

Cristiane Bueno
Márcio Minto Fabricio

a

PLICAÇÃO DA MODELAGEM DE INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO (BIM) PARA A REALIZAÇÃO DE ESTUDOS DE AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA DE EDIFÍCIOS

RESUMO

Os impactos ambientais provenientes dos materiais de construção são muitas vezes considerados apenas como consumo de recursos nos aplicativos de avaliação e certificação ambiental de edifícios. Seu ciclo de vida raramente é levado em consideração em tais metodologias. Essa observação pode ser explicada pelas limitações apresentadas pelas Declarações Ambientais de Produtos *Environmental Product Declarations* (EPDs), as quais fornecem informações ambientais que não permitem a comparação direta e escolha de produtos de construção. A inserção de dados resultantes de estudos de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) de componentes construtivos em modelos desenvolvidos na plataforma *Building Information Modelling* (BIM) facilitaria a inserção de tal metodologia quantitativa de avaliação ambiental no campo da construção civil. Assim o objetivo desta pesquisa é o levantamento do estado da arte da integração de estudos de avaliação ambiental na plataforma BIM, de modo que se torne possível prever e avaliar os potenciais impactos ambientais de escolhas construtivas e tecnológicas realizadas na fase de projeto do edifício. Uma abordagem investigativa sobre os aplicativos existentes que possibilitem tal integração é desenvolvida, especialmente direcionada aos que abordem a inserção de dados de ACV na plataforma BIM, com a realização de uma pesquisa-ação para avaliação de um dos aplicativos selecionados por usuários da plataforma BIM. O resultado final do artigo é, além da apresentação de um quadro geral dos aplicativos existentes, a apresentação das principais potencialidades e limitações do aplicativo estudado, de forma a entender os caminhos a serem percorridos no desenvolvimento e aprimoramento de novas ferramentas e metodologias de avaliação.

PALAVRAS-CHAVE

Avaliação de ciclo de vida. *Building information modelling* (BIM). Avaliação ambiental de edifícios. Componentes construtivos.

DOI: [HTTP://DX.DOI.ORG/10.11606/ISSN.2317-2762.v23i4op96-121](http://dx.doi.org/10.11606/ISSN.2317-2762.v23i4op96-121)

PÓS V.23 N.40 • SÃO PAULO • OUTUBRO 2016

APLICACIÓN DE MODELADO DE INFORMACIÓN DE CONSTRUCCIÓN (BIM) PARA LA REALIZACIÓN DE ESTUDIOS DE EVALUACIÓN DEL CICLO DE VIDA DE LOS EDIFICIOS

RESUMEN

Los impactos ambientales de los materiales de construcción a menudo se consideran sólo como consumo de recursos en aplicaciones de evaluación y certificación ambiental de los edificios. Su ciclo de vida rara vez se toma en cuenta en tales metodologías. Esta observación puede explicarse por las limitaciones presentadas por las Declaraciones Ambientales de Producto (*Environmental Product Declarations* - EPDs), que proporcionan información ambiental que no permite la comparación directa y la selección de los productos de construcción. La inserción de los datos resultantes de estudios de Evaluación del Ciclo de Vida (ACV) de los elementos de construcción en modelos desarrollados en la plataforma *Building Information Modelling* (BIM) facilitaría la inclusión de dicha metodología cuantitativa de la evaluación ambiental en el campo de la construcción. Así que el objetivo de esta investigación es examinar el estado de la técnica de la integración de los estudios de evaluación ambiental en la plataforma BIM, por lo que se hace posible predecir y evaluar los potenciales impactos ambientales de la construcción y las elecciones tecnológicas realizadas en la fase de diseño del edificio. Se desarrolla un enfoque de investigación sobre las aplicaciones existentes que permiten a dicha integración, especialmente dirigida a abordar la inclusión de datos de ACV en la plataforma BIM, con la realización de una investigación-acción para la evaluación, por los usuarios de la plataforma BIM, de las aplicaciones seleccionadas. El resultado final del artículo es, además de presentarse una visión general de las aplicaciones existentes, la presentación de las principales ventajas y limitaciones de la aplicación de estudio con el fin de comprender los caminos a seguir en el desarrollo y mejora de nuevas herramientas y metodologías de evaluación.

PALABRAS CLAVE

Evaluación del ciclo de vida. Modelado de información de construcción (BIM). Evaluación ambiental de edificios. Elementos constructivos.

APPLICATION OF BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM) TO PERFORM LIFE CYCLE ASSESSMENT OF BUILDINGS

ABSTRACT

The environmental impacts from construction materials are often considered only as resources depletion in the buildings environmental assessment and certification applications. Building materials life cycle is rarely taken into account in such methodologies. That remark can be explained by the limitations of the Environmental Product Declarations (EPDs), which provide environmental information that does not allow direct comparison and choice of construction products. The insertion of Life Cycle Assessment (LCA) data in models developed in the Building Information Modelling (BIM) platform would facilitate the implementation of such environmental assessment quantitative methodology in the construction field. Therefore the aim of this research is a literature review on the integration of environmental assessment studies in BIM platform, so that it becomes possible to predict and assess the potential environmental impacts of construction and technological choices made in the building design phase. An investigative approach on existing applications that enable such integration is developed, especially addressing the inclusion of LCA data in BIM platform. An action research is performed by BIM users, towards the evaluation of the selected applications. The final outcome of this paper is an overview of existing BIM-LCA applications and, moreover, the presentation of the main potentialities and limitations of such applications in order to understand the next steps in the development of new evaluation tools and methodologies.

KEYWORDS

Life cycle assessment. Building information modeling (BIM). Building environmental assessment. Construction materials.

I. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a ampliação do leque de preocupações ambientais levou a consideração de emissões de resíduos e de uso e depleção de recursos naturais, que deveriam ser incorporados em uma estrutura de avaliação mais abrangente. A fim de avaliar o impacto global das medidas de redução de consumo de recursos durante o período de vida de um edifício, a realização da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) do edifício como um todo apresenta-se como uma ferramenta de grande utilidade (VERBEECK; HENS, 2010b). O seu princípio consiste em analisar as repercussões ambientais de um produto ou atividade, a partir de um inventário de entradas e saídas (matérias-primas, energia, produtos, subprodutos e resíduos) do sistema considerado (SOARES *et al.*, 2006). Ao mesmo tempo, a complexidade dos produtos da construção civil, incluindo os materiais, sistemas, subsistemas, e as inúmeras possibilidades de combinação destes para a constituição de uma edificação como um todo, criou produtos mais complexos do que os bens de consumo que vinham sendo avaliados pela metodologia de ACV até então (JOHN *et al.*, 2006).

As considerações ambientais devem ser integradas em vários tipos de decisões, incluindo aquelas relacionadas a bens e serviços, e, para tal, informações relacionadas a essas atividades devem estar disponíveis. Ao estudar os impactos ambientais de produtos e serviços é vital a utilização de uma perspectiva de ciclo de vida, a fim de se evitar a transferência de problemáticas de uma parte do ciclo de vida para outra (FINNVEDEN *et al.*, 2009).

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma revisão teórica sobre a integração de bases de dados de ACV na plataforma BIM, apresentar alguns aplicativos atualmente disponíveis para tal fim, e analisar a sua aplicabilidade do ponto de vista do usuário BIM, de forma que se torne possível prever e avaliar os impactos ambientais potenciais de escolhas tecnológicas e construtivas na fase de projeto do edifício.

3. MÉTODOS

Esta pesquisa é baseada em um método teórico-conceitual, uma vez que apresenta o estado da arte da maturidade da integração da metodologia de ACV na plataforma BIM, e seus principais aplicativos de integração. Uma teoria é um conjunto inter-relacionado de construções formadas por proposições ou hipóteses que especificam a relação entre variáveis. A visão sistemática pode ser um argumento, uma discussão, ou uma justificativa, a qual ajuda a prever fenômenos que ocorrem no mundo (CRESWELL, 2009).

Além disso, esse panorama conceitual é tomado como base para o desenvolvimento de uma nova abordagem teórica para a implementação de dados de ACV reproduzíveis na plataforma BIM, através de uma discussão qualitativa e alguns exemplos de aplicativos BIM existentes.

Os procedimentos metodológicos específicos estão agregados em quatro etapas de pesquisa principais, como descrito abaixo:

- Definição do estado da arte da integração de dados de ACV na plataforma BIM, através da revisão bibliográfica e discussão do estágio de desenvolvimento e maturidade das duas metodologias individualmente, e de suas possibilidades de integração;
- Revisão e discussão de quais as principais aplicações de cada uma das metodologias, e dos principais atores envolvidos em seu desenvolvimento, amadurecimento e utilização;
- Investigação das possibilidades práticas de inserção de dados de ACV na plataforma BIM através da discussão sobre as possibilidades de desenvolvimento de dados reprodutíveis de ACV, assim como da investigação das possibilidades de inserção e utilização desses dados diretamente na plataforma BIM, utilizando-se um exemplo hipotético, baseado na interface do *software* Revit®, da Autodesk®;
- Revisão dos principais aplicativos de integração de ACV na plataforma BIM existentes, apontando suas principais características de aplicação e resultados;
- Pesquisa-ação para avaliação de um dos aplicativos selecionados pelos usuários da plataforma BIM, de forma a entender quais as principais contribuições e desafios para implementação desse tipo de avaliação.

3.1. Pesquisa-ação: avaliação do aplicativo pelos usuários

O *software* Tally™ foi escolhido para avaliação, dentre todos os aplicativos de ACV baseados na plataforma BIM apresentados, devido a duas razões principais: a) é uma das poucas ferramentas que funciona como um *plug-in* diretamente na interface de um *software* BIM (o Revit®), sem a necessidade de exportar um arquivo IFC para utilização em um *software* diferente, para realização da ACV, e b) por esse *software* ser fruto da integração de duas das instituições mais importantes nas áreas de conhecimento abordadas - Autodesk®, no que toca os *softwares* BIM, e PE *International*, em relação a *softwares* e bancos de dados de ACV. Esta última dá a tal *software* uma grande visibilidade e confiabilidade, aumentando suas possibilidades de propagação.

