

Licensed under a Creative Commons
Attribution International License.

Cadernos de Arquitetura e Urbanismo | Paranoá 22

Contribuição do BIM no processo de quantificação de CO₂ no projeto de edificações: estudo de caso com o software Autodesk Revit

ARAÚJO, Moacy¹
SATTTLER, Miguel²

¹Instituto Camillo Filho, Especialista pela Universidade de Brasília, moacy.acnetto@gmail.com
²NORIE, Professor Doutor da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, masattler@gmail.com

Resumo

A necessidade da produção de ambientes mais sustentáveis se multiplica a cada dia. Para suprir tal necessidade, é de suma importância que a concepção de novas edificações seja voltada para a sustentabilidade. Pelo grande consumo de matérias primas e elevado consumo energético, a indústria da construção civil é a grande geradora de impactos. Entretanto, já existem ferramentas auxiliaadoras no processo de criação de edificações mais sustentáveis, como o uso do *Building Modeling Information* (BIM). Neste contexto, o objetivo desse trabalho é aplicar uma ferramenta BIM na análise do ciclo de vida de edificações, mostrando que é possível obter-se uma estimativa da quantidade de CO₂ incorporado emitido ainda na fase de projeto, tornando viável a escolha de matérias e métodos construtivos mais sustentáveis, uma vez que qualquer alteração feita no projeto dentro do *software* acarreta em uma atualização em tempo real dos cálculos de emissão de CO₂. Para isso, usou-se o projeto de uma casa sustentável de baixo custo. Contudo, conclui-se que o *software* atende às expectativas, mas o processo de inserção de dados ainda é um pouco trabalhoso.

Palavras-Chave: BIM, Revit, CO₂, Sustentabilidade, Projeto.

Abstract

The need to produce more sustainable environments is growing every day. To meet this need, it is of the utmost importance that the design of new buildings be geared towards sustainability. Due to the great consumption of raw materials and high-energy consumption, the construction industry is the great generator of impacts. However, there are already tools to help build more sustainable buildings, such as the use of Building Modeling Information (BIM). In this context, the objective of this work is to apply a BIM tool in the analysis of the life cycle of buildings, showing that it is possible to obtain an estimate of the amount of CO₂ incorporated still in the design phase, making feasible the choice of materials and methods constructive changes since any changes made to the design within the software result in a real-time update of the CO₂ emission calculations. For this, the design of a sustainable low-cost house was used. However, it is concluded that the software meets expectations, but the process of inserting data is still a bit laborious.

Key-Words: BIM, Revit, CO₂, Sustainability, Project.

1. Introdução

A indústria da construção civil é uma atividade que acompanha o crescimento e a evolução das civilizações. Entende-se construção como tudo o que é construído ou resulta de operações de construção e que está fixado ao solo. Dessa forma, incluem-se nas construções: habitações, edifícios industriais, comerciais, de escritório, de saúde, educacionais, recreativos e agrícolas, pontes, estradas, estádios, entre outros. As atividades construtivas potencializam, tanto um efeito econômico e social, como um efeito ambiental, pois estão associadas à ocupação e ao uso do solo, ao consumo de recursos naturais, à produção em larga escala de resíduos e efluentes líquidos e gasosos e à alteração dos ecossistemas naturais (PINHEIRO, 2006). As constantes modificações dos espaços, tais como diminuição de áreas permeáveis, aumento das temperaturas locais, poluição atmosférica, exercem um importante papel no aumento do consumo de recursos naturais e geração de resíduos (CÁRDENAS et al., 2015).

Sendo assim, a determinação do desempenho ambiental do processo de produção de edificações, pela Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) vem sendo utilizada na busca pela sustentabilidade ambiental das edificações (BORGES et al., 2017). Segundo Silva e Silva (2015), a ACV é considerada a metodologia mais completa e aceita internacionalmente para avaliação ambiental de edificações. A metodologia da ACV contempla o ciclo de vida completo, desde a extração e fabricação dos materiais, transporte até o canteiro, produção da edificação, uso e manutenção durante a vida útil. A partir desse estudo, encontra-se os valores de energia embutida e emissão de CO₂ equivalente.

Esses valores de CO₂ obtidos, são usados como indicadores de avaliação para o potencial de aquecimento global na produção de edificações, uma vez que esse é o impacto mais estudado, já que é considerado o maior problema da atualidade, segundo Cabeza et al. (2014). Com isso, a cobrança internacional pela diminuição dos índices de emissão desse gás, traz a necessidade de edificações com propostas de baixo carbono, sendo que a maneira mais eficaz de se reduzir essas emissões, é a elaboração de projetos sustentáveis, tanto em edificações novas, como em antigas, através do retrofit (BORGES et al., 2017).

