

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

IMPACTOS DA ADOÇÃO DE BIM NO PROCESSO DE AVALIAÇÃO DE ENERGIA INCORPORADA E EMISSÕES DE GHGS NO CICLO DE VIDA DE EDIFICAÇÕES¹

BARROS, Natália Nakamura (1); SILVA, Vanessa Gomes (2); RUSCHEL, Regina C. (3)

(1) PPGATC-UNICAMP, e-mail: natalianakamura.arq@gmail.com; (2) FEC-UNICAMP, e-mail: vangomes@fec.unicamp.br; (3) FEC-UNICAMP, e-mail: ruschel@fec.unicamp.br

RESUMO

A pesquisa tem como objetivo principal explicitar os impactos da adoção de BIM no processo de avaliação de ciclo de vida de edificações a partir do monitoramento de dois indicadores: energia (LCE_e) e emissões de GHGs (LCE_{ghg}) dentro do limite de sistema do berço à entrega da edificação. O método adotado é uma pesquisa comparativa entre fluxos de trabalho de avaliação de LCE_e e LCE_{ghg} com e sem emprego de BIM. A análise comparativa entre os mapas de processos revelou impactos nas atividades desenvolvidas e nas informações trocadas, já os agentes envolvidos não sofreram alterações. As atividades desenvolvidas foram reordenadas, a partir da definição da meta e do escopo da ACV no início do processo, determinando como o projeto é elaborado pelos projetistas. As informações trocadas entre os agentes também se alteram, tornando-se modelos digitais, com informações em planilhas geradas automaticamente. Deste modo, a adoção de BIM causa impactos nos processos internos e externos da organização, alterando todo o modo de pensar da construção, o modo de projetar e a interação entre os agentes envolvidos. A compreensão dos aspectos impactados na integração de ACV e BIM, permitirá à equipe verificar, decidir e planejar as modificações fundamentais para implementação de BIM.

Palavras-chave: ACV. BIM. Integração.

ABSTRACT

The research aims to explain the impact of the adoption of BIM in the process of assessing partial lifecycle (cradle to keys) embodied energy (LCE_e) and GHG emissions (LCE_{ghg}) of buildings. The method adopted is a comparative survey between traditional and BIM-supported LCE_e / LCE_{ghg} workflows. The comparative analysis of the process maps revealed impact on the activities developed and on the information exchanged, since the agents involved have not changed. The activities were reordered from the LCA scope definition at the beginning of the process, determining how the designers developed the BIM project. Information exchanged among the agents also change and become digital models with information in automatically generated spreadsheets. Adopting BIM therefore impacts internal and external processes of the organization, changing the overall understanding of the design process and interaction between the actors involved. Acknowledging the aspects affected by the integration of LCA and BIM enables the team to properly verify, decide and plan for fundamental changes for implementing BIM.

Keywords: LCA. BIM. Integration.

¹ BARROS, Natália Nakamura; SILVA, Vanessa Gomes; RUSCHEL, Regina C.. Impactos da adoção de BIM no processo de avaliação de energia incorporada e emissões de GHGs no ciclo de vida de edificações. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

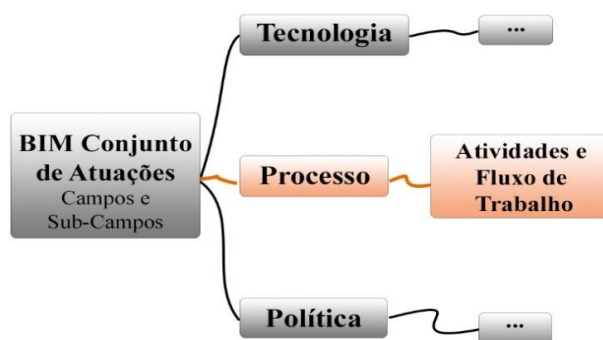
A avaliação de ciclo de vida (ACV) é uma técnica para contabilização de impactos de produtos e processos ao longo do seu ciclo de vida, isto é: desde a extração de matéria-prima, passando por produção, uso e disposição. No Brasil, a ACV foi normatizada pela NBR ISO 14040: gestão ambiental, avaliação do ciclo de vida - princípios e estrutura e NBR ISO 14044: gestão ambiental, avaliação do ciclo de vida - requisitos e orientações (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009).