Para avaliação do aplicativo pelos usuários BIM (especificamente de Revit®), foi traçado um planejamento de aplicação de pesquisa-ação junto a um escritório paulistano conceituado, o qual trabalha majoritariamente no ambiente BIM e tem grande interesse na aplicação de estudos de Avaliação de Ciclo de Vida nas fases iniciais do projeto. Para tal, foi organizado um workshop pela pesquisadora juntamente à equipe do escritório, constituída por 20 profissionais da área de projeto de arquitetura e usuários de aplicativos BIM, no qual foi apresentada esta pesquisa e o *software* aqui analisado e suas funcionalidades. Os usuários foram então convidados a utilizar o *software* em um projeto simplificado, a fim de avaliar suas potencialidades, e, posteriormente, responder a um questionário.

O questionário elaborado para avaliação do aplicativo pelos usuários está apresentado na Tabela 1.

Parte I: Amigabilidade da Interface e Facilidade de Utilização	Parte II: Interpretação dos Resultados
1. O quanto o funcionamento do <i>software</i> é intuitivo?	1. Do seu conhecimento prévio (do usuário) sobre Avaliação de Ciclo de Vida;
2. O tempo do workshop foi suficiente para entendimento e utilização do <i>software</i> ?	2. Do seu conhecimento prévio (do usuário) das metodologias de Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida;
3. Da facilidade do processo de definição dos materiais no Tally;	3. Do seu conhecimento prévio (do usuário) das Categorias de Impacto;
4. Da disponibilidade de dados de materiais no Tally para serem combinados aos sistemas utilizados;	4. Do seu conhecimento prévio (do usuário) sobre o impacto ambiental, na prática, relacionado aos impactos potenciais endereçados pelas categorias de impacto;
5. Da exigência de conhecimento específico de outras áreas para definição de materiais no Tally;	5. Da possibilidade de interpretação dos resultados sem conhecimento específico prévio em ACV;
6. Da agilidade do processo de definição de materiais no Tally;	6. Da possibilidade de utilização dos resultados para escolha de materiais e definições de projeto.
7. Das necessidades de aproximação ou uso de estimativas na definição de materiais no Tally.	

Tabela 1: Questionário para Avaliação do aplicativo pelos usuários.
Fonte: Elaborado pelos autores.

Para cada uma das questões apresentadas, foi estabelecida uma possibilidade de escolha entre as gradações: péssimo, ruim, regular, bom e ótimo, assim como a possibilidade de justificativa sempre que o usuário considerasse necessário.

As respostas dos questionários foram então agrupadas e analisadas, a fim de se obter um panorama geral da visão dos usuários sobre as potencialidades e limitações iniciais observados na utilização do *software*.

Embora não estivesse prevista no projeto original, a presente etapa foi considerada necessária para análise mais profunda da usabilidade do aplicativo estudado, assim como para a avaliação das necessidades, limitações e preferências dos usuários no processo de projeto.

4. INTEGRAÇÃO BIM-ACV

4.1. Estado da arte e maturidade

A ACV ainda é uma jovem disciplina, desenvolvida principalmente a partir de meados da década de 1980 (FINNVEDEN *et al.*, 2009). Quanto à sua evolução e maturidade, Klöpffer (2006) afirmou que a ACV tornou-se uma metodologia amplamente utilizada devido à sua forma integrada de tratar temas como escopo, avaliação de impacto e qualidade dos dados. A ACV é aplicável a todos os níveis do sistema no setor da construção, com duas abordagens principais para tais aplicações: uma abordagem “de baixo para cima”, centrada na seleção de materiais de construção, e uma abordagem “de cima para baixo”,

que considera todo o edifício como ponto de partida para futuras melhorias (ERLANDSSON; BORG, 2003).

A ACV tem se mostrado uma ferramenta muito útil para avaliar o impacto global ao longo da vida de um edifício (VERBEECK; HENS, 2010b). Sob o ponto de vista ambiental, essa metodologia fornece inventários de fluxos de materiais e energia para cada sistema e permite a comparação desses balanços na forma de impactos ambientais (SOARES *et al.*, 2006). Esse procedimento permite uma avaliação científica, facilitando a identificação de possíveis melhorias associadas a alterações nas diferentes fases do ciclo, o que resulta em melhorias gerais no perfil ambiental. O ciclo de vida de um edifício inclui a produção de materiais, construção, operação, manutenção, desmontagem e gestão de resíduos (GUSTAVSSON; JOELSSON, 2010), assim, a metodologia de ACV pode ser uma parte importante dos métodos de avaliação ambiental de edifícios.

Ortiz *et al.* (2009) avalia de forma sistemática as diferentes utilizações da ACV para materiais de construção, combinações de componentes, e de todo o processo da construção, e classificou as ferramentas desenvolvidas e disponibilizadas para uso na avaliação ambiental em três níveis: o nível 3, composto por metodologias como as certificações ambientais de edifícios; o nível 2, que consiste em decisões de projeto para o edifício completo ou ferramentas de apoio à decisão; e o nível 1, composto por ferramentas de comparação de produtos, incluindo os *softwares* de ACV (ORTIZ *et al.*, 2009).

O desenvolvimento de estudos de ACV em edificações requer algumas adaptações, uma vez que obras de engenharia, ao contrário de produtos com vida útil de semanas ou meses, são, em geral, caracterizadas por uma vida útil que se estende por alguns anos, décadas ou mesmo séculos (SOARES *et al.*, 2006). Devido ao tempo de vida relativamente longo dos produtos de construção, a hipótese de estabilidade no tempo também pode produzir resultados altamente incertos (VERBEECK; HENS, 2010a).

De acordo com Kaebemick *et al.* (2003), as metodologias de ACV simplificadas são ferramentas muito úteis nos estágios iniciais de projeto, para estimar os impactos ambientais das alternativas de produtos e para prever os custos ambientais ou encargos para os fabricantes. Este autor apresenta um método de simplificação baseado na análise de estudos de caso completos de ACV. Ele propõe um indicador de desempenho ambiental do produto, utilizando dois conjuntos de diretrizes baseados em impactos provenientes do consumo de energia e materiais.

Posteriormente, Kellenberger e Althaus (2009) realizaram uma análise detalhada dos resultados de ACV para componentes construtivos em diferentes níveis de simplificação, e os resultados mostraram que os transportes e materiais auxiliares são relevantes para os resultados finais, enquanto, em alguns casos, o processo de construção e os resíduos provenientes de desperdício podem ser negligenciados. Importante notar que, para alguns sistemas construtivos tradicionalmente empregados no Brasil, como as alvenarias, por exemplo, os impactos relacionados ao desperdício no processo construtivo podem ser bastante significativos, não podendo, portanto, ser negligenciados.

Um levantamento sobre a aplicação da ACV na avaliação de materiais de construção em alguns dos sistemas de certificação ambiental de edifícios mais

tradicionais mostrou que a maioria deles utiliza a abordagem de reconhecimento de atributos do produto, tais como custo, durabilidade, renovabilidade, conteúdo reciclado, etc. (BUENO *et al.*, 2013a). No entanto, analisando a evolução do uso da ACV nas versões mais recentes de alguns desses sistemas de certificação, é possível observar o surgimento e inserção do conceito de ciclo de vida em diversos créditos avaliativos (BUENO *et al.*, 2013b; BUENO *et al.*, 2013c).

Entre os estudos ambientais nacionais relacionados a sistemas construtivos é importante ressaltar o trabalho apresentado por Kulay *et al.* (2010) no Segundo Congresso Brasileiro em Gestão de Ciclo de Vida em Produtos e Serviços, o qual trata do inventário do ciclo de vida do porcelanato esmaltado. Outro estudo importante refere-se à pesquisa aplicada a processos produtivos de pisos e tijolos cerâmicos de Soares e Pereira (2004), fomentada pela Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) dentro do programa Habitare, no período de 2001 a 2003. Os aspectos considerados no estudo de Soares e Pereira (2004) enfatizam, essencialmente, a qualidade ambiental (externalidades), não levando em conta a saúde e a segurança ocupacional, nem aspectos de qualidade de produto, tendo como estrutura básica estudada o processo produtivo (a fábrica) de pisos e tijolos (SOARES *et al.*, 2006).

Portanto, percebe-se que a ACV está cada vez mais presente nas demandas do setor de construção, levando os profissionais a buscar novas maneiras de incorporar tal metodologia aos processos de projeto e construção, da forma mais transparente e simples possível. Uma possibilidade promissora, em destaque atualmente, é a incorporação de dados de ACV de sistemas construtivos, por unidade funcional, na plataforma *Building Information Modelling* (BIM).

Houve um considerável lapso de tempo entre o surgimento de expectativas visionárias do potencial transformador da plataforma BIM na indústria da arquitetura, engenharia e construção, e a implantação da tecnologia na prática diária, no entanto, a possibilidade de implementação incremental de aplicações BIM é bem alinhada com o caráter do contexto industrial (LINDEROTH, 2010). Wong *et al.* (2005) indicou que os esforços de pesquisas anteriores têm lidado principalmente com três aspectos, incluindo tecnologias de pesquisa inteligente avançadas e inovadoras, metodologias de avaliação de desempenho e análise de avaliação de investimento. A implementação ACV na estrutura BIM é um campo misto, composto por todos os três aspectos mencionados. Assim, a inserção de conjuntos de dados de ACV em modelos BIM pode apoiar a difusão da avaliação ambiental quantitativa, para a escolha consciente de materiais e sistemas construtivos durante a fase de projeto do edifício. Tal abordagem é o ponto central de discussão neste trabalho.

BIMs estão tomando grande espaço no mercado e, em um futuro próximo, eles serão usados ??como recursos únicos para permitir a perfeita interoperabilidade de dados, o que vai facilitar muito os processos no ciclo de vida do edifício (IBRAHIM; KRAWCZYK, 2003).

Wu e Issa (2012) apontam a plataforma BIM como um facilitador para uma abordagem mais viável no gerenciamento de edifícios, uma vez que a prática atual de projeto é trabalhosa e as entregas são baseadas em documentos 2D e imagens, os quais são ineficientes para utilização na operação e manutenção

do edifício. Os autores atestam que, como uma ferramenta de gerenciamento de informações de ciclo de vida, os seguintes recursos do BIM vêm legitimar a sua aplicação no comissionamento de edifícios: a) modelos BIM são ricos e abrangentes em informações, uma vez que cobrem todas as características físicas e funcionais de um edifício; b) são capazes de armazenar, compartilhar e intercambiar dados com outras aplicações; c) são capazes de desempenhar diversas análises complexas do edifício e simulações de rentabilidade, produzindo resultados relevantes em formato de documentação padronizada; d) cobrem todas as fases do ciclo de vida; e) facilitam a colaboração e comunicação da equipe de projeto, funcionando como fonte central de informações.

