

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/321978096>

# Interoperabilidade de Ferramentas para BIM e Avaliação do Ciclo de Vida de Edificações

Conference Paper · November 2017

CITATION

1

READS

1,155

5 authors, including:



**Julianna Crippa**

Federal University of Technology - Paraná/Brazil (UTFPR)

20 PUBLICATIONS 118 CITATIONS

SEE PROFILE



**Letícia Uehara**

Universidade Federal do Paraná

5 PUBLICATIONS 5 CITATIONS

SEE PROFILE



**Thais Vieira Lopes**

Universidade Federal do Paraná

2 PUBLICATIONS 7 CITATIONS

SEE PROFILE



**Sergio Scheer**

Universidade Federal do Paraná

185 PUBLICATIONS 589 CITATIONS

SEE PROFILE



1º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção

10º Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção

8 a 10 de novembro de 2017 - Fortaleza - Ceará - Brasil

## INTEROPERABILIDADE DE FERRAMENTAS BIM E AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE EDIFICAÇÕES

**ARAUJO, Aline M. F. (1); CRIPPA, Julianna (2); UEHARA, Letícia K. S. (3), LOPES, Thais V. (4), SCHEER, Sergio (5)**

(1) Mestranda, Universidade Federal do Paraná (UFPR), e-mail: aline.mfaraujo@hotmail.com, (2) Mestranda, UFPR, e-mail: julianna.crippa@gmail.com, (3) Mestranda, UFPR, e-mail: leticia.uehara@ufpr.br, (4) Mestranda, UFPR, e-mail: thaisvielo@gmail.com, (5) Prof. Doutor, UFPR, e-mail: scheer@ufpr.br

### RESUMO

Pesquisas relacionadas à sustentabilidade na indústria da AEC estão constantemente presentes no meio acadêmico. Enquanto isso, o uso de ferramentas e modelos em BIM vem crescendo mundialmente no desenvolvimento de projetos de edificações e infraestrutura. A ACV dimensiona e caracteriza os efeitos resultantes de construções no meio ambiente, levando em consideração os impactos durante todo ciclo de vida da edificação. O uso da modelagem da informação da construção permite realizar análises complexas, extrair parâmetros e a simular o ciclo de vida de edificações ainda durante o projeto, facilitando assim a tomada de decisão em projetos que visam à redução de impactos ambientais. Desse modo, este trabalho realizou uma revisão sistemática da literatura para identificar estudos que relacionam ACV e ferramentas BIM, com o objetivo de investigar a abrangência destas pesquisas, quais métodos têm sido desenvolvidos neste sentido e, principalmente, como ocorre a interoperabilidade entre os softwares utilizados em cada método. Selecionou-se 17 artigos científicos que estabelecem métodos de interoperabilidade das ferramentas BIM e ACV. Observou-se que, na opinião da maioria dos autores, os métodos ainda apresentam alta complexidade, muitas vezes são bastante trabalhosos e têm foco principal nas áreas de pesquisas e consultorias.

**Palavras-chave:** Modelagem da Informação da Construção, Análise de Ciclo de Vida, ACV, BIM.

### ABSTRACT

*Sustainability researches in the Architecture, Engineering and Construction (AEC) industry are constantly present in academia. Meanwhile, use of tools and models in BIM has been growing worldwide in the development of building and infrastructure projects. The Life Cycle Assessment (LCA) measure and identifies the resulting construction effects on environment, taking into account the impacts throughout buildings whole life cycle. Building Information Modeling (BIM) allows complex analysis, parameters extraction and simulation of the building life cycle, even during the project, therefore facilitating design decisions that aim to reduce environmental impacts. This work performs a systematic literature review to identify papers that relates LCA and BIM tools, in order to investigate the extension of these researches, which methods have been developed related to this, and moreover, how works the interoperability between the software used in each method. It was selected 17 scientific papers that established methods of interoperability between BIM and LCA tools. It was noticed that, in the opinion of most authors, the methods still presents high complexity, are usually laborious and have the main focus in the research and consultancy areas.*