A quantificação dos impactos ambientais do projeto para ACV é dificultada principalmente devido à falta de informações sobre os materiais que são armazenados no banco de dados e por falhas de interoperabilidade entre as ferramentas de projeto e ferramentas que permitem as análises do ciclo de vida completo dos edifícios (BASBAGILL et al., 2013; DIAZ; ANTON, 2014; JRADE; JALAEI, 2013). Além disso, um dos maiores problemas da ACV convencional é o longo tempo consumido (DIAZ; ANTON, 2014).

Os impactos ambientais de uma edificação são determinados principalmente a partir de decisões tomadas nos estágios iniciais de projeto (BASBAGILL et al., 2013; DIAZ; ANTON, 2014; KULAHCIOGLU et al., 2012), porém as ferramentas de avaliação são usadas *depois* que o projeto da edificação está completo e, portanto, as decisões corretivas são caras e difíceis de implementar (DAWOOD et al., 2009).

Neste sentido, modelos de informação em BIM podem fornecer várias vantagens, dada a riqueza da informação sobre os objetos necessária para executar análises energéticas e outras análises ambientais (EASTMAN et al., 2014). Um modelo BIM contém a geometria exata e os dados relevantes, necessários para dar suporte à construção, à fabricação e ao fornecimento de insumos necessários para a realização da construção (EASTMAN et al., 2014). Ele pode ser uma ferramenta importante na obtenção de edifícios sustentáveis e oferece benefícios em todas as fases do ciclo de vida de um projeto de construção (BECERIK-GERBER; KENSEK, 2010). BIM é definido como "[...] um conjunto interrelacionado de políticas, processo e tecnologias" (SUCCAR, 2009, p.357). A pesquisa atual situa-se no campo do processo, no sub-campo de atividades e fluxos de trabalho, conforme demonstra a Figura 1.

Figura 1 – Campo de atuação BIM adotado na pesquisa

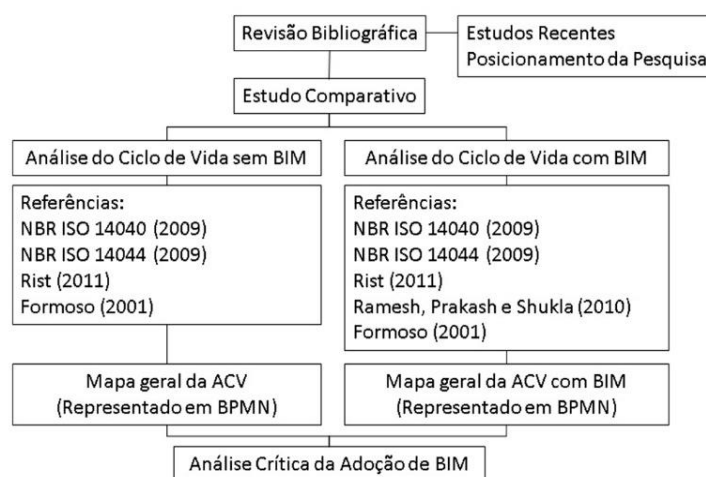


Fonte: adaptado de Succar (2009)

O objetivo do presente artigo é explicitar os impactos da adoção de BIM no processo de avaliação de ciclo de vida de edificações a partir do monitoramento de dois indicadores: energia (*life cycle embodied energy* - LCe_e) e emissões de gases efeito estufa (*life cycle embodied greenhouse gas emissions* - LCe_{ghg}) incorporadas dentro do limite de sistema do berço às chaves. Para tanto, foi realizada uma pesquisa comparativa através do desenho de mapas de processo de avaliação destes dois indicadores, com e sem adoção de BIM.

Para tanto, a pesquisa foi realizada em duas etapas. Inicialmente, uma revisão sistemática de literatura (RSL) permitiu identificar, avaliar e interpretar os estudos atuais e relevantes na interseção dos campos de BIM e ACV; posicionar esta contribuição e auxiliar no desenvolvimento dos fluxos de trabalho de ACV estudados. Concluída a RSL, procedeu-se a segunda etapa da pesquisa, centrada na pesquisa comparativa entre fluxos de trabalho de ACV com e sem auxílio de BIM, tomando como objeto um processo de planejamento de execução de projeto BIM para avaliação do consumo de energia incorporada do berço à entrega de uma edificação (Figura 2).

Figura 2 – Esquema no método utilizado na pesquisa



Fonte: O autor

2 ETAPA 1 | IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE ESTUDOS RECENTES SOBRE INTEGRAÇÃO DE BIM E ACV

A revisão sistemática de literatura (RSL), proposta por Kitchenham e Charters (2007), é uma forma de estudo secundário que utiliza um protocolo bem-definido para identificar, analisar, e interpretar todas as evidências disponíveis relacionadas a uma questão de pesquisa definida, de forma que seja livre de tendências e, na extensão possível, reproduzível.

A estratégia de pesquisa adotada na RSL realizada foi a busca em bases de dados digitais relevantes na área de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), de artigos contendo BIM e LCA (*Life Cycle Assessment*) em seus resumos. As bases consultadas foram Engineering Village, Web of Science, Avery, ASCE Library e IEEE Explorer. O critério de exclusão foi o ano de

publicação da norma brasileira de ACV (2009), a fim de prevalecer a atualidade da revisão. Artigos anteriores foram excluídos.

Esta busca inicial retornou dezoito resultados, dos quais seis foram excluídos por se tratarem de repetições de um mesmo trabalho em diferentes bases de dados, e outros quatro, devido à impossibilidade de acesso aos textos. Um novo filtro foi aplicado através de uma estratégia de extração de dados, compreendendo: Autor, Ano, Objetivo, Método, Desenvolvimento, Resultados, Conclusão e Considerações Finais. Com isso, verificou-se que dois artigos abordavam ACV ou BIM isoladamente, sem o desejado foco conjunto nos dois temas, e foram também excluídos da análise.

Dawood et al. (2009) realizaram pesquisa bibliográfica com o objetivo de fornecer uma visão global do conhecimento e tecnologias na área de BIM/ACV. E perceberam: que as ferramentas de avaliação atuais são usadas somente depois que os edifícios são totalmente projetados e, portanto, as decisões corretivas são caras e difíceis de implementar; e que as ferramentas podem ser usadas para detectar e calcular o consumo de energia, mas nem sempre como um método para reduzi-lo.

Diaz e Anton (2014) também realizaram pesquisa bibliográfica na área e perceberam que um dos maiores problemas da ACV convencional é o longo tempo consumido e que, por isso, deveria haver um link entre o modelo BIM e a base de dados ACV. Num primeiro momento, algumas informações de parâmetros ambientais poderiam ser inclusas nos objetos BIM. Neste caso, o projetista poderia considerar aspectos ambientais durante o processo de escolha dos materiais.

Jrade e Jalaei (2013) apresentaram uma metodologia de integração entre BIM e ACV, através do desenvolvimento de um modelo que incorpora um banco de dados no qual as informações sobre materiais sustentáveis são armazenadas e ligadas a um módulo BIM, juntamente com um módulo de ACV e um módulo de certificação e custo. A pontuação que o material pode obter através da certificação LEED pode ser adicionada à biblioteca BIM, possibilitando ao projetista a escolha do material menos impactante. O modelo proposto não é totalmente automatizado, pois os usuários ainda têm que fazer algumas etapas manualmente, tais como a ligação do banco de dados dos materiais, vinculando informações do modelo com as ferramentas de ACV, e para os cálculos de estimativa de custos.

Kulahcioglu et al. (2012) desenvolveram um protótipo de software para integrar BIM e ACV. O arquivo IFC foi exportado para o programa BLENDER, que permite a programação em Python, porém apenas informações referentes à geometria do modelo foram exportadas e, para uma ACV completa, mais dados são necessários. O protótipo BIM-ACV desenvolvido permitiu atenuar alguns problemas da ACV, tais como a consistência dos dados e compatibilidade entre projetos.

Ao desenvolverem um método para integrar um software BIM (Dprofiler) com software de ACV (SimaPro), de simulação energética (eQUEST) e de análise de sensibilidade (ModelCenter), Basbagill et al. (2013) verificaram que o

único software que permite a exportação direta de um modelo BIM é o eQUEST, enquanto todos os demais não possuem interoperabilidade com software BIM.

Finalmente, Stadel et al. (2011) discutiram a experiência de combinar BIM e ACV em disciplinas da graduação e pós-graduação na Universidade de Drexel. Os estudantes utilizaram software BIM (Revit) e um software de ACV (SimaPro 7), bem como os plug-ins Green Building Studio (GBS) e Integrated Environmental Solutions Virtual Environment Revit (IES-VE). Alguns dos desafios de combinar ferramentas de software incluem agregação de dados e erros de transferência na exportação de dados de um modelo para outro. Os autores concluíram que, apesar de a ferramenta BIM agilizar a execução da ACV, através da extração de quantitativos de materiais a partir do modelo BIM, os resultados da comparação entre as emissões de GHGs estimadas pelos plug-ins GBS e IES-VE mostraram inconsistências.

3 ETAPA 2 | DESENHO COMPARATIVO DE FLUXOS DE TRABALHO

A pesquisa comparativa entre fluxos de trabalho de ACV com e sem auxílio de BIM, tomou como base o desenvolvimento de um processo de planejamento de execução de projeto BIM para avaliação do consumo de energia incorporada do berço à entrega da edificação (*cradle to keys*). Para tal, realizou-se revisão bibliográfica a fim de embasar no desenvolvimento dos fluxos de trabalho, apresentados através da notação BPMN (*Business Process Model and Notation*) que consiste em uma notação gráfica desenvolvida pelo Object Management Group (OMG) que tem como objetivo fornecer uma notação gráfica padrão e compreensível por todos os agentes interessados (OBJECT MANAGEMENT GROUP, 2011).

Para o desenho do mapa geral da ACV foram utilizadas as fases normatizadas pelas NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009), sendo estas: objetivo e definição do escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação; um fluxograma detalhado das etapas da ACV, com foco na coleta de dados de inventário, proposto por Rist (2011, p.26) e os agentes integrantes do processo de projeto, apontados por Formoso (2001).

Para o desenho do mapa geral da ACV com a adoção de BIM, utilizou-se o mapa de processo para Análise do Custos (*Life Cycle Cost – LCC*) do ciclo de vida baseado em BIM, representado em BPMN, proposto por Rist (2011, p.109). Este mapa foi adaptado para a avaliação do consumo de energia incorporada do berço à entrega da edificação, a partir das NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009), da tabela proposta por Ramesh, Prakash e Shukla (2010), que explicita as fontes dos dados necessários para a realização de uma ACV, e mantidos os agentes integrantes do processo de projeto, como proposto por Formoso (2001).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta o fluxo de trabalho de um processo de projeto *sem avaliação de energia e emissões GHG incorporadas ao longo do ciclo de vida da edificação*. Num primeiro momento, o cliente solicita o projeto ao projetista, que geralmente é o arquiteto, passando os requisitos necessários para o seu desenvolvimento. Formoso (2001, p.65) mostra em seu fluxograma que após o desenvolvimento do projeto arquitetônico 2D, este é passado para os engenheiros civil, elétrico, hidráulico e outros projetistas, para que cada um elabore o seu respectivo projeto. Após uma análise inicial de compatibilidade entre projetos, o projeto executivo é então passado ao analista ACV, que realiza a avaliação com base nas informações coletadas nos documentos de projeto.

O analista primeiramente estabelece o objetivo e define o escopo da ACV. Assim, procede-se à etapa de Análise de Inventário do Ciclo de Vida (ICV). O analista realiza a coleta de dados a partir dos projetos 2D. Estes dados são validados, relacionados por unidade de processo e agregados. A coleta de dados pode ser um processo que demanda muitos recursos. De acordo com a NBR ISO 14044 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009), a análise de inventários é um processo iterativo, pois à medida que dados são coletados e se amplia o conhecimento sobre o sistema, novos requisitos ou limitações dos dados podem ser identificados, requerendo mudança nos procedimentos de coleta de dados, de modo que os objetivos do estudo possam ainda ser satisfeitos. A partir desta coleta, é realizada a avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV), que tem como objetivo estudar a significância dos impactos ambientais potenciais, utilizando os resultados do ICV.

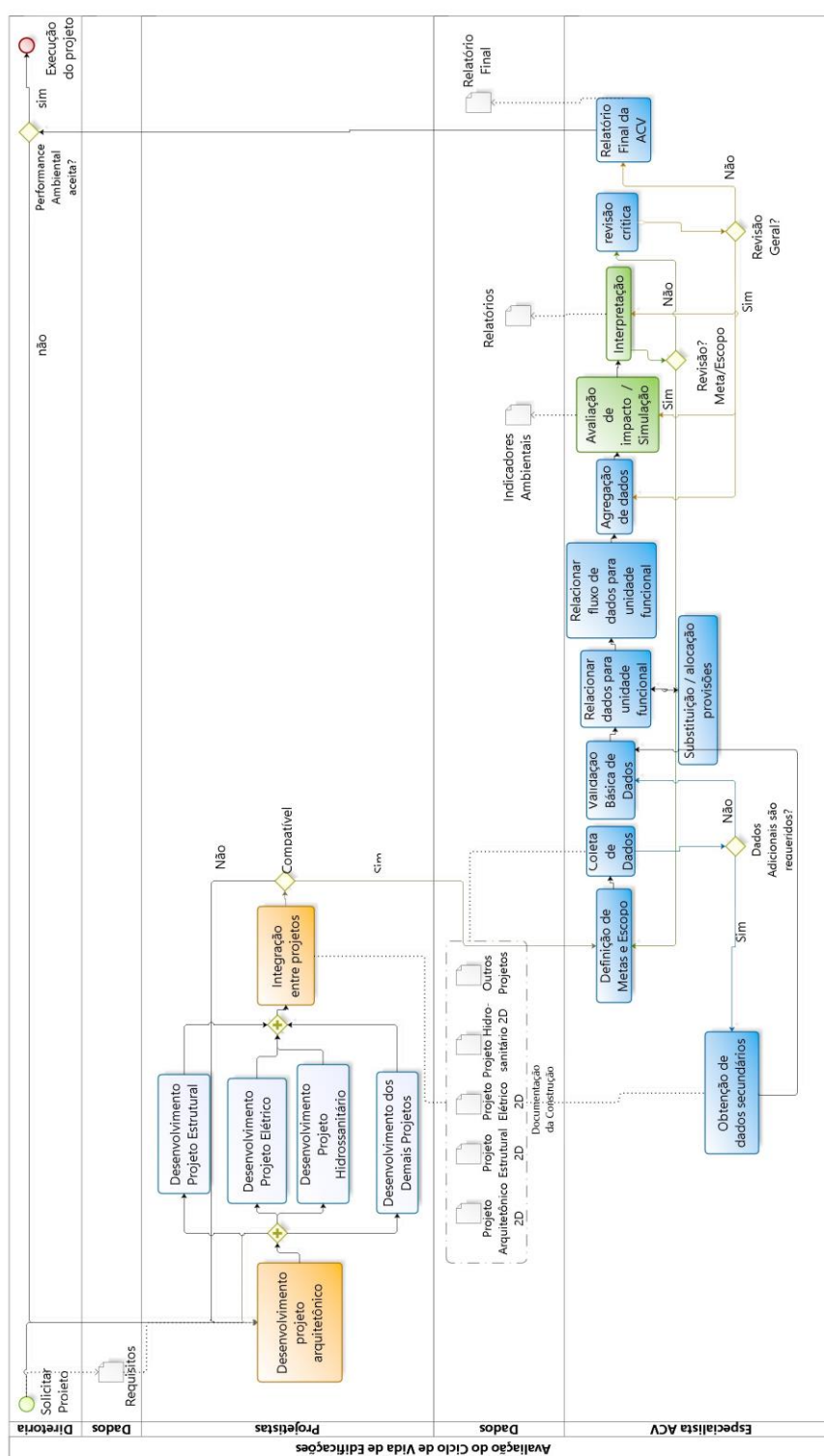
Procede-se, então, à interpretação dos resultados. Caso se verifique a necessidade de revisão da meta ou escopo, a ACV volta ao início da avaliação. Caso contrário é feita uma revisão crítica, em que verifica-se a necessidade de revisão dos resultados, cálculos, interpretação ou relatório. Caso haja a necessidade de revisão em qualquer um destes pontos, o processo retorna ao ponto referido; caso contrário, o relatório final da ACV é emitido e encaminhado ao cliente. Se o desempenho ambiental não for aceito, o projeto retorna ao arquiteto para revisão. Do contrário, avança-se para a etapa de execução (RIST, 2011).