Love *et al.* (2014) demonstra que, para um proprietário de ativos, a implementação da plataforma BIM não deve ser vista como um projeto de tecnologia da informação discreta, mas um programa de mudança de negócios que pode potencialmente afetar o valor agregado de seu produto, e reconhece que a tecnologia por si só não pode gerar diretamente resultados de negócios, mas que o seu processo de implementação, de forma proativa, é capaz garantir que uma dada organização obtenha resultados esperados, com menores variações em relação às práticas de projeto tradicionalmente empregadas.

Eadie *et al.* (2013) apresenta um levantamento realizado com uma relevante amostragem de usuários da plataforma BIM no Reino Unido, a partir do qual, diversas conclusões puderam ser extraídas, tais como: a) os modelos BIM são ainda mais frequentemente utilizados nas fases iniciais do processo de projeto, sendo progressivamente menos empregados nas fases finais, de conclusão e construção; b) os impactos mais positivos, de acordo com os usuários questionados, estão na ampliação da capacidade colaborativa da equipe de projeto, e dentre as diferentes equipes de projetistas e construtores; c) os aspectos relacionados às melhorias no processo de projeto, assim como os principais aspectos do processo de implementação da plataforma, foram considerados mais importantes do que a tecnologia empregada no *software*, de forma que, investimentos em treinamento e novos desenvolvimentos nos *softwares*, foram considerados necessários ainda para atingir melhores práticas; d) finalmente, os usuários questionados afirmam que os maiores benefícios da utilização da plataforma BIM são dos clientes finais e dos gerenciadores e operadores dos edifícios.

De acordo com Leite *et al.* (2011) embora os potenciais benefícios da utilização de modelos BIM sejam muito destacados, não há muitos estudos que investiguem o esforço de modelagem associado à geração de tais modelos em diferentes níveis de detalhamento. Tal autor demonstrou que mais detalhes em um modelo não significam necessariamente mais trabalho de modelagem, ao passo que, esse esforço adicional pode levar a uma maior precisão, melhorando o apoio a decisões durante o processo de projeto e construção. Tal pesquisa também demonstrou que o aumento no tempo total de modelagem pode variar da duplicação do esforço, até onze vezes, dependendo do nível de pormenores abrangido.

Rezgui *et al.* (2013), apresenta uma abordagem de governança para a gestão multidisciplinar de dados totais do ciclo de vida, identificando uma série de barreiras em se trabalhar com BIM com vistas a facilitar a colaboração em torno

de um projeto integrado, como, por exemplo, as que se referem a preocupações legais e contratuais, como segurança dos dados, propriedade intelectual, interoperabilidade, alocação de riscos, confiabilidade dos profissionais, confidencialidade, etc. A pesquisa foi realizada para o contexto das práticas de projeto empregadas no Reino Unido.

Hjelseth (2010) levanta em sua pesquisa os principais pontos da problemática das trocas de informação entre diferentes *softwares* baseados na plataforma BIM, e como as melhorias de qualidade de tais trocas poderiam ajudar no desenvolvimento de soluções de projeto integradas. Dentre as principais conclusões do trabalho estão a necessidade de normatização das informações a serem contidas em objetos BIM, as quais deveriam ser classificadas em mandatórias ou opcionais, de acordo com a determinação dos profissionais da indústria da construção. Além disso, a pesquisa também apresenta orientações para o desenvolvimento de tais informações, as quais poderiam continuar sendo desenvolvidas pelos profissionais de informática, desde que seguindo a normatização sugerida.

No cenário brasileiro, diversos pesquisadores têm se dedicado ao estudo da plataforma BIM e suas possibilidades de implementação, utilização e desenvolvimento.

Scheer *et al.* (2007) trabalhou na investigação do entendimento e uso de instrumentos de Tecnologia da Informação (TI) na indústria da construção brasileira, e concluiu que a aplicação mais intensa de sistemas de informação em projetos de gestão de obras ainda depende, em grande parte, da resolução de questões bastante complexas. Na fase de concepção projetual, já se observa a utilização de ferramentas de TI, no entanto, tal uso se torna mais restrito na etapa de gerenciamento de projetos, onde as qualificações técnicas de pessoal são bastante limitadas e tais ferramentas demonstram-se inadequadas à cultura técnica local. Esse autor ainda defende que, para superar tais obstáculos, uma maior integração entre grupos de pesquisa e empresas envolvidas no desenvolvimento e comercialização de projetos se faz necessária.

Amorim (2007), através da discussão de pesquisas internacionais sobre o tema, traz uma abordagem das vantagens e dificuldades da implantação de aplicativos da plataforma BIM no processo de projeto, mostrando seus principais benefícios e potenciais do uso. Esse autor aponta como principais benefícios da implantação da plataforma BIM a detecção precoce de incompatibilidades entre projetos de diferentes especialidades, incorporação da dimensão temporal e informações sobre execução, uso e manutenção, integração com fornecedores, possibilidades de simulação, e automação de processos no projeto, como quantitativos, encargos, cronograma, estimativas de custo, etc. Como principais desafios são apontados estão o fato de a implantação da plataforma BIM ser um processo de inovação que requer mudanças culturais, qualificação de pessoal, adequação e aquisição de equipamentos e *softwares* e, principalmente, mudanças e reorganização do processo de projeto.

Andrade e Ruschel (2009) desenvolveram uma análise preliminar sobre a produção de pesquisas sobre BIM no cenário brasileiro, de forma a sintetizar o quadro atual de publicações sobre o tema. No contexto do estudo foi concluído que as publicações sobre estudos de casos em BIM no Brasil são poucas e

ainda iniciais, em sua maioria abordando o processo de projeto com o BIM. Com relação à prática em escritórios de arquitetura, se constatou que o perfil do processo de projeto com o BIM no Brasil ainda constitui-se como uma atividade de projeto isolada, com capacidade de coordenação de documentos de projeto limitada ao ambiente interno do escritório.

Barison e Santos (2010) realizaram um levantamento das principais competências necessárias nas diversas áreas de responsabilidade dos especialistas em BIM, tais como modelador, simulador, desenvolvedor de aplicativos, especialista em modelagem, consultores e pesquisadores, e finalmente, o gerenciador de projetos, figura considerada central e essencial na implantação do processo BIM. Tais autores delinearão que consultores e gestores da área de BIM têm um papel importante na transição da prática atual para o uso da plataforma BIM, sendo os principais responsáveis pela sua implementação nas organizações. O operador de CAD deve se transformar em modelador BIM, adquirindo assim novas habilidades e conhecimentos, no entanto, esses, em sua maioria, tendem ainda a resistir à mudança, e à implementação de novas práticas de modelagem no processo de projeto.

Biotto *et al.* (2012) relatou os principais resultados de uma pesquisa que investigou o uso da modelagem 3D e 4D para apoiar a tomada de decisão na gestão de sistemas de produção, através de estudos de caso realizados em empresas de construção na cidade de Porto Alegre, envolvidas no desenvolvimento e construção de projetos de edificações residenciais. O uso da modelagem 3D demonstrou facilitar a extração de quantitativos de determinados materiais para dimensionar a capacidade de transporte necessária aos equipamentos no canteiro de obras, e as demais dimensões de informações contidas nos modelos BIM demonstraram ser capazes de auxiliar em muitas outras decisões acerca da gestão do projeto e do processo produtivo. As principais conclusões do estudo referem-se aos benefícios do uso de modelos BIM 4D com respeito às decisões de arranjo físico e logística de canteiro, a definição da organização das atividades na unidade e a definição da estratégia de desenvolvimento do empreendimento, que se reflete na conformação dos fluxos de trabalho no canteiro. Através dos modelos BIM 4D, a oportunidade de visualização de problemas no canteiro de obras, antes e durante a execução do empreendimento, permitiu a consideração de tais informações para tomada de decisão.

De acordo com (SUCCAR, 2009) a implementação de modelos BIM vai, sem dúvida, mudar os componentes e as relações entre as fases do ciclo de vida.

4.2. Possibilidades e limitações de integração

A respeito da metodologia de ACV, de acordo com a ISO 14044 (ISO, 2006) um estudo completo ACV inclui quatro fases: a) Definição do Objetivo e Escopo; b) Análise de Inventário de Ciclo de Vida (ICV), c) Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV), e d) Interpretação.

O escopo do estudo é definido de acordo com o seu objetivo e aplicações pretendidas para os resultados e determina, de forma detalhada, como o sistema de produto deve ser delimitado, e quais requisitos centrais devem ser aplicados, ao considerar as razões para o estudo, o contexto de decisão, as aplicações previstas e os público-alvo (EC-JRC, 2010). É na fase de escopo de

um estudo de ACV, que são determinados os diferentes âmbitos em relação ao objetivo definido: a unidade funcional, o fluxo de referência, os limites do sistema (completeza e regras de corte), as categorias de avaliação de impacto a serem cobertas, os requisitos de qualidade de dados, requisitos especiais para a comparação entre sistemas e a necessidade de revisão crítica (EC-JRC, 2010).

Dentre os desafios da implementação de sistemas de avaliação ambiental baseados em ACV no campo da construção, a subjetividade e a incerteza intrínsecas à coleta de dados de inventário, a complexidade da unidade funcional e como isso influencia a viabilidade do uso da metodologia, são exemplos importantes.

O primeiro grande desafio é a definição de unidade funcional que, especificamente no setor da construção civil, é muitas vezes difícil de ser tratada isoladamente em relação a outras funcionalidades do edifício, a fim de avaliar materiais de construção individualmente. Além disso, há também as especificidades regionais e temporais que tornam a coleta de dados complexa e repleta de incertezas (BUENO; FABRICIO, 2015).

Estudos de ACV são frequentemente utilizados para respaldar comparações entre diferentes produtos com funções semelhantes ou entre diferentes sistemas que ofereçam o mesmo serviço. A fim de garantir uma comparação válida, é fundamental que os sistemas comparados provenham a mesma função para o usuário. A principal base de comparação em estudos de ACV é a função desempenhada. Não há nenhum estudo de ACV comparando objetos ou produtos, mas cada ACV deve ser baseada em uma unidade funcional, onde diferentes produtos ou serviços, os quais fornecem a mesma função, podem ser comparados (EC-JRC, 2010).