**Keywords:** Building Information Modeling, Life Cycle Assessment, LCA, BIM

## 1 INTRODUÇÃO

No atual cenário global, é notório o impacto negativo sobre o meio ambiente causado

pelas atividades da indústria da construção civil acumuladas ao longo dos anos. Além dos critérios considerados nos projetos, como construtibilidade e custo, é visto uma evolução na preocupação quanto à sustentabilidade. Em paralelo a isso, a Modelagem da Informação da Construção, ou *Building Information Modeling* (BIM), vem tomando um espaço cada vez maior dentro dos escritórios de projetos em Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). A tecnologia BIM tem como principais propostas a otimização de processos de projeto e a colaboração interdisciplinar. Ao relacionar a sustentabilidade com a tecnologia da informação, obtém-se uma área de desenvolvimento que parece muito promissora. A integração de ferramentas de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) com modelos BIM possibilita estimativas complexas de impactos ambientais através de métodos mais eficientes e aplicáveis pelos projetistas.

A ACV ou em inglês *Life Cycle Assessment* (LCA), é reconhecida pela ISO 14040 (2006) como um método que analisa todas as fases de um produto e todos os processos interativos que o compõe. Ciclo de vida são os estágios sucessivos e encadeados de um produto. Em cada um dos estágios são contabilizadas as entradas e saídas de materiais, energia, produtos e emissões. A ACV no setor da construção dimensiona e caracteriza os efeitos resultantes de construções no meio ambiente, levando em consideração os impactos desde a extração das matérias, transporte, concepção da edificação até o descarte final dos seus insumos. Realizar uma ACV em edifícios inteiros é uma tarefa exaustiva devido a trabalhos de natureza manual e repetitiva (MONICH, 2012).

BIM é uma tecnologia de modelagem que apresenta todo o conjunto real do edifício, uma vez que considera todas informações digitalizadas e relacionadas ao projeto, fornecendo desenhos conceituais e detalhados (FLORIO, 2007). O BIM é um ramo da tecnologia da informação aplicada à construção civil, materializada em softwares que oferecem novas funcionalidades aplicáveis a todo ciclo de vida de um empreendimento. Os softwares BIM não são ferramentas que possibilitam apenas a modelagem e visualização gráfica em 3D, mas também apresentam soluções baseadas em objetos paramétricos e inteligentes que permitem atualizações automáticas (CBIC, 2016).

Apesar de já existirem pesquisas que integrem ACV e BIM, são raros os estudos que de fato desenvolveram e testaram metodologias de forma prática. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo discutir e avaliar métodos estabelecidos por diversos autores para realizar ACV de edificações em modelos BIM. Desta forma, será possível realizar uma análise de como ocorre a interoperabilidade entre diferentes ferramentas. Segundo Eastman et al. (2011), a interoperabilidade, ou forma de intercâmbio de dados entre duas aplicações BIM diferentes pode ser feito através de ligações diretas e proprietárias entre ferramentas específicas, através de formatos de arquivos de intercâmbio proprietários ou públicos, e também por formatos de intercâmbio baseados em XML.

## 2 METODOLOGIA

A metodologia utilizada nesta pesquisa foi a Revisão Sistemática da Literatura (RSL) a partir das bases de dados online: *Web of Science*, *Science Direct* e Portal de Periódicos CAPES/MEC. Segundo Galvão e Pereira (2014) os métodos para realizar uma revisão sistemática preveem: elaboração de pergunta de pesquisa; busca pela literatura; seleção dos artigos; extração de dados; avaliação da qualidade metodológica; metanálise; avaliação da qualidade das evidências e; redação dos resultados. Na presente pesquisa, a pergunta definida para realizar a RSL foi: Quais são os meios utilizados para realizar ACV de edificações durante a etapa de projeto e planejamento com softwares BIM?

Foram testadas buscas com algumas palavras chaves (“*Building Information Modeling*”,

“BIM”, “LCA” e “*Building*”), resultando em 15 mil artigos. Em seguida, foram aplicados filtros com o intuito de reduzir o número de artigos encontrados, conforme apresenta o Quadro 1. A pesquisa nas bases de dados abrangeu artigos de periódicos e congressos publicados até o ano de 2015, excluindo livros e outros materiais. Ainda na etapa de seleção do artigos, após a primeira triagem através da aplicação dos filtros, foi adotado o método de exclusão com base na leitura dos resumos ou abstract. Por fim, foram lidos todos os artigos que não foram recusados pelos filtros e critérios de exclusão. A partir disto, foi possível selecionar as pesquisas que contribuem para responder a pergunta de pesquisa, e mais especificamente, foram analisados os diferentes métodos e como ocorre a interoperabilidade entre ferramentas utilizadas.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Resultados da RSL

Foram selecionados os artigos que preenchiam os seguintes critérios: abordaram de forma específica e contextualizaram ACV de edificações em modelos BIM e/ou desenvolveram, analisaram ou testaram métodos através da aplicação de softwares. Foram excluídos os artigos em duplicidade (108 artigos), os que não se encontram disponíveis online (6 artigos), e os que não relacionam diretamente ACV com BIM ou possuíam foco mais direcionado para aspectos mais amplos da sustentabilidade (345 artigos). Do total dos 27 artigos que foram lidos na íntegra, 10 deles foram rejeitados. Sendo assim, foram selecionados, por fim, 17 artigos que atendiam aos critérios anteriormente definidos. O Quadro 1 apresenta os resultados do número de artigos encontrados na busca com as palavras chaves e aplicação de filtros.

**Quadro 1 – Resultados obtidos com aplicação de filtros**

Resultados com Filtros Aplicados: título, palavras chaves e resumo				
Palavras chaves	Base de dados			Total
	Science Direct	Portal da Capes	Web of Science	
BIM e <i>Environmental</i>	31	8	136	175
BIM e “ <i>Early Stage Design</i> ”	1	4	2	7
BIM e <i>Sustainability</i>	9	5	70	87
BIM e <i>LCA</i>	8	5	19	32
<i>LCA; Building e Planning</i>	8	15	98	121
BIM; <i>Sustainability e Decision</i>	10	4	26	40
BIM; <i>LCA e “Life Cycle”</i>	2	7	18	27
Total	69	48	369	486

Fonte: Os autores 2017

#### 3.2 Avaliação das pesquisas selecionadas e métodos desenvolvidos

Selecionou-se 4 artigos que, apesar de não aplicarem um método de ACV relacionado ao BIM, apresentaram considerações significativas sobre o assunto. Yung e Wang (2014), Alwan e Jones (2014) e Anton e Diaz (2014) defendem que a ACV aplicada em modelos BIM pode possibilitar grandes benefícios no contexto da sustentabilidade e precisam ser utilizadas em fases iniciais, integradas no processo de tomada de decisões, a fim de alcançar uma visão holística do projeto, agregando valor ao mesmo. Dentre as vantagens de integrar BIM a ACV estão: inserção do dado uma única vez; comparação de diferentes

alternativas; obtenção de resultados mais precisos; utilização de diversos indicadores ambientais simultaneamente; avaliação em tempo real. Dentre as desvantagens, pode-se citar: o desenvolvimento da ACV não está inserido na tecnologia BIM, portanto, a interoperabilidade entre os modelos BIM e ferramentas de ACV ainda precisa ser melhor desenvolvida. Ariyaratne e Moncaster (2014) constataram que os projetistas vêm reconhecendo a necessidade de abordar aspectos ambientais da construção e que existem algumas ferramentas disponíveis no mercado que procuram atender a estes requisitos. Contudo, tais ferramentas foram apontadas como pouco flexíveis, difíceis de serem adotadas por um grande número de profissionais nos estágios iniciais do projeto, principalmente devido à extensiva quantidade de dados que precisam ser inseridos manualmente. Os autores apontaram também que a falta de conhecimento dos profissionais da área de construção civil em relação à energia embutida e emissão de CO<sub>2</sub> é um fator complicador.

O Quadro 2 apresenta os 13 artigos restantes que apresentaram métodos para realizar uma ACV em BIM de forma prática. A partir disso, avaliou-se como se deram os processos de interação entre as diferentes ferramentas utilizadas, e quais as principais facilidades e dificuldades encontrados em cada método.

De forma geral, os autores utilizaram os modelos BIM desenvolvidos para calcular de forma automática os quantitativos dos materiais que compuseram as construções, para posteriormente aplicar tais valores a banco de dados externos com índices de impacto ambiental. O software mais utilizado para modelagem BIM foi o Revit. Alguns métodos utilizaram ferramentas para simular o consumo energético de uma edificação durante a fase operacional do ciclo de vida. Para a realização desta etapa, diversos autores tentaram exportar o modelo BIM, ou o modelo 3D diretamente para o software de simulação energética através de formatos de arquivo compatíveis ou com o auxílio de plug-ins. Porém, em alguns casos, o processo de exportação não foi possível, ou apresentou falhas, então, foi necessária a realização de nova modelagem no próprio software de simulação. Em outros métodos foram incluídos softwares específicos de ACV, os quais possuem bases de dados com índices de impactos ambientais para cada material. O SimaPro, por exemplo, é uma ferramenta para realização de ACV que pode abranger diversos setores, já o Athena Ecocalculator e GABI são específicos para ACV de edificações. O problema é que nenhum deles é totalmente compatível com a tecnologia BIM, e portanto, quando tais ferramentas foram utilizadas, foi necessário inserir os dados, com o auxílio de planilhas eletrônicas e ferramentas de apoio para compilação e organização de dados.

Jrade e Abdulla (2012) descreveram um protótipo desenvolvido e validado por meio da ferramenta Athena EcoCalculator. Esta ferramenta é baseada em planilhas eletrônicas do Excel. Os dados foram transferidos do modelo BIM desenvolvido no Revit através do formato IFC e organizados com o auxílio de macros no Excel. Segundo os autores, a ferramenta Athena utiliza dados e incorpora sistemas de construção apenas para o Canadá e EUA, o que impede a realização de uma ACV efetiva em outras localidades. Por outro lado, foi ressaltado que a ACV pode ser realizada com facilidade, necessitando habilidade somente no uso do Revit e do Excel. Jrade e Jalaei (2013) também testaram um método a partir do Revit, Athena e Excel porém, incluíram um módulo para certificação LEED e para o custo. A coleta de dados foi realizada a partir de componentes publicados pelos fornecedores, criando uma biblioteca com 3000 componentes. Os autores propõem um modelo simples, e de fácil utilização, onde as entradas dos usuários e previsões de erro são minimizadas, o que gera redução de tempo, velocidade nos cálculos e relatórios de saídas, entre outras vantagens. É descrita como principal desvantagem o fato do modelo não permitir a aplicação na fase de projeto executivo e detalhamento, uma vez que o

modelo armazena um banco de dados de informações apenas para os componentes mais comumente utilizados em projeto de construção.

**Quadro 2 – Artigos selecionados que desenvolveram ACV em BIM**

<b>Autores</b>	<b>Software</b>	<b>Categoria de impacto</b>	<b>Fronteiras</b>
Dawood, S.; Lord, R.; Dawood, N. (2009)	Revit; IES-VE; SimaPro7	Custo, emissão de CO <sub>2</sub> , consumo de energia, reciclagem e gerenciamento de resíduos, uso da terra	ACV completo
Kulahcioglu, T.; Dang, J.; Toklu, C. (2012)	Blender (python), GABI, SketchUp.	Energia, aquecimento global, emissão de CO <sub>2</sub> , acidificação.	ACV completo
Jrade, A; Abdulla, R (2012)	Revit, Excel, Athena	Consumo de energia, acidificação, aquecimento global, efeitos na saúde humana, depleção da camada de ozônio, smog fotoquímico, eutrofização, uso de recursos naturais.	ACV completo
Basbagill, J.; Flager, F.; Lepech, M.; Fischer, M. (2013)	Dprofiler, CostLab, eQUEST, SimaPro, Athena, Excel, ModelCenter, ScriptWrapper e Design Explorer	Emissão de CO <sub>2</sub>	Pré-operacional (excluindo construção), operacional e manutenção
Jrade, a.; Jalaei, F. (2013)	Revit, Excel, Athena	Consumo de energia, acidificação, aquecimento global, efeitos na saúde humana, depleção da camada de ozônio, smog fotoquímico, eutrofização, custo	Pré-operacional
Peng, C.; Wu, X. (2013)	Revit e Ecotect	Emissão de CO <sub>2</sub>	ACV completo
Shoubi, M. V.; Bagchi, A.; Barough, A. S. (2015)	Revit, Ecotect, 3DMax	Energia e emissão de CO <sub>2</sub>	Operacional
Krantz, J.; Larsson, J.; Lu, W.; Olofsson, T. (2015)	Revit, SimioDES	Energia e emissão de CO <sub>2</sub>	Pré-operacional
Liu, S.; Meng, X.; Tam, C. (2015)	Ecotect Analysis	Custo e emissão de CO <sub>2</sub>	ACV Completo
Inyim, P.; Rivera, J.; Zhu, Y. (2015)	SimuleICon, Revit, Microsoft Access, Athena	Tempo, custo e emissão de CO <sub>2</sub>	Pré-operacional
Shin, Y.; Cho, K. (2015)	ArchCAD, EcoDesigner e Excel	Custo e emissão de CO <sub>2</sub>	ACV Completo
Lee, S.; Tae, S.; Roh, S.; Kim, T. (2015)	Revit	Aquecimento global, acidificação, eutrofização, depleção abiótica, depleção da camada de ozônio e smog fotoquímico	ACV Completo
Oti, A. H.; Tizani, W. (2015)	Visual Studio e Revit Structures	Custo, emissão de CO <sub>2</sub> e impacto ecológico	ACV Completo

Fonte: Os autores 2017

Inyim et al. (2015), introduziram o SimuleICon, um utilitário que fornece a análise do impacto econômico e ambiental. Funciona como um add-on para Revit e utiliza o Microsoft Access para operar bancos de dados relacionados. O algoritmo genético NSGA-II, foi utilizado para a otimização, a fim de encontrar soluções em conformidade com os objetivos do projeto. A estimativa de emissão de CO<sub>2</sub> foi calculada com a base de dados do Athena. Com o SimuleICon é possível encontrar as melhores soluções para todos os componentes ou apenas para componentes específicos, apoiando o processo de tomada de decisão. A limitação do método é que o plug-in considera apenas três principais

objetivos (tempo, custo e impacto ambiental) do projeto para a tomada de decisão. Dawood *et al.* (2009) desenvolveram um modelo BIM no Revit, no qual foram inseridas informações relacionadas à localização e orientação da edificação, arquitetura e propriedade físicas dos materiais, formas, pesos, entre outros. Depois, usando o IES-VE, foram acessadas as variáveis ambientais e de custos para analisar e comparar os impactos. O *software* pode comparar e contrastar como diferentes escolhas de projeto afetam o desempenho de uma ampla gama de elementos de construção, como o desempenho térmico, de fluxo de ar e iluminação e consumo de energia e emissão de CO<sub>2</sub>. Com o uso do o SimaPro 7, foram aplicados dados e variáveis nos componentes selecionados na etapa anterior. O método apresentou uma ferramenta genérica porém com diversos aspectos positivos, contemplando processos integrados, simulação do edifício completo, resultados quantitativos e qualitativos, além de possibilitar uma exportação de dados para o EnergyPlus.

Oti e Tizani (2015) desenvolveram um sistema protótipo que avalia três indicadores: custo, impacto ecológico e quantidade de CO<sub>2</sub> incorporado de diferentes sistemas estruturais. O sistema é implementado usando programação em C# (C Sharp) através do .NET Framework no Microsoft Visual Studio que funciona como um *add-in* do Revit Structures. O sistema avalia soluções alternativas de concepção usando análise de desempenho multicritério. O programa pode ser acessado pelo projetista durante a modelagem estrutural através de um *link* externo embutido no Revit. No estudo de Lee *et al.* (2015), foi definido o nível de detalhe do modelo, ou *level of detail* (LOD) igual a 300. Foi desenvolvida uma base de dados com os fatores e coeficientes de impactos embutidos para os 6 principais materiais de construção, adotando assim, uma abordagem baseada na ACV. As unidades da base de dados foram inseridas diretamente no Revit. A partir disto, foi possível gerar tabelas com os impactos embutidos totais em cada elemento da construção, permitindo que o usuário verifique os impactos de suas escolhas. Os resultados foram validados em comparação com os valores reais, resultando em um erro de 5%, provando, assim, que a ferramenta é eficaz.

Peng e Wu (2015) realizaram um estudo de caso combinando três métodos para estimar as emissões de CO<sub>2</sub> durante o ciclo de vida de um edifício de escritório. Os quantitativos de materiais foram gerados no Revit e o consumo de energia durante a fase operacional do edifício foi obtido por meio de simulação no Ecotect. Por fim, uma análise de sensibilidade foi realizada alterando parâmetros alternativos a fim de identificar o que causa maior impacto sobre o desempenho do edifício. As limitações encontradas incluem a dificuldade em determinar dados de fabricação de todos componentes da edificação e informação quanto à ocupação e consumos durante a fase operacional e fase de demolição. Os autores concluíram que os dois *softwares* utilizados não se integram completamente, não havendo sobreposição virtual em relação a ferramentas, terminologias e estrutura de dados, ainda que ambas as ferramentas tenham sido desenvolvidas pela Autodesk. O edifício foi modelado separadamente no Revit e no Ecotect, e segundo os autores, não existe fluxo direto de informação entre as ferramentas, porém não foi informado de que forma foi testado este fluxo. Por outro lado, em outra pesquisa que também utilizou os dois *softwares*, Shoubi *et al.* (2015) observaram que o Ecotect conseguiu identificar os elementos modelados no Revit. Primeiramente, foi necessário criar zonas e ambientes no modelo e exportar o arquivo no formato gbXML, no qual foram atribuídas características para a modelagem de energia (localização e tipo do edifício). No Ecotect, foram atribuídas características como atividade, tipo do sistema e variação de temperatura confortável. O 3D Max foi utilizado para identificar soluções de projeto alternativas que possam contribuir para a redução do consumo de energia.

Liu *et al.* (2015) desenvolveram um método de revisão de um algoritmo PSO, ou método do enxame de partículas, aplicado para procurar a relação inversa entre os custos e as emissões de CO<sub>2</sub> no ciclo de vida em projetos de construção. O modelo proposto considera fatores de desempenho térmico e de iluminação, simulados no Ecotect, e não abrange aquecimento, ar condicionado e ventilação. Os autores descrevem uma série de equações, baseadas em algoritmos PSO para determinar a otimização e criar um esquema de desenho de projeto ótimo, acelerando a velocidade de projeto. Para aplicação do método proposto, os autores criaram duas hipóteses: a única fonte de energia utilizada na fase de operação é a eletricidade, e presumiram que todos os materiais de construção vieram de áreas próximas. O modelo baseado em IFC, desenvolvido por Kulahcioglu *et al.* (2012), foi analisado através de uma interface de GABI. Como plataforma de implementação, foi utilizado o Blender, uma fonte aberta 3D de criação de conteúdo livre que funciona através de programação em Python. No entanto, como não há nenhuma maneira direta para importar arquivos IFC em Blender, o arquivo IFC foi convertido em um formato de arquivo intermediário KMZ (versão compactada do *Keyhole Markup Language*, obtida através de um *plug-in* usando o Sketchup), para em seguida ser importado para Blender. Embora tenham sido superados diversos problemas de entrada de dados e de precisão com o uso de dados em IFC, foi necessário realizar algumas conversões de dados e integração para tornar o método mais automático. E mesmo havendo uma rica fonte de dados, algumas informações e escolhas ainda foram necessárias por meio da entrada do usuário, principalmente dados considerados mais subjetivos.

