D.; Mallick, T. K. *Life cycle energy analysis and embodied carbon of a lineardielectric-based concentrating photovoltaic appropriate forbuilding-integrated applications. Energy and Buildings*, v.107, 2015, p.366-375.
- Loussos, P.; Konstantinou, T.; Dobbelsteen, A.; Bokel, R. *Integrating Life Cycle Energy into the Design of Façade Refurbishment for a Post-War Residential Building in The Netherlands. Buildings*, v. 5, n. 2, p. 622-649, 2015.
- Macias, J.; Iturburu, L.; Rodriguez, C.; Agdas, D.; Boero, A.; Soriano, G. *Embodied and operational energy assessment of different construction methods employed on social interest dwellings in Ecuador. Energy and Buildings*, v.151, 2017, p. 107-120.
- Mandley, S.; Harmsen, R.; Worrell, E. *Identifying the potential for resource and embodied energy savings within the UK building sector. Energy and Buildings*, v. 86, p. 841-851, 2015.
- Mastruccl, A.; Rao, N.D. *Decent housing in the developing world: Reducing life-cycle energy requirements. Energy and Buildings*, v.152, 2017, p.629.
- Nicolettl, A. M. A. *Gestão predial sustentável - Um outro olhar para a redução de custos nas edificações existentes. AEC WEB. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/a/gestao-predial-sustentavel_14979>. Acesso em: 07 jun. 2017*
- Paulsen, J. S.; Sposto, R. M.. *A life cycle energy analysis of social housing in Brazil: Case study for the program “MY HOUSE MY LIFE”. Energy And Buildings, [s.l.]*, v. 57, p.95-102, fev. 2013. Elsevier BV.
- Periódicos CAPES/MEC. *Disponível em: < http://www-periodicos-capes-gov-br.ez43.periodicos.capes.gov.br/index.php?option=com_pmetabusca&mn=70&smn=78&base=find-db-1&type=b&Itemid=121> Acesso em: 07 nov. 2017*
- Plataforma Sucupira Capes. *Qualis Periódicos. Disponível em: < <https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/veiculoPublicacaoQualis/listaConsultaGeralPeriodicos.jsf>> Acesso em: 07 nov. 2017*
- Pomponia, F.; A.E.P., Poorang; R., Southallb; Ashtona, P.; Farr, E.R.P. *Life cycle energy and carbon assessment of double skin fac, adesfor office refurbishments. Energy and Buildings*, v.109, 2015, p.143-156.
- Praseeda, K.I.; Reddy, B. V. V.; Mani, M. *Embodied and operational energy of urban residential buildings in India. Energy and Buildings*, v.110, 2016, p. 211-219.
- Ramesh, T.; Prakash, Ravi; Shukla, K.k. *Life cycle energy analysis of buildings: An overview. Energy And Buildings, [s.l.]*, v. 42, n. 10, p.1592-1600, out. 2010.
- Ramesh, T.; Prakash, Ravi; Shukla, K.k.. *Life cycle approach in evaluating energy performance of residential buildings in Indian context. Energy and Buildings, [s.l.]*, v. 54, p.259-265, nov. 2012. Elsevier BV.
- Ramesh, T.; Prakash, Ravi; Shukla, K.k.. *Life cycle energy analysis of a residential building with different envelopes and climates in Indian context. Applied Energy, [s.l.]*, v. 89, n. 1, p.193-202, jan. 2012. Elsevier BV.
- Rashid, A. F. A.; Yusoff, S.. *A review of life cycle assessment method for building industry. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 45, p. 244-248, 2015.
- Stephan, A.; Crawford, R. H.; Myttenaere, K. *A comprehensive assessment of the life cycle energy demand of passive houses. Applied Energy, [s.l.]*, v. 112, p.23-34, dez. 2013. Elsevier BV

- Stephan, A.; Crawford, R. H.; Myttenaere, K. *Towards a comprehensive life cycle energy analysis framework for residential buildings. Energy and Buildings, [s.l.]*, v. 55, p.592-600, dez. 2012. Elsevier BV.
- Stephan, A.; Crawford, R. H. *A multi-scale life-cycle energy and greenhouse-gas emissions analysis model for residential buildings. Architectural Science Review*, v.57, n. 1, p. 39-48, 2014.
- Surahman, U.; Kubota, T.; Higashi, O.. *Life Cycle Assessment of Energy and CO2 Emissions for Residential Buildings in Jakarta and Bandung, Indonesia. Buildings*, v. 5, n. 4, p. 1131-1155, 2015.
- Sweeney, J. F.; Pate, M.B.; Choi, W. *Life cycle production and costs of a residential solar hot water and grid-connected photovoltaic system in humid subtropical Texas. Journal of Renewable and Sustainable Energy*, v.8, n.5, 2016.
- Takano, A.; Palb, S. K.; Kuittinen, M.; Alanne, K. *Life cycle energy balance of residential buildings: A case study on hypothetical building models in Finland. 2015. Energy and Buildings*, v.105, n.12, 2015, p.154-164.
- Tavares, S. F. *Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras. 2006. 225 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Ppgec, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2006.*
- Zhang, Y.; Hea, C.; Tanga, B.; Weia, Y. *China's energy consumption in the building sector: A life cycle approach. Energy and Buildings*, v.94, 2015, p.240-251.
- Yan, C.; Wang, S.; Ma, Z. Shi, W. *A simplified method for optimal design of solar water heating systems based on life-cycle energy analysis. Renewable Energy*, v. 74, p. 271-278, 2015.
- Yik, F. Wh.; Lai, J. Hk; Fong, N.K; Leung, P. Hm; Yuen, P.L. *A case study on the application of air-and water-cooled oil-free chillers to hospitals in Hong Kong. Building Services Engineering Research and Technology*, v. 33, n. 3, p. 263-279, 2012.

8. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro dado pela FAPES - Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo.