



DIAGNÓSTICO DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA RELACIONADA À APLICAÇÃO DO BIM À METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

Lucas Rosse Caldas

Matheus Leoni Martins Nascimento

Michele Tereza Marques Carvalho

Rosa Maria Sposto

lrc.ambiental@gmail.com

leoni.matheus@gmail.com

micheleteza@unb.br

rmsposto@unb.br

Universidade de Brasília (UnB)

Campus Universitário Darcy Ribeiro, CEP 70910-900, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

Resumo. A aplicação do Building Information Modeling (BIM) pelas construtoras brasileiras aos poucos vem aumentando, pela facilidade na modelagem e planejamento das edificações em 3D. Outra questão em discussão no setor da construção são as pressões ambientais e a necessidade de um desenvolvimento sustentável, o que levou, nos últimos anos, a um crescimento significativo de estudos nacionais e internacionais utilizando a metodologia Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) como forma de avaliar o desempenho ambiental das edificações. No entanto, a associação destas ferramentas ainda foi pouca estudada no país, necessitando de estudos mais aprofundados que as relacionem. Neste contexto, o objetivo do trabalho foi apresentar um diagnóstico da atual produção científica relacionada à aplicação do BIM na realização de projetos de edificações que utilizem a ACV. O método utilizado foi a pesquisa bibliográfica em artigos, dissertações e teses brasileiras e artigos publicados em periódicos internacionais. Espera-se, com a crescente utilização do BIM na elaboração e planejamento de projetos, um aumento da facilidade na realização da avaliação do desempenho ambiental das edificações, por meio da ACV, contribuindo assim para o aumento do número de construções sustentáveis.

Palavras-chave: BIM, ACV, Projeto, Edificações sustentáveis.

1 INTRODUÇÃO

A contribuição das edificações para a degradação ambiental tem sido alvo de amplas discussões em nível global. Desta forma, a busca pela sustentabilidade tornou-se o objetivo de muitos projetos atualmente. De acordo com MacGraw-Hill Construction (2013), as razões para se construir edificações sustentáveis relacionam-se a aspectos sociais e ambientais, e em 2012, para uma pesquisa realizada em nove diferentes países, cerca de 38% dos projetos em atividade eram sustentáveis (edificações com alguma certificação ambiental conhecida, ou construídos com qualidade para tais certificações).

Uma forma de mensurar o desempenho ambiental das edificações é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Por meio da ACV é possível avaliar de forma holística e abrangente o impacto ambiental de um material, edificação, sistema ou instalação ao longo do seu ciclo de vida, englobando as etapas da extração da matéria-prima, fabricação, transporte, uso, manutenção e a destinação final (Keeler; Burke, 2010).

Outra ferramenta importante é o *Building Information Modeling* (BIM), que segundo Wong e Fan (2013), é uma tecnologia inovadora, que tem crescido nos últimos anos e torna possível alcançar com mais eficiência projetos sustentáveis. Aliado a estes conceitos, surge também o termo *Green BIM*, que busca alcançar a sustentabilidade e/ou a melhoria no desempenho da edificação através do BIM (MacGraw-Hill Construction, 2010).

Neste contexto, o objetivo do trabalho foi apresentar um diagnóstico da atual produção científica relacionada à aplicação do BIM na realização de projetos de edificações que utilizem a ACV. Primeiramente foi realizado um diagnóstico qualitativo, de forma a apresentar estudos brasileiros e internacionais. E ao final um diagnóstico quantitativo, onde foram levantados a quantidade de trabalhos pesquisados, o formato de dados (extensão) e os tipos de softwares de modelagem 3D e ambientais utilizados nestes trabalhos.

2 MÉTODO

O método utilizado foi a pesquisa bibliográfica, dividida em três etapas. Primeiramente foram levantadas as dissertações e teses defendidas no Brasil, entre 2005 e 2015, que tratavam do tema BIM e ACV. A busca se dividiu em duas fases, sendo que na primeira foram visitadas as páginas dos programas de pós-graduação dos cursos de engenharia civil, arquitetura e urbanismo de todas as universidades federais do país, onde foi utilizada a palavra BIM para filtragem dos trabalhos; a segunda fase, como forma de validar a busca, foi realizada nas páginas das bibliotecas das universidades, também utilizando a palavra BIM para filtragem. De todos os trabalhos relacionados ao BIM, foram selecionados somente aqueles com a temática descrita acima.

A segunda etapa da pesquisa foi à busca por artigos publicados no Brasil, no âmbito da Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (ANTAC), que é a principal associação brasileira relacionada à área de sustentabilidade do ambiente construído, responsável por promover a integração, intercâmbio e a difusão de conhecimentos entre as várias instituições vinculadas à produção de pesquisa, ao fomento e à utilização de tecnologias (ANTAC, 2015). Outro motivo dessa escolha foi a disponibilidade, de forma rápida e fácil, de artigos originados de vários eventos promovidos pela associação, na página denominada de infoHab. Desta forma, foi acessada a página da infoHab e utilizada a palavra

BIM como critério de busca. Dos artigos encontrados, foram selecionados somente aqueles que relacionavam a aplicação do BIM a ACV.

A última etapa da pesquisa bibliográfica consistiu na busca de artigos publicados em periódicos internacionais. Por meio da plataforma de periódicos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) foram utilizadas as palavras de busca *Green BIM*, *BIM* e *LCA (Life Cycle Assessment)*. Desta forma, todos os artigos encontrados, e que estavam de acordo com a temática proposta, foram selecionados.

Ao final da seleção, os artigos, dissertações e teses compatíveis com o tema proposto foram tabulados em planilha eletrônica (utilizando o Excel), e analisados de forma qualitativa e quantitativa. Para o primeiro caso buscou-se identificar de que forma o tema vem sendo abordado por diferentes pesquisadores, e para o segundo foi feita a quantificação de acordo com: formato de dados, software de modelagem em 3D utilizado, software ambiental de primeiro e segundo nível utilizados e certificação ambiental utilizada no terceiro nível.

3 UTILIZAÇÃO DO BIM NO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL

A utilização de ferramentas computacionais como o BIM representa uma nova geração de ferramentas *Computer Aided Design (CAD)* aplicadas ao ciclo de vida do projeto, como forma de gerenciamento de informações. Os profissionais que atuam na área de arquitetura, engenharia e construção necessitam se adaptar a estes novos instrumentos, em direção à colaboração, interoperabilidade e reutilização da informação. Tal modificação tem como principal objetivo a competitividade e melhoria contínua no processo de desenvolvimento do projeto (Marcos, 2009).

Com a utilização do BIM, os projetos ficam cada vez mais detalhados, seja pela maior quantidade e qualidade das informações relacionadas ao modelo ou pela automatização dos elementos do projeto. No entanto, é importante ressaltar que o BIM não é apenas uma mudança de tecnologia, mas também uma mudança no processo (Eastman *et al.*, 2011).

O BIM pode ser classificado em dimensões, que vão da 2D à 7D. Na dimensão 2D são tratados desenhos simples, como plantas, cortes e elevações; diferentemente da próxima que trás um modelo digital 3D. Já o 4D integra o tempo na sequência de fases e construção 3D; o 5D acrescenta o custo; 6D ciclo de vida e gerenciamento energético e 7D questões ligadas a segurança (Motoan, 2015).

Por meio do emprego de softwares integrados BIM, é possível transformar os diversos projetos envolvidos em uma edificação em um modelo único, possibilitando uma série de vantagens para os profissionais envolvidos nesta etapa. O trabalho em equipe é uma das principais vantagens, pois cada profissional envolvido tende a enxergar apenas as partes que lhe interessam, e com a utilização do processo BIM é possível uma maior comunicação entre todos estes projetos, diminuindo significativamente as não compatibilizações comumente encontradas. No entanto, para que esta comunicação seja alcançada, é necessária a interoperabilidade entre diversos softwares utilizados (Bryde *et al.*, 2013; Volk *et al.*, 2014).

Segundo Campos (2014), a interoperabilidade pode ser definida como a capacidade da troca de dados entre diferentes aplicativos ou softwares, o que facilita a automação e fluxos de trabalho. Para a utilização das plataformas BIM, este conceito é fundamental, pois o arquivo eletrônico necessita transitar em diferentes softwares e ser compreendido por todos eles, sem a perda de informações.

Os dados exportados a partir de uma aplicação BIM podem ser formatados utilizando os formatos (extensão) IFC (*Industry Foundation Class*), aecXML, ou gbXML (*Green Building Extensible Markup Language*). Estes são meios que foram desenvolvidos para assegurar a troca de dados consistente e a interoperabilidade entre diversos aplicativos BIM incluindo aqueles para controlar o uso de energia nas edificações, tais como modelagem de geometria, projetos ligados ao HVAC (aquecimento, ventilação e condicionamento ambiental) e gestão de instalações. (Motawaa e Carterb, 2013).

4 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA (ACV) APLICADA À EDIFICAÇÕES

A metodologia de ACV tem sido utilizada para a avaliação do desempenho ambiental de diversos processos e produtos, inclusive aqueles ligados ao setor da construção civil. Na Fig. 1 é apresentada a divisão das etapas que envolvem uma ACV no setor de edificações.

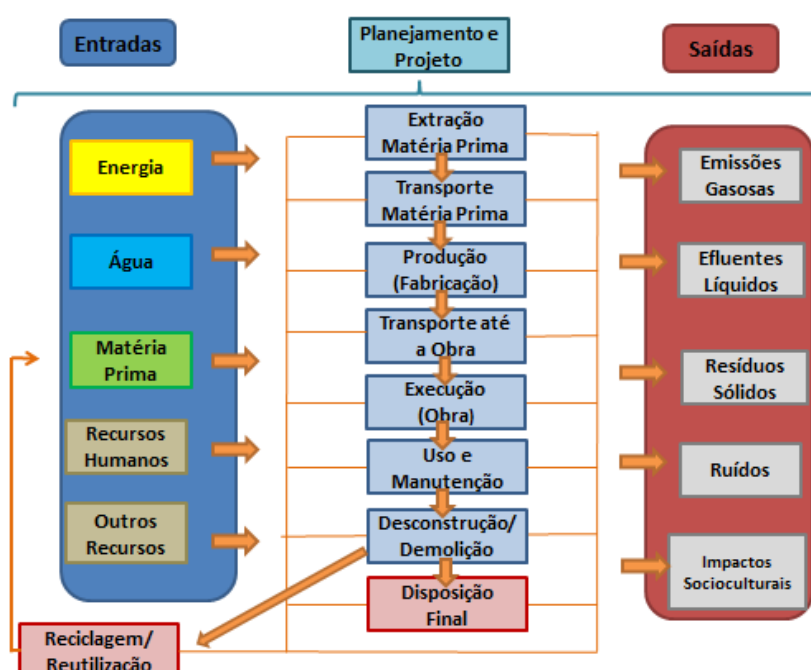


Figura 1. Etapas contempladas na ACV aplicada ao setor de edificações: elaborada pelos autores, 2015

A partir da figura 1, é possível observar a complexidade de avaliar os impactos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida da edificação. Outro ponto a ser destacado é a importante função da etapa de planejamento e projeto, pois é nesta etapa que serão definidos os materiais e os processos que a ser empregados. No entanto, o que se observa atualmente, e principalmente para a realidade brasileira, é a frequente elaboração de projetos incompletos e que não se comunicam entre si, onde o principal foco está nos custos envolvidos. O resultado desta prática são edificações com inúmeras falhas técnicas e a maioria sem levar em consideração os aspectos ambientais.

No entanto, esta realidade tende a mudar, visto a crescente preocupação com os impactos ambientais decorrente das atividades relacionadas às edificações. Espera-se que cada vez mais, aspectos ambientais ganhem maior peso nos processos decisórios, principalmente na escolha de materiais, onde a avaliação do ciclo de vida da edificação passa a ser uma ferramenta de análise básica no desenvolvimento de qualquer projeto de edificações.

Bribián *et al.* (2011) apresentam uma explicação interessante para aplicação da ACV no escopo do projeto de edificações. Segundo os autores, o foco do ACV deve estar na ajuda de tomada de decisão quando da escolha da melhor tecnologia disponível, como forma de minimizar os impactos ambientais das edificações através da sua concepção ou renovação. Muitas vezes, soluções que são apresentadas como mais baratas a curto e médio prazo podem apresentar altos custos de manutenção e de disposição dos resíduos ao fim da vida útil. Portanto, é fundamental aplicar a visão de ciclo de vida para levar em consideração também os custos econômicos e ambientais, identificando a tecnologia mais ecoeficiente.

Atualmente, principalmente fora do país, existem muitos esforços para incorporar a ACV no projeto de edificações, entre eles o desenvolvimento de ferramentas computacionais (softwares) e banco de dados com a disponibilidade de informações ambientais de grande parte dos materiais utilizados em uma edificação. Kulahcioglu *et al.* (2012) dividem estas ferramentas em três níveis, apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Ferramentas para a avaliação do desempenho ambiental de edificações: adaptado de Kulahcioglu *et al.* (2012)

Ferramentas	Descrição	Exemplos de Ferramentas	Baseado em ACV	Fase do ciclo de vida da edificação	Possibilidade de visualização da edificação
Primeiro Nível	Ferramentas de comparação de produtos baseadas nos impactos ambientais	BEES, <i>OpenLCA</i> , <i>GaBi</i> , <i>SimaPro</i> , <i>Athena Impact Estimator</i>	Sim	Pré-uso, manutenção e pós-uso	Não
Segundo Nível	São ferramentas para o projeto de toda a edificação, permitindo a tomada de decisão. Normalmente realizam a simulação do desempenho ambiental (foco no energético) da edificação.	<i>Autodesk EcoTect</i> , <i>Energy Plus</i>	A maioria não	Uso e manutenção	A maioria sim
Terceiro Nível	Ferramentas de avaliação de	LEED, AQUA,	-	Todo o ciclo de vida	-

Ferramentas	Descrição	Exemplos de Ferramentas	Baseado em ACV	Fase do ciclo de vida da edificação	Possibilidade de visualização da edificação
	toda a edificação. Certificações ambientais.	BREEAM			

Nos últimos anos houve um crescimento considerável de trabalhos publicados, tanto nacionais como internacionais, utilizando a ACV como forma de medir o desempenho ambiental ao longo do ciclo vida das edificações. A maioria dos trabalhos foca nas questões de consumo de energia e emissões de CO₂ sendo muitos deles voltados especificamente na análise da influência das fachadas relacionadas ao desempenho térmico e energético da edificação. Podem ser citados os trabalhos de Mithraratne e Vale (2004), Thormark (2006), Huberman e Pearlmutter (2008), Kim (2011), Taborianski e Prado (2012), Nordby e Shea (2013), Maciel (2013), Palácio (2013), Rakhshan *et al.* (2013), Radhi e Sharples (2013) e Iwaro e Mwasha (2013).

Observa-se que as outras partes da edificação, como revestimentos de pisos, instalações hidráulicas/sanitárias e outras não merecem a devida atenção. Um dos motivos para esta ocorrência é o fato destes sistemas não estarem diretamente relacionados ao desempenho energético da edificação e, portanto, não contribuírem com a fase de operação. No entanto, estes sistemas ao longo do ciclo de vida necessitam passar pelo processo de manutenção, em que a energia e emissões dos materiais de reposição devem ser contabilizadas.

Outro motivo provável é a dificuldade de quantificar os vários sistemas que compõem uma edificação. Mesmo a própria fachada na maior parte dos trabalhos é definida a partir da unidade funcional em m², sendo considerado um sistema homogêneo, onde as aberturas e alguns detalhes construtivos, como peitoris, por exemplo, não são contabilizados. Portanto, é necessário melhorar esta etapa de quantificação dos materiais e isto pode ser feito pela utilização de novas tecnologias e softwares mais sofisticados.

Dentro da realidade brasileira é notório o atraso no quesito elaboração e planejamento de projetos. Em grande parte das construtoras ainda é utilizado o AutoCAD como ferramenta de desenho, mas nestes últimos anos este vem tendo seu uso reduzido, devido ao aparecimento de outros *softwares* mais avançados. Dentre estes podem ser citados o *Revit* da *Autodesk*, *Navisworks*, *Bentley Architecture*, *Graphisoft ArchiCAD*, *Tekla* ou *Nemetschek Allplan* (Volk, R. *et al.*, 2014), sendo que estes últimos conseguem ser integrados ao processo BIM.

O cenário político brasileiro vem passando por modificações, o que traz um aumento na cobrança de melhorias no setor da construção civil, principalmente aquelas relacionadas à sustentabilidade. Políticas governamentais como a de compras sustentáveis e a instituição do Programa Brasileiro da Avaliação do Ciclo de Vida (PBACV) vem pressionando vários setores, inclusive o da construção civil para a contabilização de impactos e elaboração do inventário de Ciclo de Vida para Competitividade Ambiental da Indústria Brasileira (Cavalcanti, 2012).

Outra prática, que esta relacionada diretamente a indústria da construção é a tendência da obrigatoriedade da utilização do BIM nos projetos nas etapas licitatórias. Do lado das

empresas privadas, é observada a crescente demanda por certificações ambientais voltadas às edificações no Brasil, como a *Leadership in Energy & Environmental Design (LEED)* e *Alta Qualidade Ambiental (AQUA)*. Portanto, espera-se que a utilização do BIM aplicada à realização da ACV, buscando facilitar o desenvolvimento de projetos de edificações sustentáveis amplie-se nos próximos anos, facilitando a análise ambiental das edificações. E para isto é necessário que mais pesquisas sejam desenvolvidas nesta temática. Na Fig. 2 é apresentado o cenário brasileiro discutido acima.

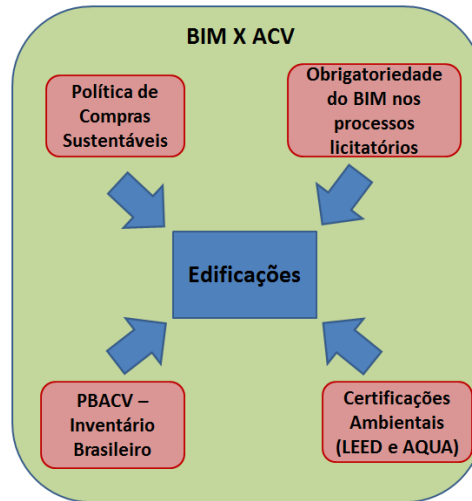


Figura 2. Utilização do BIM relacionado à sustentabilidade das edificações no contexto brasileiro: elaborada pelos autores, 2015

5 RESULTADOS

5.1 Diagnóstico Qualitativo

Com base na pesquisa bibliográfica realizada nas universidades federais brasileiras, o acervo da ANTAC e os artigos dos periódicos internacionais disponibilizados na plataforma da CAPES, foram levantados os estudos que tratavam da relação entre BIM e ACV. Na Fig. 3 é apresentado o número de trabalhos encontrados e utilizados nesta pesquisa.

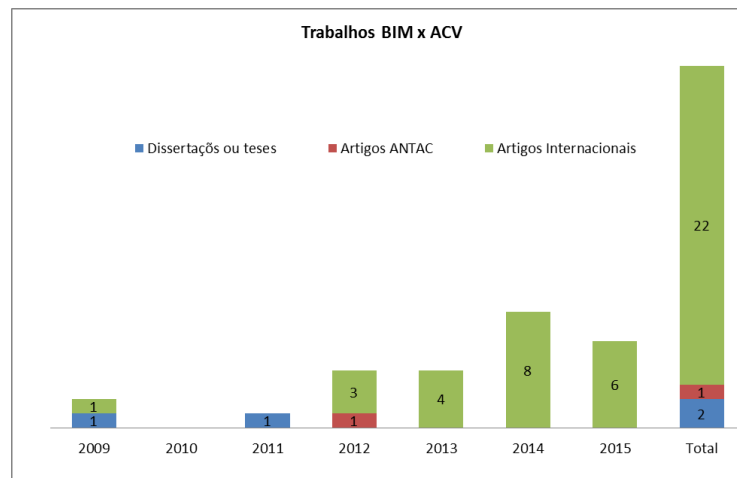


Figura 3. Trabalhos encontrados: elaborada pelos autores, 2015

A partir da Fig. 3, observa-se a pequena quantidade de trabalhos que relacionam a utilização do BIM a ACV, principalmente no Brasil. Tal constatação é um indicativo da necessidade de ampliar a quantidade de pesquisas nesta temática, principalmente nas universidades federais brasileiras.

A dissertação de Marcos (2009), provavelmente foi a primeira no país que relacionou a aplicação do BIM a ACV. O objetivo da pesquisa foi avaliar a emissão de CO₂ na fase pré-operacional da construção, em dois tipos de habitação de interesse social, utilizando o sistema CAD-BIM. Foi possível quantificar o total de emissão de CO₂ para cada habitação de forma mais fácil, visto que o projeto das habitações foi modelado no software *Graphisoft ArchCAD* e passou pelo processo BIM. No entanto, o estudo não explorou outros benefícios da ferramenta, mas mostrou a viabilidade de aplicar a ferramenta, pelo menos na fase pré-operacional do ciclo de vida.

Martins (2011) verificou a interoperabilidade entre sistemas BIM e simuladores ambientais, como forma de avaliar a contribuição da plataforma para a eficiência energética em edificações. Um mesmo modelo de edificação foi desenvolvido em dois programas do tipo BIM. Posteriormente este modelo foi exportado, no formato gbXML, para dois simuladores ambientais onde foram feitas simulações e análises da luz natural e artificial. Após esse processo o modelo de edificação foi exportado de volta para o BIM a fim de ser atualizado. Foram utilizados os sistemas BIM *Graphisoft ArchiCAD 14* e *Autodesk Revit Architecture 2011* e os simuladores ambientais *Autodesk Ecotect Analysis 2011* e *IES-VE (Integrated Environmental Solution-Virtual Environment)*. Os resultados desse estudo mostraram a falta de interoperabilidade integral entre os programas estudados. Foi necessário reconfigurar o modelo após a exportação para os simuladores ambientais estudados.

Na busca realizada na plataforma do InfoHab foi encontrado somente um artigo publicado por Graf *et al.* (2012). Estes autores realizaram um estudo de viabilidade como forma de mensurar os impactos ambientais, por meio da quantificação da energia e CO₂ incorporado de uma habitação, utilizando o software *Autodesk Revit Architecture 2012* com o conceito BIM. Foram inseridos dados de energia e CO₂ no *software* e os resultados foram comparados com os obtidos de uma planilha eletrônica. A diferença encontrada foi em torno de 0,006%, portanto, sendo considerada desprezível. A principal conclusão do estudo foi a constatação da permissão de alteração da composição espacial (*layout*) da edificação com atualização automática dos resultados relacionados a impactos ambientais, no entanto a ferramenta não permitiu a alteração da composição dos materiais.

Dos artigos internacionais pesquisados, a maioria propõe métodos para integrar os softwares ambientais (*Gabi*, *SimaPro*, *EcoTect* e etc.) e softwares de modelagem 3D (*Autodesk Revit Architecture*, *Navisworks*, *Graphisoft ArchiCAD* e etc.) para a geração de projetos de edificações mais sustentáveis. É possível ver este tipo de estudo nos trabalhos de B. Li *et al.* (2012), Kulahcioglu, T. *et al.* (2012), Lee *et al.* (2012), Basbagill, J. *et al.* (2013), Motawa e Carteb (2013), Wang e Shen (2013), Gervásio *et al.* (2014), Jalaei e Jade (2014), Yung e Wang (2014), Jun *et al.* (2015). Desta forma foi construído um fluxograma resumido, para demonstrar, de forma geral, a proposta da maioria dos artigos internacionais pesquisados, de acordo com a Fig. 4.

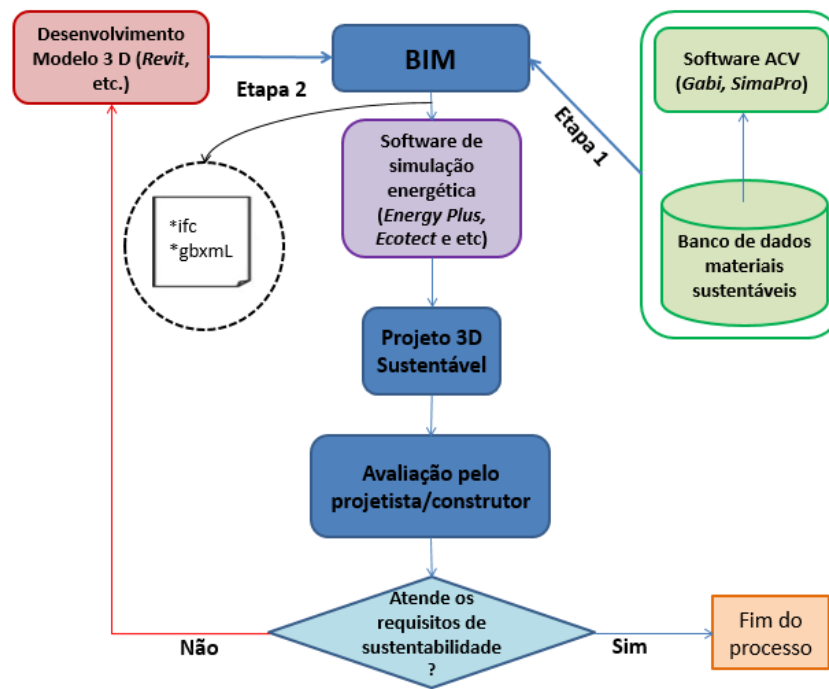


Figura 4. Fluxograma para o entendimento da aplicação do BIM nos estudos de ACV: elaborada pelos autores, 2015

De acordo com a Fig. 4, observa-se que a primeira etapa consiste na inserção de dados no sistema, principalmente relacionado a materiais sustentáveis. São empregados *softwares* que trabalham com ACV (primeiro nível), como o *Gabi* e *SimaPro*. Na segunda etapa é realizado o projeto em 3D da edificação, utilizando os dados dos materiais já inseridos, empregando *softwares* BIM como o *Autodesk Revit Architecture* e o *Graphisoft ArchCad*. De posse do modelo tridimensional, ele deve ser transferido para ser simulado em *softwares* ambientais de segundo nível, como o *Ecotect* e o *Energy Plus*. O modelo deve ser transferido em um formato capaz de ser entendido pelos *softwares* ambientais, como o IFC ou o gbXML, desta forma garantindo a interoperabilidade entre os sistemas.

Ao final do processo se obtém o projeto da edificação sustentável, em que podem ser estimados os impactos ambientais da edificação, gerados em todo seu ciclo, como quantidade de emissões, consumo de energia, de água e etc. A partir destes resultados o responsável pela avaliação ambiental pode verificar se o projeto da edificação irá atender os requisitos ambientais pré-determinados, e em caso positivo o processo chega ao fim, caso contrário é necessário retornar para o desenvolvimento do projeto novamente, identificando o que precisa ser melhorado para atingir os requisitos ambientais definidos. Os requisitos ambientais podem ser baseados em políticas ou legislação ambiental da localidade, e ainda estarem relacionados a programas de certificação ambiental, como o LEED e o AQUA, de forma a facilitar a obtenção deste tipo de certificação.

Portanto, observa-se que a integração entre o BIM e a metodologia de ACV para a produção de projetos de edificações sustentáveis é promissora, pois possibilita uma visão sistêmica do ciclo de vida da edificação, além de ser um processo iterativo, onde o engenheiro e o arquiteto podem tomar decisões ainda na fase de projeto, diminuindo a chance de eventuais falhas futuras.

5.2 Diagnóstico Quantitativo

Após a seleção e tabulação dos 25 trabalhos estudados nesta pesquisa, foram escolhidas cinco características para análise quantitativa. Sendo elas: (1) formato de dados, (2) software de modelagem em 3D utilizado, (3) software ambiental de primeiro nível utilizado e (4) software ambiental de segundo nível utilizado e (5) certificação ambiental utilizada no terceiro nível.

Dos 25 trabalhos considerados, apenas nove mencionavam a extensão utilizada. Destes, sete utilizaram gbXML (77,8%) e dois o IFC (22,2%), conforme Fig. 5.

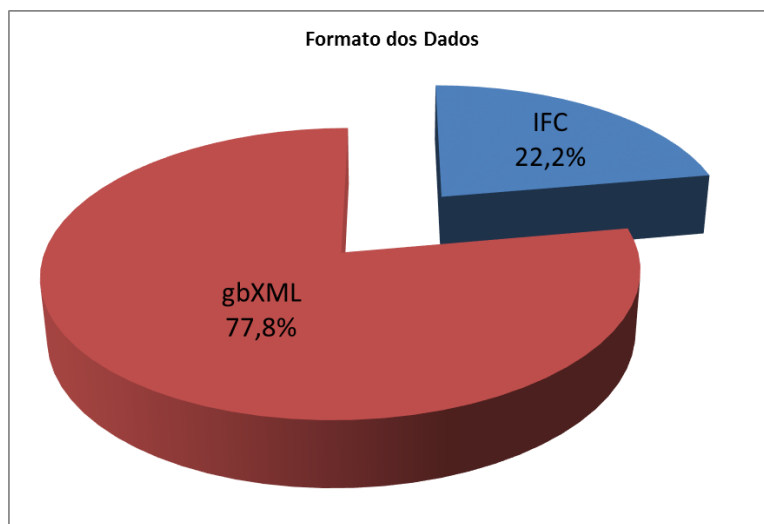


Figura 5. Formato dados: elaborada pelos autores, 2015

O gbXML é uma ferramenta para a construção de modelos de projetos que possibilita a posterior análise. É um formato de arquivo aberto desenvolvido para transportar facilmente as informações, construindo um formato consistente para apoiar a interoperabilidade através de processos. O benefício deste formato é que o mesmo pode ser relacionado com outros *softwares* BIM e executado de uma forma rápida e simples, devido à sua estrutura XML. Além disso, a edição e inserção de informações adicionais é simples porque a interface é intuitiva (Jun *et al.*, 2015).

O IFC é um modelo aberto padronizado de dados para BIM. Este possui representações de definições e formas para centenas de objetos, conseguindo relaciona-los entre si e as propriedades relacionadas a estes. O IFC é definido por especificações publicadas pela *buildingSMART International* (Kulahcioglu *et al.*, 2012).

No total 18 trabalhos utilizaram algum *software* para modelagem em 3D, sendo que os não contabilizados trataram a proposição de algum modelo teórico, novo *software* ou eram estados da arte sobre o tema. Observa-se que 14 trabalhos utilizaram o Autodesk Revit Architecture (77,8%), sendo empregado por pesquisadores de nove diferentes nacionalidades, com concentração norte-americana. Além do mais foi constatado a utilização em dois trabalhos o *Graphisoft ArchiCAD* (11,1%), e apenas um tanto para *Autodesk Naviswork* e *Google SketchUp* (5,6% para ambos), de acordo com a Fig. 6.

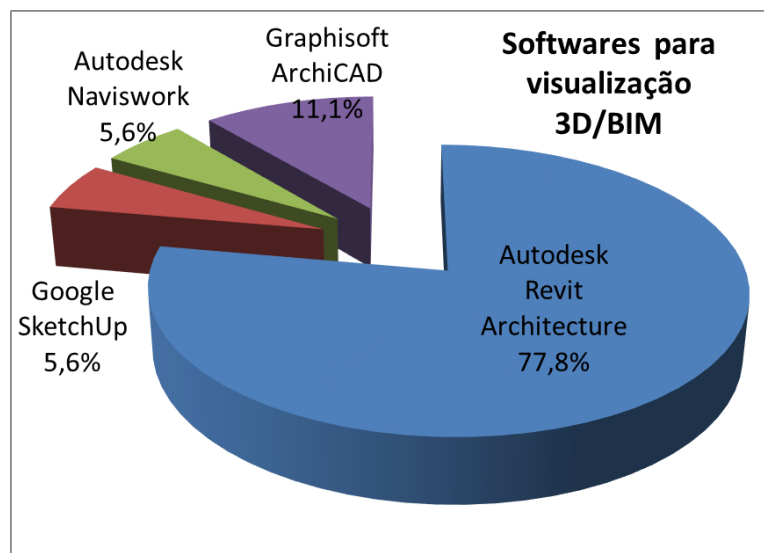


Figura 6. Software BIM utilizado: elaborada pelos autores, 2015

De acordo com a Fig. 7 nota-se que o software ambiental de primeiro nível mais utilizado foi o *SimaPro* (42,9 %), para um total de sete artigos que consideraram utilização destes. Também foram utilizados os softwares *ATHENA Impact Estimator* (28,6 %), além do *BEES* e *GaBi*, ambos com 14,3%. Estes têm a função de auxiliar na especificação de produtos e serviços, levando em consideração a ACV, de acordo com as normas ISO 14040 e 14044. Pode-se dizer que tanto a análise de primeiro e segundo nível são essenciais para a tomada de decisão durante a fase de projeto (Kulahcioglu *et al.*, 2012).

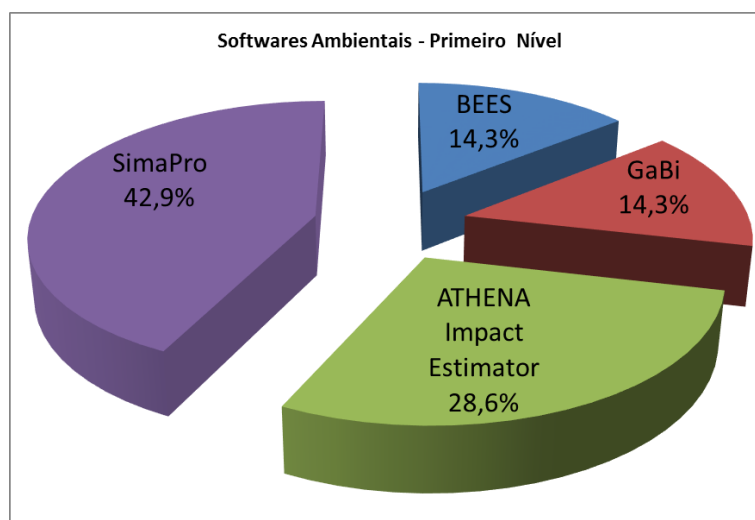


Figura 7. Quantificação dos softwares ambientais de primeiro nível: elaborada pelos autores, 2015

Em relação aos *softwares* de segundo nível a distribuição de ocorrências mostrou-se mais equilibrada. Para um total de 15 publicações com emprego deste tipo de programa, um total de quatro utilizaram o *Autodesk Ecotect* (26,7%). Destaca-se a grande utilização de *softwares* voltados para a análise energética, visto que atualmente, a maioria dos países busca uma maior eficiência neste quesito em seus processos, principalmente aqueles relacionados à operação das edificações. A Fig. 8 ilustra os softwares de segundo nível verificados.

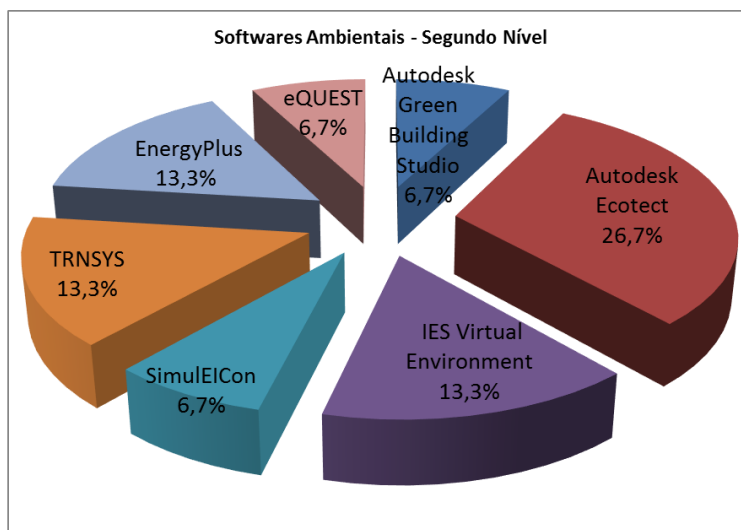


Figura 8. Quantificação dos softwares ambientais de segundo nível: elaborada pelos autores, 2015

As certificações ambientais foram consideradas em seis publicações. Dentre elas observou-se que quatro trabalhos abordaram o LEED (66,7%), segundo a Fig. 9. Isso ocorreu, provavelmente, pois os autores que utilizaram o mesmo tem origem norte-americana ou canadense, e esta certificação teve origem nos Estados Unidos. Além do mais, foi observada a ocorrência do sistema chinês BEAM PLUS e do sul-coreano G-SEED. Todas as aplicações tiveram o objetivo comum de facilitar a escolha de diferentes materiais e componentes, de forma a levar em consideração aspectos sustentáveis e exigências do sistema de certificação ambiental correspondente.

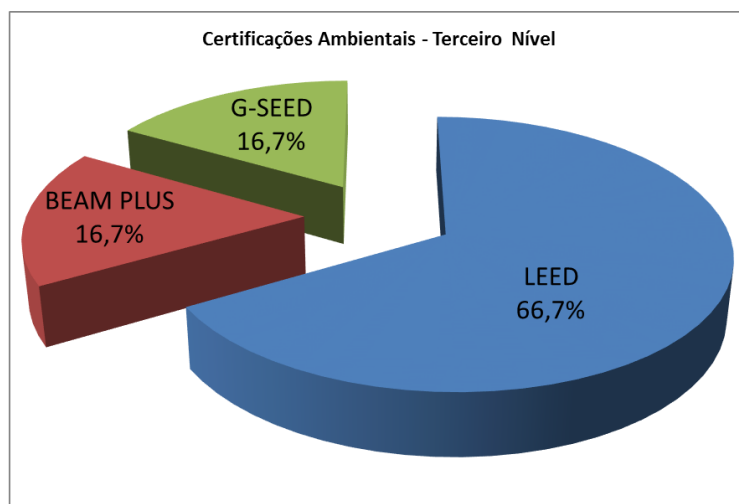


Figura 9. Quantificação dos softwares ambientais de terceiro nível: elaborada pelos autores, 2015

6 CONCLUSÕES

O trabalho apresentou uma discussão sobre a importância da utilização da ACV no estudo do desempenho ambiental de edificações. Foi discutida a importância do BIM aplicado aos projetos de edificações sustentáveis. Observou-se uma relação do BIM aplicado a estudos de ACV realizados no Brasil e em diversos países do mundo por meio de uma pesquisa bibliográfica. Espera-se que esta temática ganhe cada vez mais importância, visto a

necessidade do setor da construção civil, inclusive aquele relacionado às edificações, de quantificar e diminuir seus impactos ambientais. Foram mencionadas algumas políticas governamentais brasileiras que também servirão de incentivo para pesquisas nesta área.

Em relação às dissertações e teses brasileiras, observa-se que o estudo da relação entre BIM, ACV e sustentabilidade é um tema atual e ainda pouco pesquisado na academia, sendo com um número de publicações muito inferior ao das publicações internacionais. Portanto, há uma necessidade de mais pesquisas nesta temática para o desenvolvimento e melhoria dos programas computacionais utilizados no país, facilitando assim a elaboração de projetos de edificações mais sustentáveis.

Com base nos trabalhos pesquisados, conclui-se que: o formato (extensão) gbXML foi a mais utilizada, com 77,8%; o software *Autodesk Revit Architecture* foi o mais empregado, com 77,8%; o *SimaPro* foi o software ambiental de primeiro nível mais utilizado, com 42,9%, enquanto que o *Autodesk Ecotect* foi o software de segundo nível mais utilizado, com 26,7% e a certificação LEED a de terceiro nível, com 66,7%.

E por fim, as principais contribuições do trabalho foram: (1) trazer a discussão sobre a necessidade do desenvolvimento e melhoria das ferramentas computacionais utilizadas nos projetos de edificações, com o viés da sustentabilidade; (2) diagnóstico qualitativo e quantitativo da produção científica brasileira e mundial relacionada à aplicação do BIM à metodologia de ACV para projetos de edificações sustentáveis. O fluxograma apresentado para entendimento da aplicação do BIM nos estudos de ACV mostra de forma simples o que muitos estudos internacionais têm realizado. A partir desse diagnóstico, é possível saber a situação que o Brasil se encontra, em relação a outros países do mundo, no desenvolvimento de estudos relacionados ao BIM, ACV e sustentabilidade, e assim traçar estratégias para avançar no desenvolvimento deste tema para a realidade brasileira.

AGRADECIMENTOS

À Universidade de Brasília, ao Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil (PECC), bem como ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 14040: *Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura*. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 21 p.

_____. NBR ISO 14044: *Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações*. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. 46 p.

Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (ANTAC). Disponível em: <<http://www.antac.org.br/#!/objetivos/cqn6>>. Acesso em 12/02/2015.

B. Li ; F.F. Fu ; H. Zhong ; H.B. Luo., 2012. *Research on the computational model for carbon emissions in building construction stage based on BIM*. Structural Survey, Vol. 30 Iss 5 p. 411 - 425.

Basbagill, J.; Flager, F.; Lepech, M.; Fischer, M., 2013. *Application of life-cycle assessment to early stage building design for reduced embodied environmental impacts*. *Building and Environment*. V. 60. P. 81 – 92.

Bribián, I. Z.; Capilla, A. V.; Usón, A. A., 2011. *Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential*. *Building and Environment*. p. 1133-1140.

Bryde, D.; Broquetas, M.; Volm, J.M., 2013. *The project benefits of Building Information Modelling (BIM)*. *International Journal of Project Management*. V. 31. p. 971–980.

Campos, P. F., 2014. *Light Steel Framing – Uso em construções habitacionais empregando a modelagem virtual como processo de projeto e planejamento*. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo. São Paulo. 198 p.

Cavalcanti, E., 2012. *Programa Brasileiro de Avaliação de Ciclo de Vida – PBACV*. Workshop Mercosul. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Disponível em < http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl_1283451608.pdf > Acesso em 03/04/2015.

Eastman, C.; Teicholz, P.; Sacks, R.; Liston, K., 2011. *BIM Handbook – A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*. 2ª ed. Ed. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey.

Gervásio, H. ; Santos, P. ; Martins, R. ; Simões da Silva, L. A., 2014. *Macro-component approach for the assessment of building sustainability in early stages of design*. *Building and Environment*. v. 73. p. 256 e 270.

Graf, H. F.; Marcos, M. H. C.; Tavares, S. F.; Scheer, S., 2012. *Estudo de Viabilidade do uso de BIM para mensurar impactos ambientais de edificações por energia incorporada e CO₂ incorporado*. 2012. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, XIV, Juiz de Fora, Anais, Juiz de Fora.

Huberman, N.; Pearlmutter, D., 2008. *A life-cycle energy analysis of building materials in the Negev desert*. *Energy and Buildings*. p. 837-848.

Iwaro, J.; Mwasha, A., 2013. *The impact of sustainable building envelope design on building sustainability using Integrated Performance Model*. *International Journal of Sustainable Built Environment*. p. 153-171.

Jalaei, F.; Jrade, A., 2014. *An Automated BIM Model to Conceptually Design, Analyze, Simulate, and Assess Sustainable Building Projects*. *Journal of Construction Engineering*.

Jun, H.; Kim, I.; Lee, Y.; Kim, M., 2015. *A Study on the BIM Application of Green Building Certification System*. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*. v. 14. n. 1. p. 9-16.

Keeler, M.; Burke, B., 2010. *Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis*. ARTMED Ed. SA, Porto Alegre.

Kim, K. H. , 2011. *A comparative life cycle assessment of a transparent composite façade system and a glass curtain wall system*. *Energy and Buildings*. p. 3436 -3445.

Kulahcioglu, T ; Dang, Jb ; Toklu, C., 2012. *A 3D analyzer for BIM-enabled Life Cycle Assessment of the whole process of construction*. *HVAC&R Research*. V. 18. p. 283–293.

- Lee, Y. S., 2012. *Using Building Information Modeling for Green Interior Simulations and Analyses*. *Journal of Interior Design*. V. 37(1). p. 35–50.
- Maciel, A. C. F. 2013. Energia incorporada de fachadas ventiladas. Estudo de caso para edificação habitacional em Brasília-DF. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil. Universidade de Brasília. Brasília.146 p.
- Marcos, M. H. C., 2009. *Análise da Emissão de CO₂ na Fase Pré-Operacional da Construção de Habitações de Interesse Social Através da Utilização de Uma Ferramenta CAD-BIM*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Construção Civil. Universidade Federal do Paraná. Curitiba.130 p.
- Martins, P. C. F., 2011. *A Interoperabilidade Entre Sistemas BIM e Simulação Ambiental Computacional: Estudo de Caso*. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília. Brasília. 229 p.
- McGraw-Hill Construction. 2010. *How Building Information Modeling is Contributing to Green Design and Construction*. Bedford, MA.
- McGraw-Hill Construction. 2013. *World green building trends: Business benefits driving new and retrofit market opportunities in over 60 countries*, Bedford, MA.
- Mithraratne, N.; Vale, B., 2004. *Life cycle analysis model for New Zeland's houses*. *Building and Environment*. p. 483-492.
- Motawa, I.; Carterb, K., 2013. *Sustainable BIM-based Evaluation of Buildings*. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. V. 74. p. 419 – 428.
- Motoan, M. *As building information modelling starts to find applications in the bridge sector, Massimo Mantoan explains both the complexities of the process and the issue of software interoperability*. Disponível em: <
<http://www.bridgeweb.com/MemberPages/Article.aspx?typeid=3&id=3559>>. Acesso em: 21 de junho de 2015.
- Nordby, A. S.; Shea, A. D., 2013. *Building Materials in The Operational Phase – Impacts of Direct Carbon Exchanges and Hygrothermal Effects*. *Journal of Industrial Ecology*. v. 17. n.5 p. 763-776.
- Palacio, C. D. U., 2013. *Energia incorporada de vedações para habitação de interesse social considerando-se o desempenho térmico. Estudo de caso com utilização do light steel frame no entorno do DF*. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil. Universidade de Brasília. Brasília.123 p.
- Radhi, H., Sharples, S., 2013. *Global Warming implications of façade parameters: A life cycle assessment of residential buildings in Bahrain*. *Environmental Impact Assessment Review*. p. 99-108.
- Rakhshan, K.; Friess, W. A.; Tajerzadeh, S., 2013. *Evaluating the sustainability of improved building insulation: A case study in the Dubai residential environment*. *Building and Environment*. p. 105-110.
- Taborianski, V. M.; Prado, R. T. A., 2012. *Methodology of CO₂ emission in the life cycle of office building facades*. *Environmental Impact Assessment Review*. p. 41-47.
- Thormark, C., 2006. *The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building*. *Building and Environment*. p. 1019-1026.

Volk, R.; Stengel, J.; Schultmann, F., 2014. *Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs*. Automation in Construction. V.38. 109–127.

Wang, E. ; Shen, Z., 2013. *Lifecycle energy consumption prediction of residential buildings by incorporating longitudinal uncertainties*. Journal of Civil Engineering and Management 19(Supplement 1): S161-S171.

Yung, P.; Wang, X., 2014. *A 6D CAD Model for the Automatic Assessment of Building Sustainability*. International Journal of Advanced Robotic Systems. p. 1-10.