Os materiais de construção em geral, não têm as mesmas funções e as mesmas aplicações em um edifício (LEMAIRE *et al.*, 2007). Muitas vezes não há uma separação clara de funções e desempenho entre requisitos técnicos individuais de um produto de construção: uma vez que o produto participa da vida do edifício como um componente, tem-se de optar por alocar determinados fluxos para o produto ou para o sistema construtivo (CHEVALIER; LE TENO, 1996). Conseqüentemente, em geral, não é relevante comparar diretamente os produtos de construção. A fim de introduzir características ambientais na escolha dos materiais de construção é muitas vezes necessário mudar a escala do estudo: apenas os elementos que têm a mesma unidade funcional, as mesmas quantidades, o mesmo tempo de vida e as mesmas funções técnicas podem ser comparados (ISO, 2006).

A comparação de produtos de construção com a mesma unidade funcional é limitada a alguns produtos. Em outros casos, os produtos de construção não podem ser considerados como alternativas para tomada de decisão. O primeiro conjunto de produtos de construção que podem representar uma alternativa ao problema da tomada de decisão são os componentes construtivos. Por exemplo, uma parede, que pode ser construída com vários conjuntos de produtos, representa um componente construtivo, e cada tipo de parede tem a mesma unidade funcional. Assim, a escala do componente construtivo será, na maioria dos casos, a melhor escala de comparação (LEMAIRE *et al.*, 2007).

Como o objetivo da implementação de dados de ACV na plataforma BIM é fornecer informação ambiental quantitativa, de forma a apoiar a priorização ambiental de um tipo de elemento ou sistema construtivo, a unidade funcional deve ser tão delimitada quanto possível - sem perder a precisão necessária para garantir resultados precisos ao estudo. Escolhida e ajustada corretamente, a unidade funcional pode ser usada para a análise dos mesmos componentes construtivos em diferentes tipologias de edifícios. Por essa razão, os componentes construtivos devem ser considerados de forma independente (por exemplo, a estrutura independente de vedação, cobertura, piso, etc., como uma função isolada). Portanto os potenciais de impacto no ciclo de vida de qualquer outro componente construtivo não deve interferir em outros componentes (BUENO; FABRICIO, 2015).

Outro ponto importante são os escopos geográfico, temporal e regional para a coleta de dados. Uma vez que a unidade funcional é definida, é importante garantir que o mesmo escopo será usado para a coleta de dados de todas as alternativas de componentes construtivos, principalmente, entre aquelas com a mesma função. Por exemplo, pode-se usar o caso de dois dos bancos de dados de inventário mais utilizados: Ecoinvent (FRISCHKNECHT *et al.*, 2005) e GaBi (IKP-PE, 2002). Ainda que ambos os bancos de dados forneçam dados regionais médios, e sejam compatíveis com o *software* GaBi, eles têm escopos e metodologias diferentes de coleta de dados, o que pode interferir nos resultados finais. Neste ponto, o foco da discussão não é determinar qual base de dados conduziria a resultados mais confiáveis, ??mas afirmar que a mesma base de dados deve ser utilizada dentro de uma categoria de componentes construtivos, a fim de garantir uma comparação justa entre os sistemas (BUENO; FABRICIO, 2015).

Em quase todos os casos, um ou vários processos no sistema produto fornecem mais do que uma saída funcional, o que também pode ser denominado como coprodutos. Estes coprodutos não podem ser utilizados por outros processos no mesmo sistema, mas, em algum outro sistema de produto o qual não tem relevância para o estudo. Isso significa que as entradas e saídas do processo devem ser compartilhadas entre os seus produtos e coprodutos. A norma ISO 14044 (ISO, 2006) apresenta um padrão de hierarquia das diferentes abordagens para solucionar este problema. A escolha está intimamente relacionada ao princípio de modelagem - consequencial ou atribucional -, e a escolha tem de ser feita no início da definição de escopo, uma vez que tem influência sobre alguns dos outros elementos do estudo como, por exemplo, a definição das fronteiras do sistema (EC-JRC, 2010).

As fronteiras do sistema definem quais os processos ou atividades (processos no local, a montante, e a jusante) pertencem ao sistema de produto, ou seja, são necessários para desempenhar a função tal como definida na unidade funcional. A definição precisa das fronteiras do sistema é importante para a compreensão do que o sistema modelado realmente representa e como ele deve ser interpretado ou usado em um contexto mais amplo. Idealmente, as fronteiras do sistema do produto devem ser definidas de modo que os fluxos que as atravessam sejam fluxos elementares e fluxos de produtos, ou seja, entradas e saídas devem ser rastreadas até a sua saída da tecnosfera e tornar-se parte do ambiente (EC-JRC, 2010).

4.3. Atores e aplicações

Succar (2009) divide a estrutura da plataforma BIM em três áreas diferentes: Políticas, Processos e Tecnologia. Cada uma destas áreas tem diversos intervenientes de acordo com sua definição e produtos, e alguns desses atores tem papel central na implementação da ACV no âmbito BIM. Os papéis desempenhados por atores de diferentes áreas são delimitados de acordo com sua expertise e área de trabalho.

Em relação à área de Políticas, seus intervenientes devem ser responsáveis pela criação de diretrizes e normatização para a coleta e tratamento de dados de ICV, e pela definição de escopo da ACV direcionada à integração e aplicação de tais dados na plataforma BIM. Por outro lado, os intervenientes em tal área também se beneficiariam da utilização final do aplicativo BIM-ACV implementado e dos dados por ela gerados, para o desenvolvimento de políticas de desempenho ambiental na construção civil.

A área de Tecnologia deve estar envolvida na implementação prática da ACV em *softwares* BIM. Além disso, os atores compreendidos nesta área também seriam responsáveis pelo desenvolvimento e interoperabilidade de *softwares* ACV e BIM compatíveis, tornando possível o intercâmbio de resultados entre eles.

Finalmente os atores mais importantes e centrais são aqueles da área dos Processos, os quais estão diretamente envolvidos no desenvolvimento diário de dados de ACV e criação de modelos BIM, e responsáveis, portanto, pelos resultados práticos.

Nessa área estão contemplados profissionais de a) Desempenho ambiental, responsáveis pela coleta de dados; b) Fornecedores e fabricantes de materiais e componentes construtivos, responsáveis por disponibilizar dados de processos produtivos; c) Projeto de arquitetura e engenharia, responsáveis pela aplicação de dados de ACV em modelos BIM e interpretação dos resultados, e d) Partes interessadas e tomadores de decisão, os quais são responsáveis por escolher produtos de construção com base nos resultados originados pelas avaliações de modelos BIM-ACV. A Figura 1 mostra uma ilustração sumária sobre os papéis e inter-relações dos intervenientes citados.

Figura 1: Atores do processo de integração BIM-ACV, seus papéis e inter-relações. Fonte: Elaborado pelos autores.



4.4. Inserção de dados de ACV na plataforma BIM

BIM é um conjunto de políticas, processos e tecnologias que, por sua interação, geram uma “metodologia para gerenciamento de dados essenciais de projetos e empreendimentos de construção em formato digital, ao longo do ciclo de vida do edifício” (PENTTILÄ, 2006).

Uma estrutura BIM deve ser abrangente o suficiente para resolver todas as questões relevantes de um modelo de informação do edifício. No

entanto, ao mesmo tempo, ela precisa ser concisa o suficiente a fim de apresentar as principais questões de forma sistemática. A estrutura pode ser delineada de forma que “a aplicação prática do BIM incorpore efetivamente tecnologias BIM em termos de propriedade, relação, normas, e utilização em diferentes funções de negócios de construção ao longo do projeto, organização e perspectivas da indústria” (JUNG; JOO, 2011).

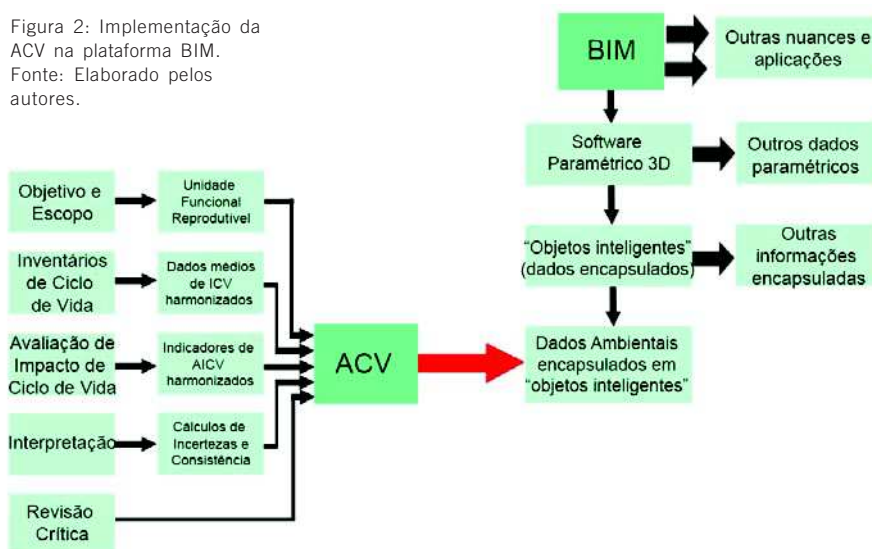
Modelos BIM são compostos de objetos “inteligentes” – diferentemente das entidades CAD que compreendem apenas alguns ou nenhum meta-dado - (ISIKDAG, 2012) que representam elementos físicos como portas e colunas com “inteligência” encapsulada (KUNZ; FISCHER, 2005).

De acordo com Succar (2009), a implementação do BIM vai, sem dúvida, mudar os componentes e relações entre as fases do ciclo de vida, suas atividades e tarefas. Esse autor define o ciclo de vida do edifício dentro da plataforma BIM em três fases principais: fase de concepção (D), de fase construção (C) e fase de operação (O).

A implementação do BIM se inicia através da implantação de um *software* 3D paramétrico baseado em objetos. Na fase inicial, os usuários geram modelos uni-disciplinares dentro da fase de projeto (D), construção (C) ou operação (O). Entregas incluem modelos de projeto de arquitetura (D) e modelos de fabricação (C) utilizados principalmente para automatizar a geração e coordenação de documentação 2D e visualização 3D. Outros resultados incluem dados básicos e modelos 3D leves que não têm atributos paramétricos modificáveis (SUCCAR, 2009).

A informação de progresso histórico pode ser automaticamente manipulada para produzir conhecimento para projetos futuros e essas aplicações de conhecimento podem ser geradas e utilizadas ativamente pela informação embutida em objetos 3D (JUNG; KANG, 2007). É onde os dados de ACV poderiam ser aplicados, embutidos em objetos de construção 3D (Figura 2).

Figura 2: Implementação da ACV na plataforma BIM.
Fonte: Elaborado pelos autores.



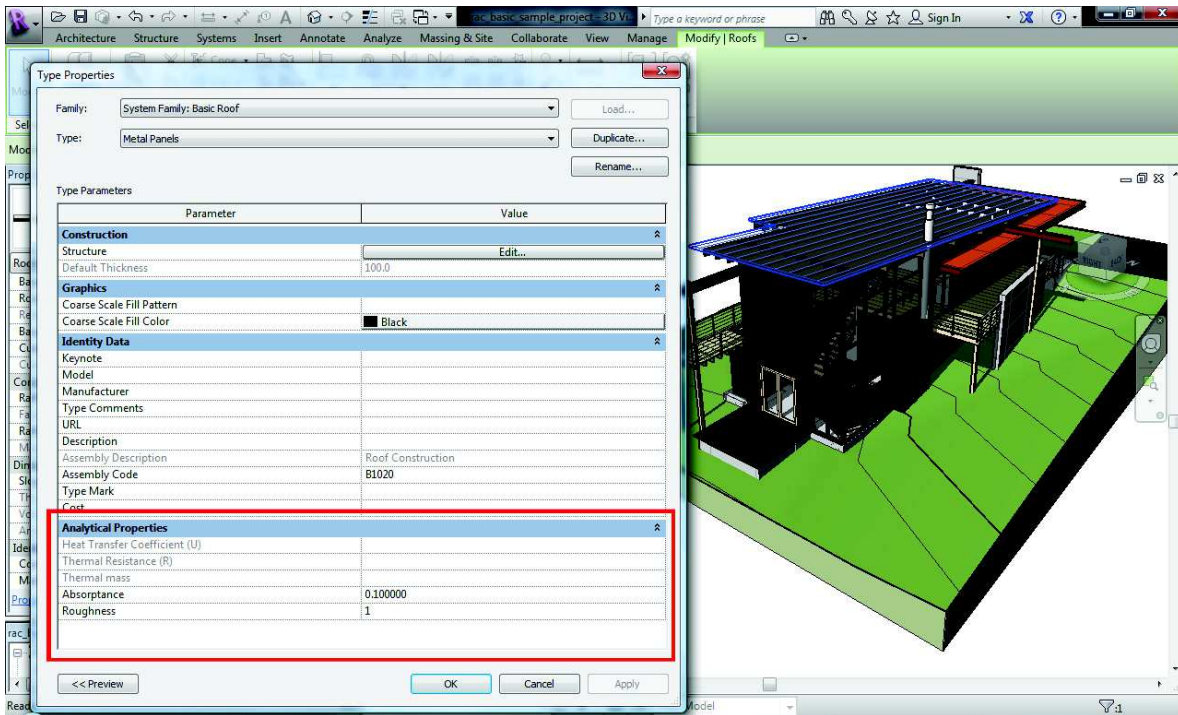


Figura 3: Investigação da inserção de dados ambientais na interface do software Revit®.
Fonte: Revit Basic Sample Project.

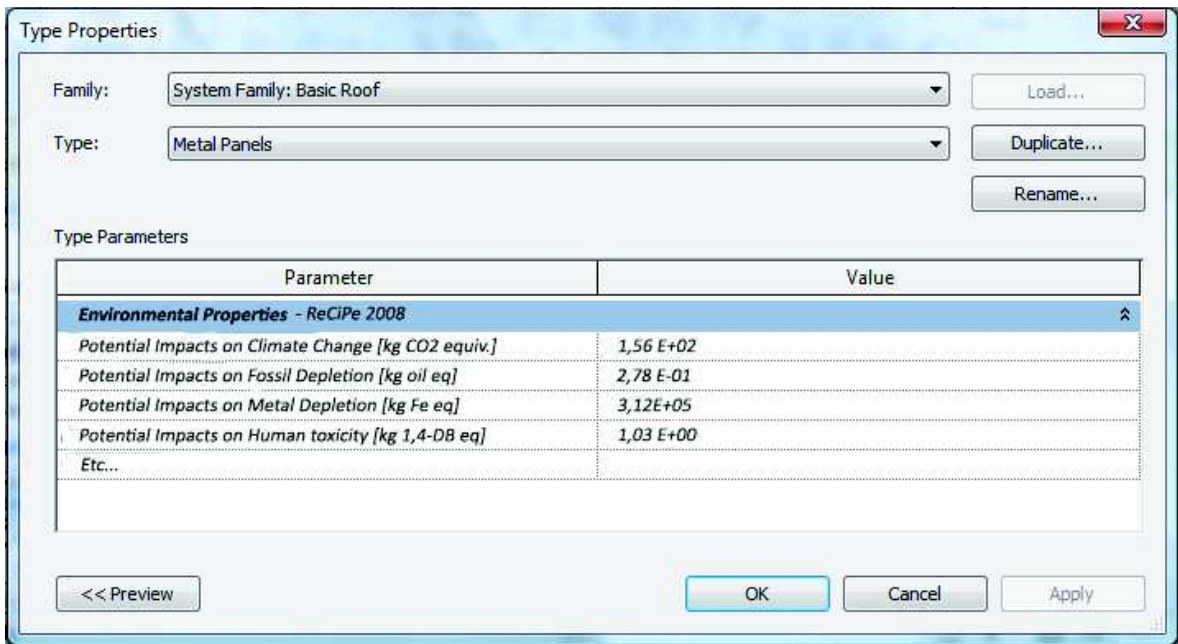


Figura 4: Investigação propositiva da inserção de dados ambientais na interface do software Revit®.
Fonte: Elaborado pelos autores.

Aplicando esta hipótese para o caso de *software* Revit®, por exemplo, os conjuntos de dados de impactos ambientais poderiam ser encontrados no menu “*Type Properties*”, utilizando a mesma interface que as “*Analytical Properties*”, por exemplo, como ilustrado na Figura 3. Os dados ambientais disponíveis devem considerar as categorias de impacto de ACV e devem ser exibidos como potenciais de impacto, de acordo com uma dada metodologia de AICV. A Figura 4 usa novamente o caso do Revit® para ilustrar como as propriedades ambientais de um componente construtivo devem ser apresentadas na interface do *software*.

Neste caso específico, algumas categorias de impacto da metodologia de AICV ReCiPe 2008, foram exibidas como um exemplo de como o usuário teria acesso a dados ambientais de materiais de construção. É importante notar, neste ponto, que as propriedades ambientais devem ser apresentadas como potenciais de impacto, isto é, depois do processo de caracterização das emissões, realizado na fase de AICV em um estudo de ACV. Isso porque os dados brutos de inventário podem levar o usuário – o qual, na maior parte das vezes, não é familiarizado com os métodos de avaliação de impacto ambiental – a conclusões enganosas

Uma breve explicação a respeito é que diferentes substâncias têm diferentes contribuições para potenciais de impacto e, dessa forma, algumas delas, em pequenas quantidades, podem contribuir mais para um dado impacto do que grandes quantidades de outra substância também presente nas emissões avaliadas (BUENO; FABRICIO, 2015).

Outra questão importante a ser salientada, a qual já foi anteriormente abordada por Monteiro e Martins (2013), é que enquanto a obtenção automática de quantitativos possível em modelos BIM é uma de suas funcionalidades potencialmente mais importantes, um ponto ainda muito pouco explorado se refere a como os modelos BIM respondem quando os quantitativos se tornam o seu uso primário – como seria de fato no caso dos quantitativos ambientais. Esses autores concluíram que, embora seja possível adaptar o modelo para extrair quantidades de acordo com as especificações existentes, os ajustes têm implicações em outros aplicativos do modelo, como as visualizações ou desenhos, por exemplo.

Além disso, ao simular processos dinâmicos em edifícios, os esforços de modelagem de dados normalmente exigem a modelagem da geometria de construção, seus componentes e as relações entre esses componentes, bem como a modelagem do processo que está em estudo. Por exemplo, ao simular o ciclo de vida de um edifício, o fluxo de materiais, bem como o fluxo de informação podem ser simulados como parte do processo de modelagem, ao passo que um modelo de componentes apenas precisaria representar a construção como um artefato (OZEL; KOHLER, 2004).

4.5. Aplicativos

Alguns *softwares* direcionados a estudos de ACV já apresentam interoperabilidade com a plataforma BIM, de forma a facilitar o uso conjunto dessas duas ferramentas. Nesta seção do presente artigo, alguns desses aplicativos serão apresentados de forma sucinta, afim de se obter uma visão geral das possibilidades oferecidas atualmente no mercado.

4.5.1. Autodesk Green Building Studio®

Green Building Studio® é um *software*, baseado na nuvem, que permite aos usuários executar análises energéticas de edifícios completos, análises de otimização do consumo de energia, e direcionadas a emissões de gás carbônico, desde o início do processo de projeto.

O Green Building Studio® não é propriamente um *software* direcionado a estudos de ACV, no entanto, pode ser utilizado como uma ferramenta de apoio para tal.

Dentre o conjunto de funcionalidades oferecidas pelo *software*, é possível encontrar as seguintes:

- Análise energética de edifícios completos;
- Dados climáticos detalhados;
- Suporte para certificação LEED e Energy Star (o *software* fornece estimativa de pontuação no sistema LEED de acordo com o desempenho do edifício simulado, assim como oferece uma estimativa de pontuação para obtenção do selo Energy Star, possibilitando a comparação da eficiência energética do edifício simulado com construções similares);
- Relatório de emissões de carbono;
- Análise de iluminação natural, a qual ajuda na quantificação para obtenção de créditos específicos na certificação LEED;
- Uso de água e custos relacionados;
- Potencial de ventilação natural.