Com este aumento na demanda por edificações mais sustentáveis, profissionais ligados ao setor da construção civil têm buscado ferramentas que auxiliam a tomada de decisões de projeto, com o objetivo de minimizar os impactos ambientais. Sendo assim, o Building Information Modeling (BIM) tem sido visto como um importante colaborador para a adoção de medidas de sustentabilidade incorporadas desde o início da concepção. As informações multidisciplinares existentes em um único modelo permitem que uma vasta gama de soluções projetuais seja avaliada rapidamente, auxiliando nas tomadas de decisões (OLIVEIRA et al., 2015).

O BIM é definido como uma tecnologia de modelagem e um conjunto associado de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construção (Eastman et al., 2014). Ainda segundo estes autores, as ferramentas de análise ambiental precisam de uma considerável quantidade de informações específicas da edificação, sendo necessários detalhes, como, a localização geográfica, condições climáticas ou estruturas. Estas informações não são abordadas em uma ferramenta BIM, sendo necessária a introdução destas de forma manual.

Usando-se o BIM, é possível estabelecer um fluxo de trabalho simultâneo, permitindo a colaboradores, de disciplinas diferentes, atuarem juntos para a concepção de um produto final, favorecendo a multidisciplinaridade. Isso só é possível graças à automatização proporcionada pelas ferramentas. Eastman et al. (2014) dizem que a colaboração se torna otimizada pelo fato de as ferramentas BIM já possuírem informações fundamentais para a análise de um modelo, como os dados geométricos disponíveis, as propriedades dos componentes atribuídas de maneira automática, e as variáveis a serem aplicadas, que, além de armazenadas, também podem ser editadas. No caso de análises

ambientais, é necessária atenção referente aos dados adicionais, que abrangem as especificações de produtos e os materiais de baixo impacto, assim como as necessidades energéticas da edificação.

Baseando-se nessas informações e sabendo que o emprego do BIM em edificações é algo relativamente novo, observa-se que aqui no Brasil este emprego ainda se encontra em fase de aprendizado, levando-se em consideração a quantidade de *softwares* disponíveis no mercado, e as inúmeras possibilidades de se projetar com essas ferramentas. Verifica-se, ainda, que faltam profissionais qualificados para este fim, bem como a importância de estudos que facilitem o seu entendimento e a sua aplicação.

2. Objetivo

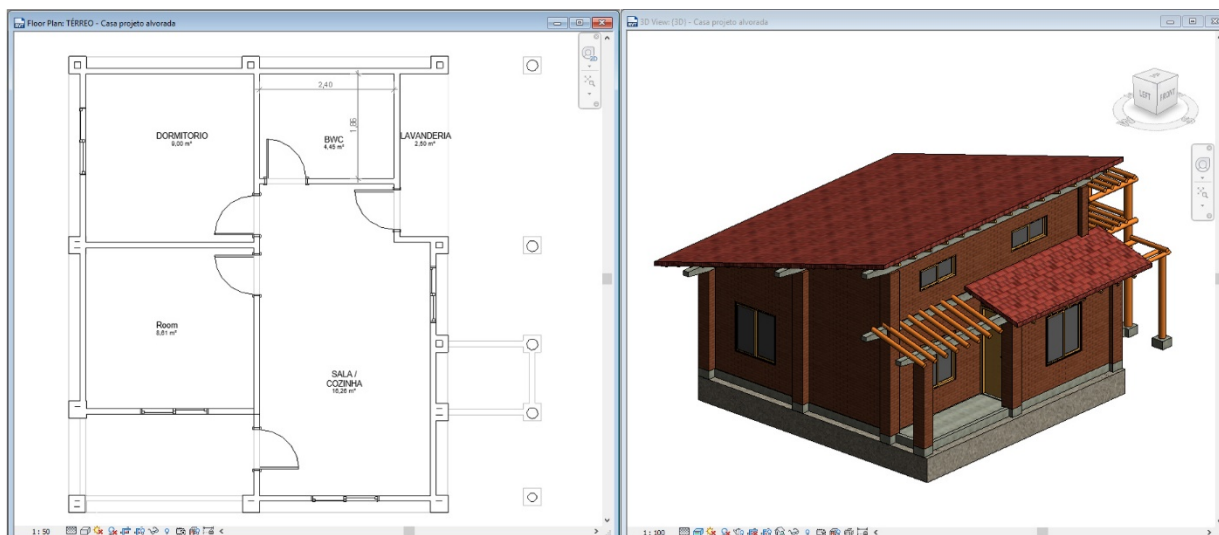
Este artigo tem como objetivo mostrar como o uso de ferramentas da plataforma BIM pode ser empregado na estimativa de emissão de CO₂ no ciclo de vida de uma edificação, ainda na fase de projeto, de forma que seja possível a escolha de materiais menos agressivos ao meio ambiente. Para isso, calculou-se as quantidades de carbono que seriam emitidas em uma casa sustentável de baixo custo, a partir da modelagem da edificação em um *software* BIM, e do uso de três métodos construtivos, empregando-se diferentes materiais.

3. Método

Para a avaliação da aplicação do *software* BIM na Avaliação do Ciclo de Vida, realizou-se um estudo de caso, onde foram estimadas as emissões de CO₂ de uma casa sustentável de baixo custo, considerando-se a etapa de carbono incorporado.

Foi realizada a modelagem e análise de dados usando o *software* Autodesk Revit. O projeto da edificação foi adaptado do Protótipo Casa Alvorada, desenvolvido pelo NORIE / UFRGS. A edificação é composta por dois dormitórios, banheiro, sala e cozinha conjugada, possuindo área construída de aproximadamente 48,50m². A Figura 1 apresenta a planta baixa e uma vista 3D da edificação. Foram simulados para esta residência diferentes métodos construtivos, comparando-se os resultados referentes à emissão de carbono de cada método.

Figura 1: Croqui da planta baixa e vista 3D da edificação

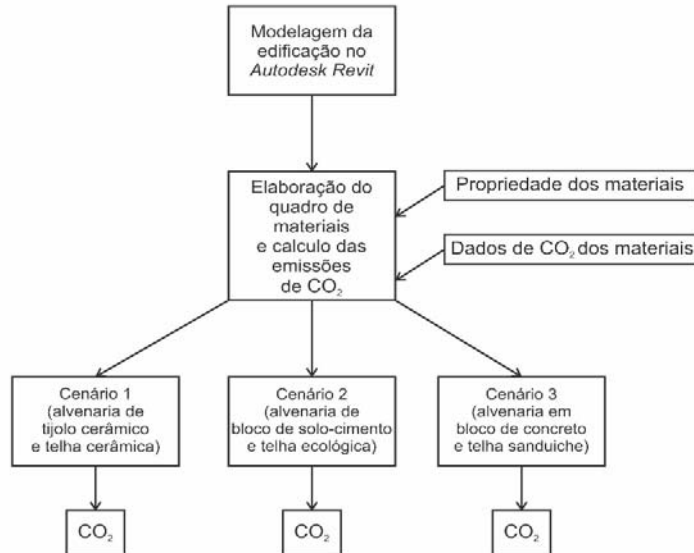


Fonte: Autor no Autodesk Revit, 25/10/2018

Após o modelo da edificação estar pronto, foram feitas as simulações, a partir da modificação dos materiais, espessuras das paredes, espessura dos elementos estruturais, avaliando-se como isso

refletiu nas emissões de CO₂. Testou-se três sistemas construtivos para este cálculo. Adotou-se sistemas construtivos homogêneos, para que fosse possível a comparação e afirmação de qual sistema possui a menor taxa de emissão. Na Figura 2 está apresentada, esquematicamente, a metodologia empregada.

Figura 2: Resumo esquemático da metodologia empregada.



Fonte: Autor, adaptado de Borges et al. (2017), 25/10/2018.

Nos cálculos, desprezou-se a emissão de CO₂ proveniente das esquadrias, do madeiramento do telhado e da estrutura destinada ao reservatório de água, por serem confeccionados em madeira, como mostra a Figura 3. Segundo Garcia (2014 apud Cunha, 2016), a madeira de reflorestamento pode ser considerada neutra em termos de emissões de carbono, pois absorve, de antemão, o carbono que será emitido ao longo do seu ciclo de vida.

Figura 3: Estruturas em madeira da edificação.



Fonte: Autor no Autodesk Revit, 25/10/2018.

Em um primeiro cenário, utilizou-se paredes feitas de blocos de cerâmica maciços, assentados com

argamassa, cobertura feita no sistema convencional de telha cerâmica e madeira, e sistema de fundações concebido a partir da reutilização de blocos de granito. Em um segundo cenário, utilizou-se paredes feitas de blocos de solo-cimento, assentados com uma cola especial, cobertura executada em telha ecológica feita, de papel reciclado e madeira, e fundação também em blocos de granito reutilizados. No terceiro e último cenário, utilizou-se paredes feitas em blocos de concreto, assentados com argamassa, cobertura feita em telha sanduiche de aço e EPS (Poliestireno Expandido), estruturas de madeira e fundação também em concreto.

No *software*, é possível inserir manualmente os dados de CO₂ incorporados, e configurar as fórmulas de cálculo, utilizando um banco de dados do seu interesse. A Figura 4 mostra um quadro, parcialmente preenchido com alguns valores, mostrando como o cálculo é efetuado em tempo real.

Figura 4: Quadro parcial de materiais, com os respectivos valores de emissão.

<QUANTITATIVO DE MATERIAIS COM EMISSÃO DE CO ₂ >						
TIPO	QUANTIDADE		Material: EMISSÃO DE CO ₂	Material: EMISSÃO DE CO ₂	Material: EMISSÃO DE CO ₂ EM KG	
	ÁREA	VOLUME	UNIDADE DE ÁREA	POR UNIDADE DE VOLUME	EMISSÃO TOTAL POR m ²	EMISSÃO TOTAL POR m ³
.Vidro transparente	114,95 m ²	0,00 m ³	0,00	0	0,00	0,00
BLOCOS DE GRANITO REUTILIZADOS	23,43 m ²	11,72 m ³	0,00	17,46	0,00	204,56
CONCRETO CONTRAPISO	35,59 m ²	1,78 m ³	0,00	13401,64	0,00	23847,76
CONCRETO PARA VIGA	169,29 m ²	24,22 m ³	0,00	13401,64	0,00	324562,03
EUCALÍPTO ROLISSO	28,90 m ²	0,94 m ³	0,00	0	0,00	0,00
MADEIRA DA COBERTURA	43,98 m ²	0,56 m ³	0,00	0	0,00	0,00
MADEIRA ESQUADRIAS	15,41 m ²	0,13 m ³	0,00	0	0,00	0,00
PEDRA BRITADA	35,64 m ²	1,07 m ³	0,00	17,46	0,00	18,67
TELHA CERÂMICA	64,30 m ²	6,43 m ³	0,00	19,59	0,00	125,97
TUOLO MACIÇO DE CERAMICA VERMELHA	116,89 m ²	11,69 m ³	0,00	19,59	0,00	228,95
VIDRO ESQUADRIAS	10,13 m ²	0,06 m ³	0,00	0	0,00	0,00
	658,51 m ²	58,59 m ³			0,00	348987,94

Fonte: Autor no Autodesk Revit, 25/10/2018.

Para as análises dos níveis de emissões dos diferentes sistemas construtivos escolhidos, usou-se os dados obtidos nas pesquisas desenvolvidas por Cunha (2016), Yoshimura et al (2012), Kuhn (2006) e Maciel (2016), onde foram calculados os níveis de emissão de CO₂ para diversos materiais da construção civil. Entre os materiais pesquisados, encontram-se os materiais utilizados no Protótipo Casa Alvorada, uma vez que o objetivo deste trabalho é mostrar que o *software* pode ser utilizado na obtenção de uma estimativa de emissão de CO₂ de uma edificação ainda na fase de projeto, contribuindo para a escolha de materiais mais sustentáveis. A Tabela 1 mostra os valores atribuídos para cada material escolhido.

Tabela 1: Valores de emissão de CO₂ usados para cada material.

MATERIAL	EMISSÕES DE CO ₂ POR MATERIAL (kg de CO ₂ /m ³)	FONTE
Blocos de granito (Agregado)	5,087	Kuhn (2006)
Aço (cobertura)	16.628,42	Cunha (2016)
Tijolo cerâmico	5,12	Kuhn (2006)
Bloco de solo-cimento	3,26	Cunha (2016)
Bloco de concreto	145,56	Cunha (2016)
Concreto feito <i>in loco</i>	13.401,64	Cunha (2016)
Telha cerâmica	2,28	Kuhn (2006)
Telha ecológica	357,51 (kg de CO ₂ /m ²)	Yoshimura et al (2012)
Telha sanduiche	439,82 (kg de CO ₂ /m ²)	Maciel (2016)

Fonte: Autor, 25/10/2018.

4. Resultados

Como foi descrito anteriormente, as emissões de CO₂ foram calculadas pelo *software* Autodesk Revit, após a modelagem completa da edificação, desconsiderando-se as estruturas feitas em madeira, como as esquadrias, o madeiramento do telhado e a estrutura do reservatório de água, conforme foi mostrado na Figura 2. Analisando-se os dados obtidos, percebeu-se uma certa variação dos valores de carbono incorporado, de acordo com a variação dos sistemas construtivos.

Para o primeiro cenário adotado, onde utilizou-se blocos de tijolos cerâmicos como alvenaria de vedação, telhas cerâmicas, fundações em blocos de granito reaproveitados, concreto para o contrapiso e vigas de concreto como suporte para as paredes e estruturas de cobertura, obteve-se um valor de emissão total de 405.329,87 kg de carbono, como mostra a Figura 5. Observando-se a figura, percebe-se que boa parte desse valor se deve ao concreto utilizado na edificação.