Já no fluxo de trabalho apresentado na Figura 4, as metas e usos do BIM para ACV são determinadas logo no início do processo de projeto e repassadas para o time de projeto, que gera modelos de informação integrada. Cada agente do time de projeto elabora o seu respectivo modelo e planilha com as informações necessárias para a realização da ACV, de acordo com a meta e o escopo anteriormente definidos.

O projeto BIM é então encaminhado para o analista ACV, que extrai dos modelos e planilhas todos os dados necessários para a avaliação do consumo de energia incorporada do berço à entrega da edificação, sendo estes: os quantitativos de materiais de construção, distâncias médias de

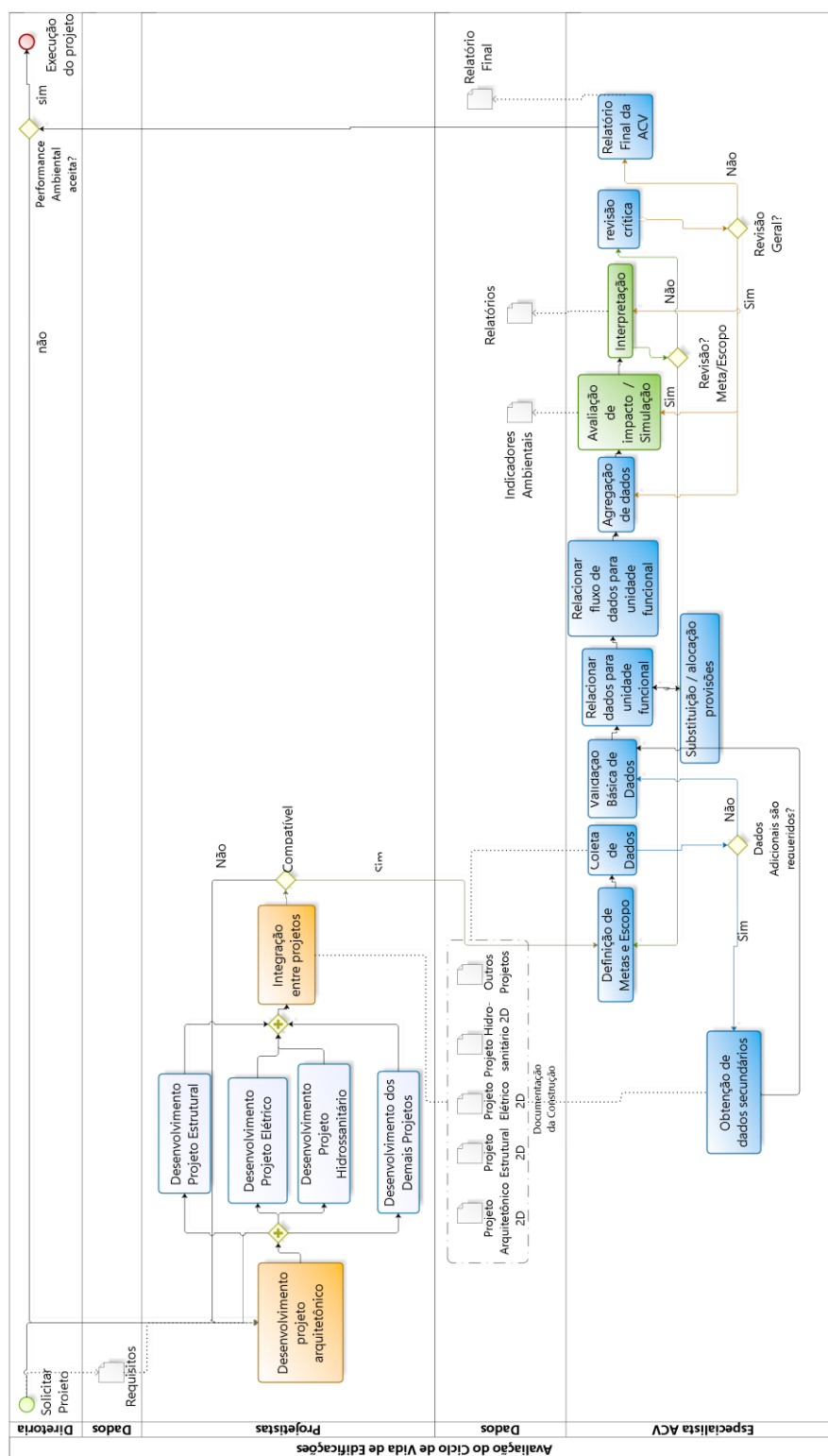
transportes de materiais e energia utilizada durante a etapa de construção (RAMESH; PRAKASH; SHUKLA, 2010; GOMES, 2014). Logo após, é feita a validação básica de dados, que são relacionados por unidade de processo e agregados.