O Green Building Studio® está incluído na licença do *software* Análise Ecotect®, o qual está em processo de transição, para se tornar um aplicativo incluso no pacote do *software* Revit®. Ecotect® Analysis é, atualmente, a versão desktop do *software*, enquanto o Green Building Studio® é a porção baseada na web. Ambos os programas podem compartilhar o mesmo arquivo gbXML exportado do modelo Revit®, ou de outros aplicativos BIM.

4.5.2. Elodie

Desenvolvido pelo *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (CSTB), na França, Elodie é um programa projetado para fornecer a avaliação de desempenho ambiental de um edifício ao longo do seu ciclo de vida. É direcionado a todos os intervenientes da área de construção civil que busquem integrar essas considerações ambientais em suas análises.

Diversas alternativas de projeto podem ser comparadas nesse aplicativo:

- Identificação da contribuição de produtos e materiais de construção para um determinado potencial de impacto ambiental do edifício e comparação desses com os impactos provenientes da fase de operação do edifício;
- Avaliação de desempenho energético e benefícios ambientais ótimos dentre as soluções projetuais e construtivas propostas;
- Determinação das emissões de gases de efeito estufa ao longo do ciclo de vida da estrutura;

- Cálculo da geração de resíduos pela operação do edifício ao longo dos diversos estágios de seu ciclo de vida;
- Avaliação e comparação de opções de projeto;
- Modelagem estrutural com o objetivo de satisfazer os requisitos de desempenho da certificação ambiental HQE;
- Avaliação dos potenciais de impactos ambientais do canteiro de obras, assim como do transporte dos usuários do edifício;
- Identificação das principais contribuições ambientais para os indicadores utilizados, a fim de identificar pontos passíveis de melhorias;
- Realização de estudo simplificado de ACV para o edifício de acordo com a norma EN 15978 (CEN, 2011).

4.5.3. eToolLCD

O eToolLCD (*Life Cycle Design*) é um *software* de projeto e ACV de edifícios completos de uso aberto e baseado na web. Esse aplicativo produz relatórios detalhados com dados comparáveis de desempenho ambiental de edifícios, com resultados compatíveis com as normas internacionais ISO 14044 (ISO, 2006) e EN 15978 (CEN, 2011).

Para apoiar o desenvolvimento contínuo do *software*, para qualquer usuário do eToolLCD para fins comerciais, é necessário “certificar” o seu projeto. Em essência, este é um serviço *pay-as-you-go*, onde o aplicativo eTool fornece uma revisão de terceira parte do seu trabalho, para garantir que ele seja concluído corretamente.

4.5.4. Lesosai

O *software* Lesosai permite o cálculo dos impactos ambientais provenientes do consumo de energia, tendo em vista toda a energia utilizada na operação do edifício, assim também como os impactos relativos ao consumo de energia provenientes do ciclo de vida de materiais e componentes construtivos utilizados no edifício analisado.

Este cálculo é baseado em uma abordagem de ciclo de vida do edifício, a qual utiliza a listagem de impactos ambientais extraídos da base de dados Ecoinvent, e metodologia de AICV de acordo com o projeto de norma suíça SIA2032 (SIA, 2010) (Avaliação de Impactos de Ciclo de Vida completa com o módulo ECO+®).

Entre as funcionalidades oferecidas pelo *software*, estão inclusas:

- Importação de arquivos do formato gbXML, o qual é usualmente gerado pelos *softwares* Autodesk Revit®, Google Sketchup e Archicad (os dois últimos com a utilização de um *plug-in*);
- Banco de dados próprio, atualizado periodicamente pelos próprios produtores e fornecedores de materiais e componentes construtivos (www.materialsdb.org);
- Versão básica do cálculo dos impactos ambientais ao longo do ciclo de vida da construção, dirigido principalmente para a Suíça, França, Luxemburgo, Itália, Alemanha e Romênia.

4.5.5. LCADesign™ (Ecospecifier)

O LCADesign™, é um *software* australiano de modelagem de ACV, desenvolvido pelo Centro Nacional de Pesquisa sobre Ambiente Construído Sustentável.

Este *software* apresenta-se como uma ferramenta simplificada de avaliação ambiental de Edifícios, a qual busca a redução do tempo e esforço de modelagem para a realização de uma ACV completa de edifícios, através da utilização de dados genéricos para os materiais mais correntemente empregados.

LCADetail™ é um subconjunto do programa que é utilizado pelo GreenTag™ para a realização de estudos de ACV de produtos. Quando uma ACV é conduzida por este aplicativo, a saída de resultados não é apenas no formato de um relatório com gráficos e tabelas de dados em massa, mas um arquivo BIM dos impactos do produto ao longo do ciclo de vida, o qual pode ser utilizado no LCADesign™ para permitir que uma ACV específica do produto possa ser realizada.

4.5.6. Tally™

A *Kieran Timberlake Innovations* em parceria com a Autodesk® Soluções Sustentáveis e a PE *International* criaram esse aplicativo simplificado, que incorpora dados de ciclo de vida necessários para análises no processo de projeto: O *software* Tally™ é um *plug-in* dentro da interface do *software* Revit®. Esse aplicativo busca a integração direta entre ACV e BIM.

O *software* Tally™ permite aos projetistas vincular elementos BIM e materiais de construção a um banco de dados de informações ambientais, além de gerar relatórios de impacto. Tais relatórios respondem a uma série de perguntas feitas durante a fase de projeto do edifício, incluindo a identificação de onde ocorrem os maiores impactos ambientais e como esses impactos podem ser comparados dentre as diversas opções de materiais, e em relação a operações relacionadas ao consumo de energia.

O Tally™ possibilita que profissionais que trabalham com Revit® possam quantificar o impacto ambiental dos materiais de construção para a análise de todo o edifício, bem como análises comparativas de opções de projeto isoladamente. Enquanto trabalha em um modelo Revit®, o usuário pode definir relações entre os elementos BIM e materiais de construção do banco de dados de Avaliação de Ciclo de vida do Tally™. O resultado é a ACV da demanda, e um *layer* de informação ambiental para tomada de decisão dentro do mesmo *software*, período de tempo, ritmo e ambiente em que os projetos do edifício são gerados, não requerendo práticas de modelagem especiais.

4.6. Pesquisa-ação: Avaliação de *plug-in* dedicado a estudos de ACV por usuários BIM

Para avaliação do aplicativo Tally™ pelos usuários BIM, foi realizada uma pesquisa-ação junto a um escritório conceituado paulistano e alguns profissionais autônomos, os quais trabalham majoritariamente na plataforma

BIM, e que demonstraram interesse na aplicação de estudos de ACV para embasar decisões de projeto. Ao todo, 20 profissionais da área de projeto de arquitetura e usuários de aplicativos BIM participaram desta pesquisa.

O questionário aplicado está apresentado integralmente nos procedimentos metodológicos do presente trabalho. O agrupamento percentual das respostas objetivas dos questionários está apresentado nas Figuras 5 (Parte I) e 6 (Parte II), e serão analisados a seguir.

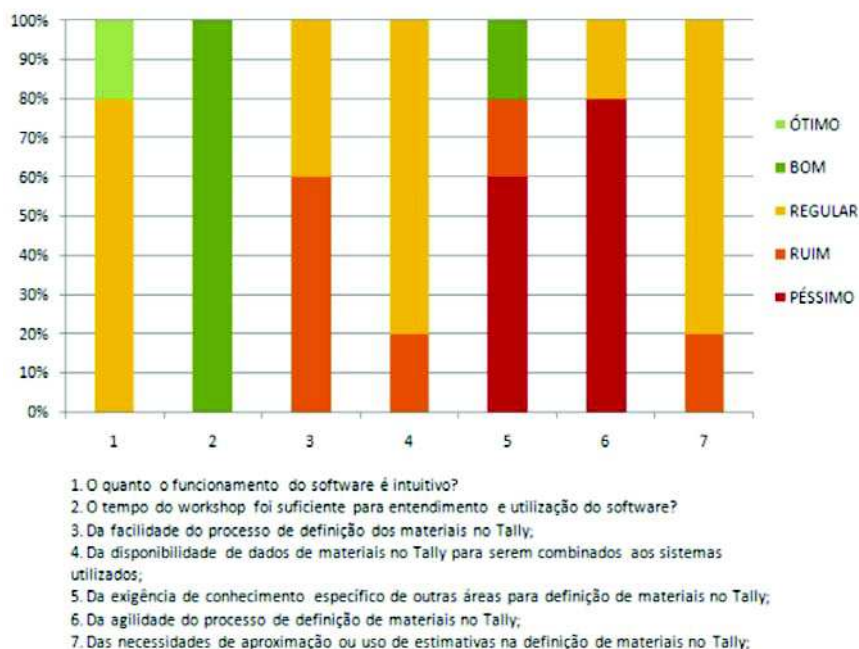
Inicialmente trataremos da análise das respostas da Parte I do questionário (Figura 5), a qual se refere à Amigabilidade da Interface e Facilidade de Utilização do aplicativo.

A primeira pergunta, sobre o quão intuitivo é o funcionamento do *software*, apresentou respostas divergentes, variando entre ótimo (20%) e regular (80%). Dentre as justificativas para dificuldades de utilização do aplicativo, a mais recorrente foi o fato de esta só estar disponível na língua inglesa, o que dificultaria, em alguns casos, o reconhecimento da nomenclatura técnica de alguns materiais e componentes construtivos, e assim, a definição das inter-relações entre os bancos de dados construtivos e ambientais.

Quanto ao tempo de duração do workshop ser suficiente para o perfeito entendimento e possibilidades de utilização do *software*, a principal constatação dos entrevistados foi de que as 4 horas de workshop foram suficientes para utilização em um projeto simplificado, mas que provavelmente precisariam de mais tempo dedicado ao entendimento das funcionalidades para aplicação em um projeto mais complexo.

A terceira questão trata da facilidade, ou seja, a simplicidade do processo de definição de materiais no *plug-in*, o qual foi considerado regular por 40% e

Figura 5: Parte I - Amigabilidade da Interface e Facilidade de Utilização. Fonte: Elaborado pelos autores.



ruim por 60% dos entrevistados. As justificativas apresentadas demonstram que o processo em si não foi considerado difícil ou complicado para a grande maioria dos usuários, e sim, muito trabalhoso e demorado, pelo fato de os materiais terem de ser definidos individualmente, um a um no processo de correlação dos bancos de dados. Por esse mesmo motivo, o *software* recebeu 80% das classificações como péssimo para a questão de número seis, referente à agilidade do processo de definição de materiais.