Figura 5: Valores de emissão de CO₂ por material – primeiro cenário.

<QUANTITATIVO DE MATERIAIS COM EMISSAO DE CO2>						
A TIPO	B QUANTIDADE		D EMISSÃO DE CO2 POR m²	E EMISSÃO DE CO2 POR m³	F EMISSÃO TOTAL DE CO2 EM Kg	
	AREA	VOLUME			REFERENTE A ÁREA	REFERENTE AO VOLUME
.Vidro transparente	101,74 m	0,00 m³	0,00	0	0,00	0,00
BLOCOS DE GRANITO REUTILIZADOS	26,13 m²	12,99 m³	0,00	5,08755	0,00	66,10
CONCRETO CONTRAPISO	45,18 m²	2,26 m³	0,00	13401,64	0,00	30276,49
CONCRETO PARA VIGA	185,08 m	27,97 m³	0,00	13401,64	0,00	374904,50
EUCALIPTO ROLISSO	30,78 m²	0,99 m³	0,00	0	0,00	0,00
MADEIRA DA COBERTURA	43,98 m²	0,56 m³	0,00	0	0,00	0,00
MADEIRA ESQUADRIAS	15,41 m²	0,13 m³	0,00	0	0,00	0,00
TELHA CERÂMICA	66,21 m²	6,62 m³	0,00	2,28143	0,00	15,10
TUOLO MACIÇO DE CERAMICA VERMELHA	132,59 m	13,21 m³	0,00	5,12402	0,00	67,67
VIDRO ESQUADRIAS	10,13 m²	0,06 m³	0,00	0	0,00	0,00
	657,23 m²	64,80 m³			0,00	405329,87

Fonte: Autor no Autodesk Revit, 25/10/2018.

Já no segundo cenário adotado, onde foram utilizados blocos de solo-cimento como alvenaria de vedação, telhas ecológicas, fundações em blocos de granito reaproveitados, concreto no contrapiso e nas vigas de suporte para as paredes, e estruturas da cobertura, obteve-se o menor índice de emissão de carbono. A Figura 6 mostra os valores de emissão de CO₂ por material, e o valor total emitido pelo projeto do protótipo Casa Alvorada.

Segundo os dados constantes na figura, a soma das emissões totais de carbono (emissão total referente a área + emissão total referente ao volume) permite verificar que, com esta escolha de materiais, a edificação emitiria 400.937,76 kg de carbono. Novamente, fica claro que boa parte dessas emissões são advindas do concreto utilizado.

Figura 6: Valores de emissão de CO₂ por material – segundo cenário.

<QUANTITATIVO DE MATERIAIS COM EMISSÃO DE CO ₂ >							
A	B		C	D	E	F	G
TIPO	QUANTIDADE		EMISSÃO DE CO ₂ EM KG POR m ²	EMISSÃO DE CO ₂ POR POR m ³	EMISSÃO DE CO ₂ EM KG		
	ÁREA	VOLUME			REFERENTE A ÁREA	REFERENTE AO VOLUME	
.Vidro transparente	101,74 m ²	0,00 m ³	0,00	0	0,00	0,00	
BLOCOS DE GRANITO REUTILIZADOS	25,98 m ²	12,99 m ³	0,00	5,08755	0,00	66,09	
CONCRETO CONTRAPISO	45,18 m ²	2,26 m ³	0,00	13401,64	0,00	30276,49	
CONCRETO PARA VIGA	177,11 m ²	27,62 m ³	0,00	13401,64	0,00	370163,75	
EUCALIPTO ROLISSO	30,78 m ²	0,99 m ³	0,00	0	0,00	0,00	
MADEIRA DA COBERTURA	46,44 m ²	0,60 m ³	0,00	0	0,00	0,00	
MADEIRA ESQUADRIAS	17,25 m ²	0,16 m ³	0,00	0	0,00	0,00	
TELHA ECOLOGICA RECICLADA	66,21 m ²	3,31 m ³	5,56		368,12	0,00	
TUJOLO DE SOLO-CIMENTO	129,92 m ²	19,42 m ³	0,00	3,26	0,00	63,31	
VIDRO ESQUADRIAS	10,13 m ²	0,06 m ³	0,00	0	0,00	0,00	
TOTAL	650,74 m ²	67,41 m ³			368,12	400569,64	

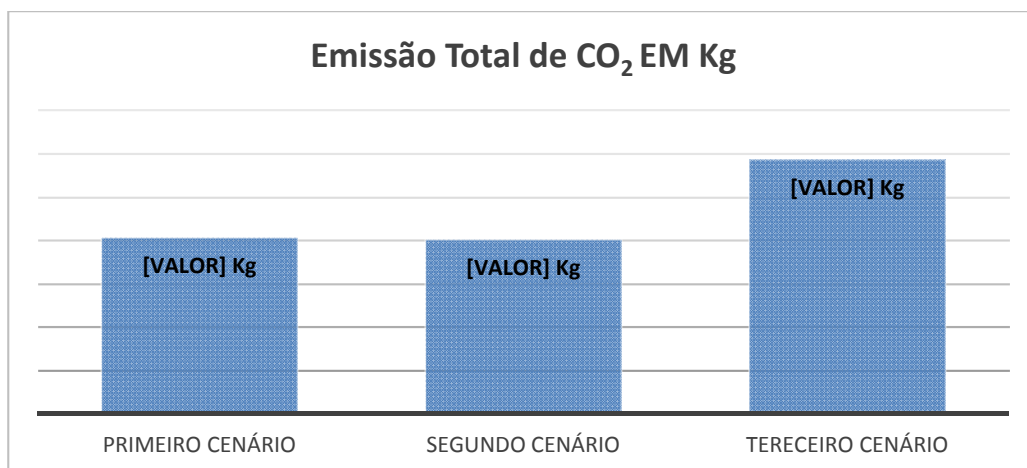
Fonte: Autor no Autodesk Revit, 25/10/2018.

No terceiro cenário, obteve-se o maior índice de emissão de carbono. Aqui, utilizou-se blocos de concreto como alvenaria de vedação, telha sanduiche (aço e EPS), em adição a fundações, contrapiso e vigas de suporte para as paredes e estruturas da cobertura, todas em concreto. Como foi observado nos dois cenários anteriores, o concreto é o material responsável pela maior parte das emissões, quando se trata das alvenarias, fazendo com que este último sistema construtivo fosse o mais emissor dentre os três. Além disso, na cobertura foi utilizada uma estrutura de metal, para que pudesse ser feito o uso desse tipo de telha. A Figura 7 mostra os valores de emissão de CO₂ deste cenário, e os valores totais emitidos. Somando-se as emissões totais de carbono (emissão total referente a área + emissão total referente ao volume) obtém-se que, com esta escolha, a edificação emitiria aproximadamente 585.843,30kg de carbono.

Figura 7: Valores de emissão de CO₂ por material – terceiro cenário.

<QUANTITATIVO DE MATERIAIS COM EMISSÃO DE CO ₂ >							
A	B		C	D	E	F	G
TIPO	QUANTIDADE		EMISSÃO DE CO ₂ POR m ²	EMISSÃO DE CO ₂ POR POR m ³	EMISSÃO TOTAL DE CO ₂ EM Kg		
	ÁREA	VOLUME			REFERENTE A ÁREA	REFERENTE AO VOLUME	
.Vidro transparente	51,98 m ²	0,00 m ³	0,00	0	0,00	0,00	
AR	128,76 m ²	11,52 m ³	0,00	0	0,00	0,00	
BLOCO DE CONCRETO	257,39 m ²	12,80 m ³	0,00	145,56	0,00	1863,66	
CONCRETO CONTRAPISO	45,18 m ²	2,26 m ³	0,00	13401,64	0,00	30276,49	
CONCRETO FEITO IN LOCO PARA FUNDAÇÃO	25,98 m ²	12,99 m ³	0,00	13401,64	0,00	174119,39	
CONCRETO PARA VIGA	169,87 m ²	27,52 m ³	0,00	13401,64	0,00	368747,18	
EUCALIPTO ROLISSO	30,78 m ²	0,99 m ³	0,00	0	0,00	0,00	
MADEIRA ESQUADRIAS	19,40 m ²	0,20 m ³	0,00	0	0,00	0,00	
METAL PARA A COBERTURA	48,42 m ²	0,62 m ³	0,00	16628,42	0,00	10383,72	
TELHA SANDUICHE DE AÇO E EPS	66,21 m ²	2,65 m ³	6,84	0	452,86	0,00	
VIDRO ESQUADRIAS	10,13 m ²	0,06 m ³	0,00	0	0,00	0,00	
TOTAL	854,10 m ²	71,62 m ³			452,86	585390,44	

Fonte: Autor no Autodesk Revit, 25/10/2018.

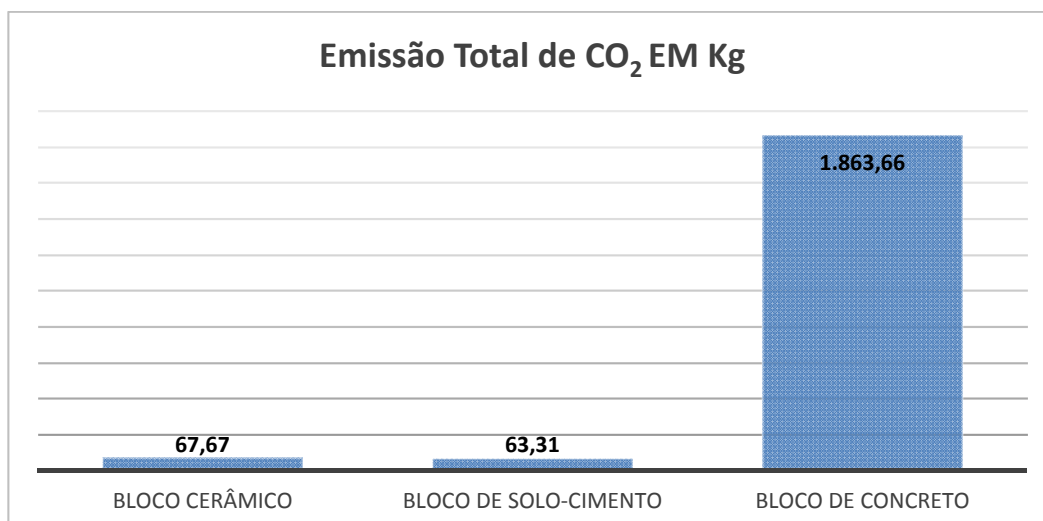
Figura 8: Comparação dos resultados obtidos com os cálculos de emissão de CO₂

Fonte: Autor, 25/10/2018

Como citado anteriormente e mostrado no gráfico, o terceiro cenário resultou no maior nível de emissão de dióxido de carbono. Isso se deve ao uso de materiais pouco sustentáveis, como o concreto, o aço e o EPS. Segundo Cunha (2016), o aço é o material com a maior emissão de dióxido de carbono, graças à utilização de carbono na geração de energia, como agente redutor do minério de ferro. Futuramente, uma fração desse carbono será incorporada aos produtos e a outra parte será emitida para a atmosfera.

Tratando-se do concreto, esse material possui um alto índice de emissão, por ser um material composto por água, cimento e agregados. Segundo Lima (2010 apud Cunha, 2016), o cimento, apesar de pouco participativo na massa do concreto, é o emissor majoritário do material. Ainda segundo o autor, a emissão do cimento contribui com 85% das emissões do ciclo de vida do concreto, variando de acordo com o tipo de cimento.

Em relação às alvenarias, percebeu-se uma variação nas emissões devido ao tipo de material escolhido (blocos cerâmicos, blocos de solo-cimento ou blocos de concreto). Na Figura 9, percebe-se que entre os materiais utilizados como alvenaria, bloco de solo-cimento é o material de menor taxa de emissão.

Figura 9: Valor da emissão de dióxido de carbono referente às alvenarias (blocos cerâmicos, blocos de solo-cimento e concreto)

Fonte: Autor, 25/10/2018

Com relação à cobertura também foi observado o mesmo comportamento. Por se tratar de uma telha feita com duas chapas de aço e uma camada de EPS entre as mesmas e ter toda a sua estrutura também feita em metal, o nível de emissão desse tipo de cobertura torna-se muito alto, pois, como citado anteriormente, dentre todos os materiais analisados neste trabalho, o aço é o material com a maior emissão.

Ainda de acordo com a Figura 8, percebe-se que o segundo cenário foi o que obteve o menor índice, emitindo quase 4 mil quilos a menos que o primeiro cenário e aproximadamente 178 mil quilos a menos que o terceiro. Essa diferença nos valores se dá, principalmente, pelo uso dos blocos de solo-cimento, já que esse tipo de blocos não necessita de cozimento em sua fabricação, etapa que mais emite carbono, e pelo fato de as telhas ecológicas serem confeccionadas com material reciclado, e de a cobertura ser feita com telha ecológica reciclada, onde o carbono emitido na fabricação é quase zero, já que o material é apenas remodelado e prensado.

5. Conclusões

O presente trabalho, por meio de um estudo de caso, verificou a aplicabilidade do BIM na avaliação de ciclo de vida de uma edificação, ainda na fase de projeto, com foco nas emissões de CO₂, utilizando o *software* Autodesk Revit, apresentando, assim, as possíveis aplicações deste para a avaliação dos diferentes sistemas construtivos escolhidos.

Os resultados mostraram que é possível quantificar o CO₂ emitido por cada material, desde que os dados de emissão sejam preenchidos, baseados em algum banco de dados. Dessa forma, torna-se possível a escolha de materiais menos emissores, pois à medida que os materiais vão sendo alterados, o *software* mostra os valores totais de emissão, em tempo real.