Figura 3 – Fluxo de trabalho de avaliação de (energia e emissões GHG) incorporadas no) ciclo de vida de edificações



Fonte: O autor

Figura 4. Fluxo de trabalho de avaliação de energia incorporada no ciclo de vida de edificações com adoção de BIM (BIM4LCA)



Fonte: O autor

A partir da avaliação de impactos, chega-se aos resultados da ACV e, de sua interpretação, ao relatório da avaliação (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009). Nesta etapa, caso haja a necessidade de revisão

da meta ou escopo, retorna-se ao time de projeto, para sua adaptação de acordo com a revisão proposta. Caso contrário, o processo segue para a revisão crítica, quando verifica-se a necessidade de revisão dos resultados, cálculos, interpretação ou relatório. Se necessário, o processo retorna ao ponto de revisão; caso contrário procede-se à execução do relatório final da ACV (RIST, 2011).

O relatório final da ACV é então repassado ao cliente. Se o relatório for aceito, procede-se ao desenvolvimento do projeto. Do contrário, retorna ao time de projeto, que novamente adapta o projeto até que seja alcançado o desempenho esperado.

5 CONCLUSÃO

Esta pesquisa soma-se aos trabalhos que buscam integrar BIM e ACV, proporcionando uma contribuição teórica para o tema em questão e auxiliando no desenvolvimento de novas pesquisas nesta área.

A Revisão Sistemática de Literatura desenvolvida revelou que do total de 18 artigos encontrados, apenas seis abordavam ACV e BIM conjuntamente. Dawood et al. (2009) e Diaz e Anton (2014) realizaram pesquisa bibliográfica na área e perceberam que a integração entre BIM e ACV ainda que desejável não é completa. Basbagill et al. (2013) discutiram sobre a interoperabilidade entre softwares, Stadel et al. (2011) discutiram a experiência em disciplinas de graduação e de pós-graduação, e Kulahcioglu et al. (2012) e Stadel et al. (2011) propuseram a criação de novos artefatos.

Destes seis artigos selecionados, quatro trataram de tentativas de integração entre ACV e BIM e os demais realizaram pesquisa bibliográfica na área. Apesar de BIM mostrar-se uma ferramenta inovadora e que pode facilitar o processo de avaliação do ciclo de vida de edificações, todos os estudos realizados verificaram que a integração entre BIM e ACV, ou é inexistente, ou ainda apresenta muitos desafios. Isto revela que o tema é tão promissor quanto incipiente.

O desenvolvimento de mapa de processo em ACV com adoção do BIM evidenciou os pontos em que BIM pode impactar e auxiliar na avaliação de energia incorporada em parte do ciclo de vida (*cradle to keys*) de edificações. Os principais impactos da adoção de BIM na avaliação de energia incorporada e emissão de GHGs no ciclo de vida de edificações estão no processo de projeto em si e no procedimento de coleta de dados para ACV, particularmente no reordenamento das atividades desenvolvidas e na adição e alteração das informações trocadas, já os agentes envolvidos não sofreram alterações.