Shin e Cho (2015) avaliaram uma maneira de obter informações de forma fácil e precisa a partir de um modelo desenvolvido no ArchiCAD, e posteriormente, desenvolveram uma estrutura baseada em planilhas do Excel para a implementação simultânea de ACV e Avaliação do Custo de Ciclo de Vida. Nesse método, foi utilizada uma extensão do ArchiCAD, o EcoDesigner para realizar simulações durante a fase de operação. Segundo os autores, não foi possível verificar a exatidão dos resultados encontrados nesta pesquisa. Enquanto isso, Basbagill *et al.* (2013) criaram um modelo BIM no DProfiler, que fornece um quantitativo de material detalhado e um relatório de análise de energia. O programa de simulação de energia, eQuest, foi utilizado para calcular o impacto dos equipamentos. O SimaPro auxiliou na obtenção dos impactos de CO<sub>2</sub>, assim como o Athena EcoCalculator. Uma rotina de Manutenção, Reparo e Substituição foi utilizada para determinar o impacto na fase operacional associado aos componentes do edifício, por meio de um banco de dados de referência de operações de facilidade *online*, o CostLab. Os dados foram extraídos manualmente dos outros *softwares* e as operações de cada interação foram realizadas no Excel. O ModelCenter faz uma análise de sensibilidade através da integração do DProfiler e do Excel em um ambiente comum, por meio do utilitário ScriptWrapper. E por fim, o Design Explorer permitiu que a análise de sensibilidade fosse desenvolvida em todos os modelos, a fim de determinar os valores limites de impacto incorporado para cada componente de edifício. Observou-se que o método utilizado não é totalmente integrado, porém, a integração pode ocorrer no DProfiler, que exporta o modelo automaticamente para o eQuest, sem a necessidade de interface com o eQuest; e o DProfiler e o Excel também podem se integrar por meio do ModelCenter.

Krantz *et al.* (2015) elaboraram um modelo especificamente adaptado para abordar a dinâmica de projetos de construção de infraestrutura. Este estudo usou BIM e DES (Discreta Simulação de Eventos) para avaliar o uso de energia e emissões de gases de efeito estufa. O modelo BIM gera dados de entrada (quantidades de componentes e materiais utilizados na construção) e o SimioDES é usado para modelar os processos de

construção no local. As limitações encontradas no método foram: o modelo considera apenas a energia incorporada do berço ao portão; o processo de obtenção e entrada de dados são relativamente complexos e demorados, porém é possível a reutilização desses dados em outros projetos; dificuldade na obtenção dos dados associado ao transporte de materiais e equipamentos; aspectos importantes foram deixados de fora e os resultados não foram validados.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De todos os artigos analisados houveram alguns destaques. Em um dos métodos descritos, o uso do SimuleICon foi apontado como sendo um diferencial, uma vez que é compatível com o Revit e funciona como um *plug-in* facilitando a operação e manuseio. Além disso, ele é um facilitador para tomada de decisão, e leva em consideração tempo, custo e impacto ambiental. Houveram metodologias que abordaram o uso do Ecotect. O interessante desta ferramenta é que além da ACV, pode-se fazer análises de iluminação, conforto térmico e etc. No entanto, apesar de ter sido parcialmente incorporado ao Revit e ao Green Building Studio, o Ecotect encontra-se atualmente indisponível no mercado, fazendo com que estas metodologias estejam ultrapassadas. Também é válido ressaltar o uso do Athena Ecocalculator, que apesar de possuir dados disponíveis apenas para dois países, pode ser operada no próprio Excel e, portanto, ao se fazer uma programação utilizando Macro é possível automatizar o processo de interoperabilidade das ferramentas com eficiência.

As abordagens utilizadas para avaliar os impactos ambientais através de ACV deveriam considerar todas as fases do ciclo de vida da construção. No entanto, a partir dos artigos verificados nesta revisão, foi observado que muitas abordagens de ACV atuais tendem a fazer suposições gerais, que não fazem justiça à dinâmica inerentes a projetos de construção, além disso, raramente consideram o período pós-operacional da edificação. Ao final das análises e comparações foi possível notar a complexidade dos métodos criados pelos autores selecionados neste trabalho. Os processos que visam automatizar e viabilizar a interoperabilidade das ferramentas BIM e ACV ainda são bastante voltados para pesquisadores e consultores. Sendo também muitas vezes trabalhosos e manuais, dificultando o acesso e a aplicação em escritórios de arquitetura e engenharia. Sugere-se, então, a criação de métodos mais fáceis e voltados principalmente para o mercado de AEC, assim como, o desenvolvimento de APIs (Application Programming Interface, ou em português, Interface de Programação de Aplicativos) no ambiente BIM que auxiliem a interoperabilidade com a ACV. Além disso, sugere-se estudos que analisem a viabilidade de implementação em escritórios, e que apresentem pesquisas de satisfação dos usuários.