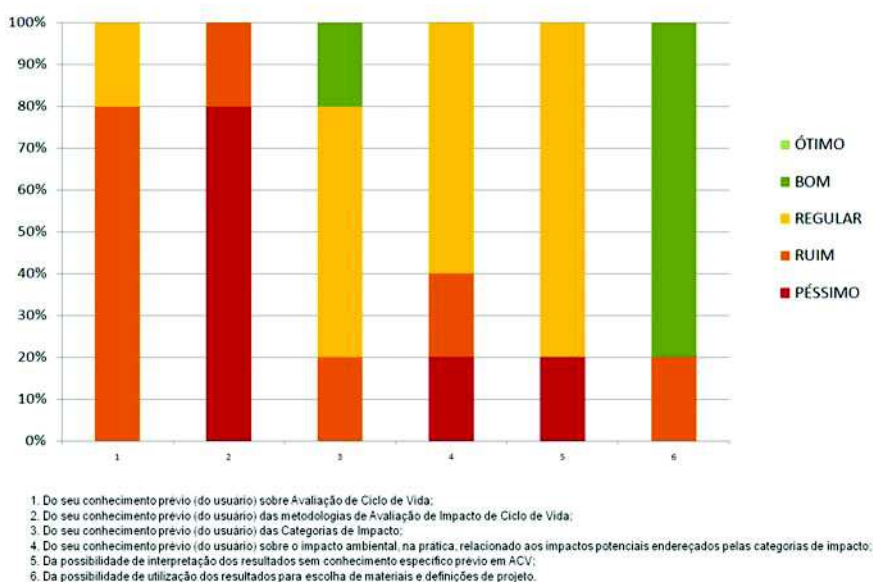
Sobre a disponibilidade de dados ambientais oferecidos pelo *software*, a justificativa dos entrevistados para os 80% de notas regulares e 20% de ruins, foi o fato de a base de dados não apresentar informações ambientais compatíveis com a realidade brasileira, o que dificultaria a obtenção de resultados mais realísticos e robustos. No entanto, a grande maioria dos usuários reconheceu que essa problemática vai além das capacidades do *software* em si, e esbarra na falta absoluta de disponibilidade de dados brasileiros de ciclo de vida para a grande maioria dos insumos da construção civil.

A maioria dos entrevistados considerou que o *software* exige pelo menos algum conhecimento específico em ACV para habilitar a correta definição dos materiais, somando-se 60% de péssimos e 20% de ruins, demonstrando que os usuários encontraram dificuldades e se sentiram pouco preparados para exercer as correlações de bancos de dados e suas especificações inerentes.

Finalmente, sobre a necessidade de aproximações e estimativas para utilização do *software*, a consideração dos usuários foi predominantemente regular (80%), com 20% de conceitos ruins, justificando-se principalmente pela limitação de diversidade de materiais na biblioteca disponível.

A segunda parte do questionário (Figura 6) destina-se a avaliar a capacidade de um usuário – o qual seja um profissional de projeto, mas com pouco

Figura 6: Parte II – Da Interpretação dos Resultados.
Fonte: Elaborado pelos autores.



conhecimento da metodologia de ACV – em interpretar os resultados fornecidos pelo *software*, a fim de utilizar tais informações para a tomada de decisão na especificação de materiais e sistemas construtivos no processo de projeto.

As quatro primeiras perguntas da segunda parte do questionário têm com objetivo, portanto, avaliar os conhecimentos prévios dos entrevistados no que toca as temáticas relacionadas à metodologia de ACV, AICV e seus indicadores. O que se pode notar, ao avaliar as respostas, é que para todas as quatro questões, os usuários consideraram seu conhecimento prévio dos conceitos avaliados entre regulares e péssimos, confirmando a prerrogativa de que a ACV é ainda um campo novo e relativamente desconhecido dentre tais projetistas. Neste ponto, convém reiterar que os profissionais de projeto participantes dessa pesquisa fazem parte de uma faixa ainda minoritária no mercado brasileiro, que já busca a inserção de conceitos ambientais em seus projetos, e ainda assim, não se demonstraram mais profundamente familiarizados com os conceitos e metodologia de ACV.

A quinta questão refere-se às possibilidades de interpretação dos resultados sem o conhecimento prévio de ACV, e os entrevistados consideraram massivamente ruim (80%), ou seja, muito difícil, a péssimo (20%). Essas respostas reproduzem as dificuldades encontradas por esses usuários na interpretação dos resultados obtidos, tendo em vista seus conhecimentos prévios superficiais da metodologia. No entanto, mesmo apresentando dificuldades na interpretação dos resultados, ou seja, dos indicadores obtidos, na sexta e última questão, esses usuários consideraram, em sua maioria de 80%, o *software* bom, para o auxílio na escolha de materiais e definições de projeto.

A aparente discrepância desses últimos resultados vem mostrar que, apesar de terem dificuldades na interpretação mais profunda dos indicadores, os usuários sentem-se seguros em tomar decisões apoiadas em avaliações quantitativas. Entretanto, no caso de resultados mais complexos e menos óbvios – com diferentes alternativas de melhor desempenho dentre os indicadores – fica claro que o conhecimento prévio e mais aprofundado sobre os mesmos tornar-se necessário, para que o usuário possa optar pelo desempenho tendo em consideração um determinado aspecto ambiental em detrimento de outro, situação esta muito comum na análise de resultados de estudos de ACV

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os produtos de construção civil, como materiais e componentes construtivos, são frequentemente considerados apenas como consumo de recursos nos sistemas de certificação ambiental de edifícios como GBTool, BREEAM, LEED, AQUA, etc. (LEMAIRE, 2006). O ciclo de vida de tais produtos é raramente levado em consideração em tais aplicativos. Essa observação pode ser explicada pelas limitações das Declarações Ambientais de Produto (EPDs) as quais fornecem informações que não permitem a comparação direta para escolha de produtos de construção. Assim, a integração de dados de ACV de

componentes construtivos em modelos BIM facilitaria a utilização de tal metodologia quantitativa de avaliação ambiental no campo da construção.

A abordagem proposta neste artigo é uma abordagem investigativa das possibilidades para tal integração e dos aplicativos existentes para tal finalidade, e deve ser futuramente desenvolvida, especialmente no que toca as metodologias e escopo de coleta de dados de inventário de ACV e a análise dos principais *softwares* existentes, tendo em vista o aprimoramento de tais aplicativos e o desenvolvimento de novas alternativas.

Observa-se tendo em vista a avaliação do estágio de desenvolvimento e maturidade das duas disciplinas aqui estudadas, que ambas ainda se encontram em estágio de rápido desenvolvimento, e implantação inicial, onde métodos de delimitação de escopo e desenvolvimento de dados de inventário, e suas formas de inserção na plataforma BIM, ainda estão em fase de desenvolvimento e discussão iniciais, sem conclusões metodológicas robustamente consolidadas. Sendo assim, os métodos e programas computacionais de integração apresentados neste trabalho, ainda constituem-se em aplicativos inovadores e bastante incipientes.

A conclusão final da análise dos questionários provenientes da pesquisa-ação para avaliação de uma das mais proeminentes desses aplicativos, o *plug-in Tally™*, foi de que, apesar das simplificações e amigabilidade inerentes ao aplicativo estudado, os usuários ainda apresentam grandes dificuldades não apenas na utilização do *software*, mas principalmente, na interpretação dos resultados de um estudo de ACV. Tal conclusão demonstra que, paralelamente ao desenvolvimento de metodologias e tecnologias simplificadas para a aplicação da ACV no processo de projeto, é necessário também o desenvolvimento e planejamento de estratégias de educação e conscientização envolvendo o conceito de ACV e seus princípios metodológicos.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, S. Novas formas de pensar o processo de projeto e o produto edifício – modelagem, de produto – BIM. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 7., 2007, Mesa redonda. Curitiba, *Anais...*, Curitiba, 2007.
- ANDRADE, M.L.V.X.; RUSCHEL, R. C. BIM: conceitos, cenário das pesquisas publicadas no Brasil e tendências. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DE PROJETOS, 1., 2009, São Carlos. *E-Anais ...*. São Carlos: Rima Editora, 2009.p. 602-613.
- BARISON, M. B.; SANTOS, E. T. An overview of BIM specialists. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING, 2010, Nottingham. *Proceedings...* Nottingham: Nottingham University Press, p. 141. 2010.
- BIOTTO, C. N.; FORMOSO, C. T.; ISATTO, E. L. Método para o uso da modelagem BIM 4D na gestão da produção em empreendimentos de construção. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENTAC, 14., 2012, Juiz de Fora, *Anais...* Juiz de Fora: ENTAC, 2012.
- BUENO, C.; ROSSIGNOLO, J. A.; OMETTO, A. R. Life cycle assessment and the environmental certification systems of buildings. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, São Paulo, v. 8, n.1, p. 7-18, jan./jun., 2013a.
- BUENO, C.; ROSSIGNOLO, J. A.; OMETTO, A. R. Environmental impact assessment of building materials on GBTool e SBTool rating systems: evolution in the use of lifecycle Thinking. In: BESS-SB13 CALIFORNIA: Advancing Towards Net Zero., 2013, Pomona, *Proceedings...*, Pomona: Pablo La Roche; Judson Taylor, 2013b. p. 205-210.