Em sua forma atual, no fluxo de trabalho de avaliação de energia e emissões GHG incorporadas no ciclo de vida de edificações, os processos de projetar e de realizar a ACV desenvolvem-se isoladamente: o projeto é elaborado pela equipe de projeto, que geralmente não considera a ACV desde as

etapas iniciais. Depois, este é passado para o analista ACV, que muitas vezes possui grande dificuldade na extração de informações devido à falta de compatibilidade entre os projetos e à falta de informações fundamentais para a realização da ACV.

Já no fluxo de trabalho da mesma avaliação com adoção de BIM (BIM4LCA), os modelos de informações já são gerados de acordo com as metas e os objetivos da ACV, previamente estabelecidos desde a concepção do projeto. Como o time de projeto pode trabalhar de forma integrada, a extração automática de dados para a ACV torna-se potencialmente mais precisa e consistente. A aplicação do mapa de processo BIM4LCA, desenvolvido neste estudo, permite ao projetista analisar o impacto ambiental de decisões de projeto a partir de uma visão integrada e que abrange todo o ciclo de vida da edificação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro concedido pela CAPES.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14040**: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14044**: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

BASBAGILL, J.; FLAGER, F.; LEPECH, M.; FISCHER, M. Application of life-cycle assessment to early stage building design for reduced embodied environmental impacts. **Building and Environment**, v. 60, p. 81–92, 2013.

BECERIK-GERBER, B.; KENSEK, K. Building Information Modeling in Architecture, Engineering, and Construction: Emerging Research Directions and Trends. **Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice**, v. 136, n. 3, p. 139–147, 2010.

DAWOOD, S.; LORD, R.; DAWOOD, N. Development of a visual whole life-cycle energy assessment framework for built environment. , **Proceedings... Winter Simulation Conference**. p.2653–2663, 2009.

DIAZ, J.; ANTON, L. Sustainable Construction Approach through Integration of LCA and BIM Tools. **Computing in Civil and Building Engineering**. p.283–290, 2014.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **Manual de BIM**: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Tradução: AYRES FILHO, C. G.; CÉSAR JÚNIOR, K. M.; FERREIRA, R.C.; FERREIRA, S.L.– Porto Alegre: Bookman, 2014.

FORMOSO, C. T. (org.). **Gestão da Qualidade na Construção Civil**: estratégias e melhorias de processos em empresas de pequeno porte: relatório de pesquisa, Editoração. [de] Denise Pithan. -- Porto Alegre: UFRGS/PPGEC/NORIE, 2001.

JRADE, A.; JALAEI, F. Integrating building information modelling with sustainability to design building projects at the conceptual stage. **Building Simulation**, v. 6, n. 4, p. 429–444, 2013.

GOMES, V.; SAADE, M.R.M. ; LIMA, B. W. F. ; MININEL, L. S. ; SILVA, M. G. . Life beyond operational stage: exploring lifecycle zero energy definitions. In: iSBE Net Zero Built Environment 2014 Symposium, 2014, Gainesville - FL. **Proceedings...** iSBE Net Zero Built Environment 2014 Symposium. Gainesville - FL: University of Florida, Powell Center for Construction & Environment, 2014. v. 1. p. 499-517.

KITCHENHAM, B.; CHARTERS, S. **Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering**. UK, 2007.

KULAHCIOGLU, T.; DANG, J.; TOKLU, C. A 3D analyzer for BIM-enabled Life Cycle Assessment of the whole process of construction. **Hvac&R Research**, v. 18, n. 1-2, p. 283–293, 2012.

OBJECT MANAGEMENT GROUP. **Business Process Model and Notation (BPMN)** - version 2.0. [s.l.] OMG, 2011.

RAMESH T.; PRAKASH, R.; SHUKLA, K.K. Life cycle energy analysis of buildings: An overview. **Energy and Buildings**, v. 42, p. 1592–1600, 2010.

RIST, T. A path to BIM-based LCA for whole-buildings. **Master**, Spring: Norwegian University of Science and Technology, 2011.

STADEL, A.; EBOLI, J.; RYBERG, A.; MITCHELL, J.; SPATARI, S. Intelligent sustainable design: Integration of carbon accounting and building information modeling. **Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice**, v. 137, n. 2, p. 51–54, 2011.

SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, v. 18, n. 3, p. 357–375, 2009.