#### REFERÊNCIAS

- ALWAN, Z.; JONES, P. The importance of embodied energy in carbon footprint assessment, **Structural Survey**, v. 32, n. 1, p. 49–60, 2014.
- ANTÓN, L. Á.; DÍAZ, J. Integration of Life Cycle Assessment in a BIM Environment. **Procedia Engineering**, v. 85, p. 26–32, 2014.
- ARIYARATNE, C.; MONCASTER, A. Stand-alone calculation tools are not the answer to embodied carbon assessment. **Energy Procedia**, v. 62, p. 150–159, 2014.
- BASBAGILL, J.; FLAGGER, 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.

- CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). Implementação BIM - Parte 1: Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras. Brasília, 2016.
- DAWOOD, S.; LORD, R.; DAWOOD, N. Development of a visual whole life-cycle energy assessment framework for built environment. In: 2009 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceedings... p.2653–2663, 2009.
- FLORIO, W. Contribuições do Building Information Modeling no processo de projeto em Arquitetura. In: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 3, 2007, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2007.
- GALVÃO, T. F.; PEREIRA, M. G. Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 23, n. 1, p. 183–184, 2014.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14040** - Environmental management - Life cycle assessment: Principles and framework. Genebra, 2006.
- INYIM, P.; RIVERA, J.; ZHU, Y. Integration of building information modeling and economic and environmental impact analysis to support sustainable building design. **Journal of Management in Engineering**, v. 31, n. 1, p. A4014002, 2014.
- JRADE, A.; ABDULLA, R. Integrating building information modeling and life cycle assessment tools to design sustainable buildings. In: CIB: 29TH INTERNATIONAL CONFERENCE., out. 2012, Beirut, Lebanon. Proceedings... Beirut, 2012.
- JRADE, A.; JALAEI, F. Integrating building information modelling with sustainability to design building projects at the conceptual stage. **Building simulation**. Springer Berlin Heidelberg, 2013. p. 429-444.
- KRANTZ, J.; LARSSON, J.; LU, W.; OLOFSSON, T. Assessing Embodied Energy and Greenhouse Gas Emissions in Infrastructure Projects. **Buildings**, v. 5, n. 4, p. 1156–1170, 2015.
- 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.
- LEE, S.; TAE, S.; ROH, S.; KIM, T. Green Template for Life Cycle Assessment of Buildings Based on Building Information Modeling: Focus on Embodied Environmental Impact. **Sustainability**, v. 7, n. 12, p. 16498–16512, 2015.
- LIU, S.; MENG, X.; TAM, C. Building information modeling based building design optimization for sustainability. **Energy and Buildings**, v. 105, p. 139–153, 2015.
- MONICH, C. R. **Avaliação Ambiental de uma habitação de interesse social pré-fabricada em madeira no sistema wood frame no estado do Paraná**. 2012. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia da Construção Civil da Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- OTI, A. H.; TIZANI, W. BIM extension for the sustainability appraisal of conceptual steel design. **Advanced Engineering Informatics**, v. 29, n. 1, p. 28–46, 2015.
- PENG, C.; WU, X. Case Study of Carbon Emissions from a Building's Life Cycle Based on BIM and Ecotect. **Advances in Materials Science and Engineering**, v. 2015, p. 1–15, 2015.
- SHIN, Y.; CHO, K. BIM Application to Select Appropriate Design Alternative with Consideration of LCA and LCCA. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2015, 2015.
- SHOUBI, M. V.; BAGCHI, A.; BAROUGH, A. S. Reducing the operational energy demand in buildings using building information modeling tools and sustainability approaches. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 6, n. 1, p. 41–55, 2015.
- YUNG, P.; WANG, X. A 6D CAD model for the automatic assessment of building sustainability. **International Journal of Advanced Robotic Systems**, v. 11, 2014.