Tendo em vista os resultados numéricos, pode-se concluir que estes foram satisfatórios, para os três cenários escolhidos, pois foi possível analisar como seriam as emissões totais de cada sistema construtivo selecionado, e, a partir disso, fazer a correta escolha do sistema menos emissor. Na busca por edificações de baixa emissão, a tomada de decisão do projetista torna-se essencialmente importante.

Vale ressaltar, ainda, que este estudo de caso se restringiu ao uso de apenas um *software*. Porém, as avaliações de eficiência energética que se relacionam com as emissões de carbono, devem ser feitas por mais de um, para resultados mais precisos. Este tipo de análise será ainda mais requisitado, onde a fase de projeto é a mais importante e decisória no ciclo de vida das edificações.

Por fim, destaca-se que a contribuição desta pesquisa está na apresentação das potencialidades do uso do *software* Autodesk Revit, como ferramenta de apoio para análise e elaboração de projetos de edificações com baixo índice de emissão de carbono, contribuindo assim para a sustentabilidade do setor da construção civil.

6. Referências

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

BORGES, J. G.; CALDAS, L. R.; PAULSE, P. C.; HORA, K. E.; CARVALHO, M. T. **Uso do BIM no processo de quantificação de emissões de CO₂ no projeto de edificações: estudo de caso para o software Designbuilder**. Revista Eletrônica de Engenharia Civil. v.14. n.1. p. 142-156. 2018

CABEZA, L. F.; RINCÓN, L.; VILARIÑO, V.; PÉREZ, G.; CASTELL, A. **Life cycle assessment(LCA) and life cycle energy analysis(LCEA) of buildings and the building sector : A review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. v. 29. p. 394-416. 2014

CÁRDENAS, J. P.; MUÑOZ E.; RIQUELME, C.; HIDALGO, F. **Análisis de ciclo de vida simplificado aplicado a viviendas de paneles SIP (structural insulated panels)**. Revista Ingeniería de Construcción. v. 30. n.1. p. 33-38. 2015.

CAVALCANTE, M. C.; FONSECA, L. C.; CALMON, J. L. **Avaliação de energia e CO2 incorporados na fase pré-operacional de edificações utilizando a plataforma BIM**. In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO E EUROPEU SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 2. São Leopoldo, 2017.

CUNHA, I. B. **Quantificação das emissões de CO₂ na construção de unidades residenciais unifamiliares com diferentes materiais**. Porto Alegre, 2016. 136 p. Dissertações (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais). Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Brasil.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **Manual de BIM – Um Guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores**. 1ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.

KUHN, E.A. **Avaliação da sustentabilidade ambiental do protótipo de habitação de interesse social Alvorada**. Porto Alegre, 2006. 175 p. Dissertações (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Brasil.

MACHADO, F.A.; SIMÕES, C.C.; MOREIRA, L.C.S. **Potencialidades da integração do BIM ao método de Avaliação do Ciclo de Vida das edificações**. SIBRAGEC ELAGEC 2015. São Carlos, 2015.

MACHADO, F.A.; MOREIRA, L.C.S. **O Uso de Ferramentas BIM na Otimização do Método de Avaliação do Ciclo de Vida da Edificação**. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 7. 2015, Recife. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2015.

MACIEL, M.A.D. **Levantamento de inventário de emissões de gases de efeito estufa em obra da indústria da construção civil em Maringá/ PR**. Maringá, 2016. 116 p. Dissertações (Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas). Centro Universitário de Maringá, Brasil.

MARCOS, M.H.C. **Análise da emissão de CO₂ em edificações através do uso de uma ferramenta CAD-BIM**. In: SIGraDi 2009 – 13th Congresso of the Iberoamerican Society of Digital Graphics, 13, 2009, São Paulo. Proceedings... São Paulo, 2009.

MASS, B.H.; SCHEER, S.; TAVARES, S.F. **O uso do BIM para o projeto sustentável**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16, 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

OLIVEIRA, E.; SCHEER, S.; TAVARES, S. **Avaliação de impactos ambientais pré-operacionais em projetos de edificação e a modelagem da informação da construção**. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 7, 2015, Recife. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2015.

PINHEIRO, M., D. **Ambiente e Construção Saudável**. Instituto do Ambiente. Portugal, Lisboa, 2006.
SILVA, V. G.; SILVA, M. G. **Seleção de materiais e edifícios de alto desempenho ambiental**. In: GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. Edifício Ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

YOSHIMURA, K. S. O., YOSHIMURA, H. N., WIEBECK, H. **Avaliação do ciclo de vida de telha ecológica à base de papel reciclado**. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v.7.2 p.82-94. 2012.