- BUENO, C.; ROSSIGNOLO, J. A.; OMETTO, A. R. Use of life cycle thinking for environmental impact assessment of building materials: new developments in the LEED certification system. In: LCM 2013 –INTERNATIONAL CONFERENCE ON LIFE CYCLE MANAGEMENT, 6.,2013, Gothenburg, *Proceedings...* Gothenburg: LCM, 2013c.
- BUENO, C.; FABRICIO, M. M. Integrating life cycle assessment and building information modelling: an overview. In: Euro-ELECS 2015 – LATIN-AMERICAN AND EUROPEAN CONFERENCE ON SUSTAINABLE BUILDINGS AND COMMUNITIES, 2015, Guimarães, Portugal, *Proceedings...* Guimarães: Euro-ELECS, 2015. p. 1521-1530.
- CEN, European Committee for Standardisation. *EN 15978 - Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings.Calculation method.*Brussels: CEN, 2011.
- CHEVALIER, J.L.; LE TENO, J.F. Requirements for an LCA-based model for the evaluation of the environmental quality of building products. *Building and Environment*, v. 31, n. 5, p. 487–491. 1996.
- CRESWELL, J. W. *Research Design. Qualitative, quantitative, and mixed approaches.* Singapore: SAGE, 2009.
- EADIE, R.; BROWNE, M.; ODEYINKA, H.; MCKEOWN, C.; MCNIFF, S. BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: an analysis. *Automation in Construction*, Amsterdam, v. 36, dec.2013, p.145-151. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2013.09.001>.
- EC-JRC. European Comission: Joint Research Centre. *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance.* União Européia: Institute for Environment and Sustainability, Eurporean Commission Joint Research Centre, 2010. Disponível em: < http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC48157/ilcd_handbook-general_guide_for_lca-detailed_guidance_12march2010_isbn_fin.pdf >
- ERLANDSSON, M.; BORG, M. Generic LCA-methodology applicable for buildings, constructions e operation services: today practice e development needs. *Building and Environment*, Oxford, v. 38, n. 7, p. 919 – 938, 2003.
- FINNVEDEN, G.; HAUSCHILD, M. Z.; EKVALL, T.; GUINÉE, J.; HEIJUNGS, R.; HELLWEG, S.; KOEHLER, A.; PENNINGTON, D.; SUH, S. Recent developments in Life Cycle Assessment.*Journal of Environmental Management*, v. 91, n.1, p. 1–21. 2009.DOI: 10.1016/j.jenvman.2009.06.018.
- FRISCHKNECHT, T.; JUNGBLUTH, N.; ALTHAUS, H.J.; DOKA, G.; DONES, R.; HECK, T. *et al.* The ecoinventdatabase: overview e methodological framework. *International Journal of Life Cycle Assessment*,v. 10, n. 1, p. 3-9. 2005.
- GUSTAVSSON, L.; JOELSSON, A. Life cycle primary energy analysis of residential buildings. *Energy and Buildings*, v. 42, n. 2, p. 210-220, 2010.
- HJELSETH, E. Exchange of relevant information in BIM objects defined by the Roleandlife cycle information model. *Architectural Engineering and Design Management*, v.6, n. 4, p. 2010.
- IBRAHIM, M.; KRAWCZYK, R. *The level of knowledge of CAD objects within the building information model.* ACADIA 2003 Conference, Muncie, IN, p. 173–177, 2003.
- IKP-PE. *GaBi 4: software-system e databases for life cycle engineering.*, Stuttgart, Echterdingen. 2002.
- ISIKDAG, U. Design patterns for BIM-based service-oriented architectures. *Automation in Construction*, v. 25, p. 59-71, Aug., 2012.DOI:10.1016/j.autcon.2012.04.013
- ISO, International Standards Organization. *ISO 14044: Environmental knowledge of CAD objects within the building information model,* ACADIA 2003 Conference, Muncie, IN, USA management: life cycle assessment requirements e guidelines. 2006.
- JOHN, V.M.; OLIVEIRA, D.P.; AGOPYAN, V. Critérios de sustentabilidade para seleção de materiais e componentes: uma perspectiva de sustentabilidade para países em desenvolvimento. *JournalofBuildingEnvironment*, 2006.
- JUNG, Y.; JOO, M. Building information modelling (BIM) framework for practical implementation. *Automation in Construction*, v. 20, n. 2, p. 126–133. 2011. DOI: 10.1016/j.autcon.2010.09.010.

- JUNG, Y.; KANG, S. Knowledge-based standard progress measurement for integrated cost e schedule performance control. *Journal of Construction Engineering e Management*, ASCE v. 133, n. 1, p. 10–21. 2007.
- KAEBEMICK, H.; SUN, M.; KARA, S. Simplified lifecycle assessment for the early design stages of industrial products. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, v. 52, n. 1, p. 25–28. 2003.
- KELLENBERGER, D.; ALTHAUS, H. J. Relevance of simplifications in LCA of building components. *Building and Environment*, v.44, n.4, p. 818–825. 2009.
- KLÖPFER, W. The role of SETAC in the development of LCA. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 11, p.116. 2006. DOI: <http://dx.doi.org.ez67.periodicos.capes.gov.br/10.1065/lca2006.04.019>
- KULAY, L.A.; HANSEN, A. P.; SILVA, G. A. *Inventário do ciclo de vida de porcelanato esmaltado obtido via rota úmida de processamento*. In: CONGRESSO BRASILEIRO EM GESTÃO DE CICLO DE VIDA EM PRODUTOS E SERVIÇOS, 2.2010, Florianópolis. *Anais...*, Florianópolis: UFSC, 2010. p. 35-40.
- KUNZ, J. FISCHER, M. *Virtual design e construction: themes, case studies e implementation suggestions*. Center for Integrated Facility Engineering, Stanford University, California, USA. 2005. Disponível em: < <http://cife.stanford.edu/node/187> >. Acesso em 10.ago.2016.
- LEITE, F.; AKCAMETE, A.; AKINCI, B.; ATASOY, G.; KIZILTAS, S. Analysis of modeling effort and impact of different levels of detail in building information models. *Automation in Construction*, v. 20, n. 5, p. 601-609, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2010.11.027>.
- LEMAIRE, S. *Aide aux choix des produits de construction sur la base de leurs performances environnementales et sanitaires*. Thèse de Doctorat, (INSA de Lyon). 2006.
- LEMAIRE, S.; CHEVALIER, J.; GUARRACINO, G.; HUMBERT, H. Using the French EPDs to compare e to choose building products. In: CIB WORLD BUILDING CONGRESS “CONSTRUCTION FOR DEVELOPMENT”, 17.,2007, Cape Town, *Proceedings...*Cape Town, 2007.
- LINDEROTH, H. C. J. Understanding adoption e use of BIM as the creation of actor networks. *Automation in Construction*, v. 19, n. 1, p. 66-72, 2010. DOI:10.1016/j.autcon.2009.09.003.
- LOVE, P. E. D.; MATTHEWS, J.; SIMPSON, I.; HILL, A.; OLATUNJI, O. A.A benefits realization management building information modeling framework for asset owners. *Automation in Construction*, v.37, p. 1-10, jan. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2013.09.007>.
- MONTEIRO, A.; MARTINS, J. P. A survey on modeling guidelines for quantity takeoff-oriented BIM-based design. *Automation in Construction*, v. 35, p. 238-253, nov. 2013.
- ORTIZ, O.; CASTELLS, F.; SONNEMANN, G. Sustainability in the construction industry: a review of recent developments based on LCA. *Construction and Building Materials*, v. 23, n. 1, p. 28–39, jan. 2009. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2007.11.012.
- OZEL, F.; KOHLER, N. Data modeling issues in simulating the dynamic processes in life cycle analysis of buildings. *Automation in Construction*, v. 13, n. 2, p. 167-174. 2004.
- PENTTILÄ, H. Describing the changes in architectural information technology to understand design complexity e free-form architectural expression. *ITcon*, v. 11, p. 395–408. 2006. (Special Issue The Effects of CAD on Building Form e Design Quality).
- REZGUI, Y.; BEACH, Th.; RANA, O. A governance approach for BIM management across lifecycle and supply chains using mixed-modes of information delivery. *Journal of Civil Engineering and Management*, v. 19, n. 2, p. 239-258, 2013.
- SCHEER, S.; AMORIM, S. R. L.; SANTOS, E. T.; FERREIRA, R. C.; CARON, A. M. The scenario and trends in the Brazilian IT building applications experience. *Journal of Information Technology in Construction*, Ljubljana, v. 12, p. 193-206, 2007.
- SIA, Swiss Society of Engineers and Architects. SIA 2032 - L'énergie grise desbâtiments. 2010.
- SOARES, S. R.; PEREIRA, S. W. Inventário da produção de pisos e tijolos cerâmicos no contexto da análise do ciclo de vida. *Ambiente Construído: Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 83-94, abr./jun. 2004.
- SOARES, S. R.; SOUZA, D. M.; PEREIRA, S. W. Avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil. In: SATTLER, M. A.; PEREIRA, F. O. R. (Eds). *Construção e meio ambiente*. Porto Alegre, 2006. p. 97-127. (Coletânea Habitare; 7). Disponível em: < http://www.habitare.org.br/arquivosconteudo/ct_7_cap4.pdf >

- SUCCAR, B. Building information modelling framework: a research e delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, v. 18, n. 3, p. 357–375. 2009.
- VERBEECK, G.; HENS, H. Life cycle inventory of buildings: a calculation method. *Building and Environment*, v. 45, n. 4, p. 1037–1041. 2010a. DOI:10.1016/j.buildenv.2009.10.012.
- VERBEECK, G.; HENS, H. Life cycle inventory of buildings: a contribution analysis. *Building and Environment*. v. 45, n.4, p. 964-967, 2010b. DOI: <http://dx.doi.org.ez67.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.buildenv.2009.10.003>.
- WONG, J.K.W.; LI, H.; WANG, S.W. Intelligent building research: a review. *Automation in Construction*, v. 14, n. 1, p. 143-159. 2005.
- WU, W.; ISSA, R. BIM Enabled building commissioning and handover. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL ENGINEERING, 2012, Clearwater Beach, *Proceedings...*Clearwater Beach: American Society of Civil Engineers, 2012, p. 237-244. DOI: <http://dx.doi.org/10.1061/9780784412343.0030>.

Nota do Autor

Agradecemos o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo financiamento desta pesquisa (processo nº2013/24046-0).

Nota do Editor

Data de submissão: 29/07/2015

Aprovação: 16/05/2016

Revisão: Izolina Rosa

Cristiane Bueno

Universidade de São Paulo. Instituto de Arquitetura e Urbanismo (IAU-USP).

CV: <http://lattes.cnpq.br/2049901634471620>

bueno.cristiane@gmail.com

Márcio Minto Fabricio

Universidade de São Paulo. Instituto de Arquitetura e Urbanismo (IAU-USP).

CV: <http://lattes.cnpq.br/0618509402775224>

marcio@sc.usp.br