

ESTUDO DE VIABILIDADE DO USO DE BIM PARA MENSURAR IMPACTOS AMBIENTAIS DE EDIFICAÇÕES POR ENERGIA INCORPORADA E CO₂ INCORPORADO

Helena Fernanda Graf⁽¹⁾; Micheline Helen Cot Marcos⁽²⁾;
Sergio Fernando Tavares⁽³⁾; Sérgio Scheer⁽⁴⁾

(1) Arquiteta e Urbanista, MSc. em Construção Civil – Ambiente Construído, Pesquisadora DTI-B (CNPq-USP/UFPR), Universidade Federal do Paraná, e-mail: helenfernanda@terra.com.br; (2) Arquiteta e Urbanista, MSc. em Construção Civil – Ambiente Construído, Doutoranda FAU (USP), Universidade de São Paulo, e-mail: micheline.helen@gmail.com; (3) Arquiteto, Doutor em Eng. Civil, Professor da Universidade Federal do Paraná, e-mail: sergioftavares@gmail.com; (4) Engenheiro Civil, Doutor em Informática, Professor da Universidade Federal do Paraná, e-mail: scheer@ufpr.br

Resumo

A eficiência energética nas edificações é um assunto de relevância mundial, uma vez que, com o aumento da população, mais espaços urbanos foram surgindo e o meio ambiente foi cada vez mais sendo impactado para atender à demanda por edificações. O cálculo da energia incorporada é uma forma de mensurar o impacto ambiental das construções. É um fator importante para a tomada de decisões de projeto e escolha de materiais. Uma vez mensurada a energia incorporada, é possível obter a emissão de CO₂ equivalente. No presente artigo, é feito um estudo de viabilidade para mensurar os impactos ambientais de uma edificação pela ferramenta Revit Architecture 2012. Esta utiliza o conceito BIM - Building Information Modeling – para apoio à concepção de projeto, o qual compreende o processo de construção do modelo do edifício com informações atribuídas. Um modelo de teste foi construído na ferramenta, no qual foram inseridos dados de energia incorporada e CO₂ incorporado (ou emissão de CO₂), previamente calculados, através da criação de parâmetros compartilhados. Em comparação aos resultados obtidos com o apoio de uma planilha eletrônica, os resultados fornecidos pelo Revit Architecture 2012 apresentam-se coerentes. Dessa forma, a ferramenta pode ser um recurso útil para a obtenção dos resultados dos impactos ambientais de uma edificação, visando apoiar as decisões de projeto em busca da sustentabilidade.

Palavras-chave: *Building Information Modeling (BIM), Impactos Ambientais, Edificações, Energia Incorporada, CO₂ Incorporado, Sustentabilidade.*

Abstract

Energy efficiency in buildings is an issue of global importance, since, with increasing population, more urban spaces have emerged and the environment was increasingly being impacted to attend the demand for buildings. The calculation of embodied energy is a way to measure the environmental impact of buildings. It is an important factor for design decisions and choice of materials. From measured embodied energy, it is possible to obtain the emission of equivalent CO₂. In this paper, a viability study to measure the environmental impacts of a building within Revit Architecture 2012 is done. The tool uses the concept of BIM - Building Information Modeling - to support design conception, which is the construction process of the building model with information. A test model was constructed in the tool. Embodied energy data and embodied CO₂ data, previously calculated by creating shared parameters, was added to the model. The results provided by Revit Architecture 2012 are relatively consistent if compared with the results obtained with the support of an electronic spreadsheet. Thus, the analyzed tool can be a useful resource for obtain the results

of the environmental impacts of buildings and to support design decisions towards sustainability.

Keywords: Building Information Modeling (BIM), Environmental Impacts, Buildings, Embodied Energy, Embodied CO₂, Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

Todos os materiais são processados de alguma maneira, o que impacta o meio ambiente. Não existem regras absolutas para a escolha dos materiais e de como o impacto ambiental deve ser avaliado, porém, alguns fatores podem ser determinados, como a energia necessária para produzir o material, a emissão de CO₂ resultante da fabricação, o impacto local de extrações (exemplos: pedra, madeira, petróleo), a toxicidade, o transporte do material para a fabricação e para a entrega do produto, o grau de poluição resultante no final de sua vida útil. O impacto ambiental, além de depender da escolha dos materiais, é influenciado por decisões de projeto, como localização e detalhamento dos elementos de arquitetura, manutenção, redução da energia necessária pelo correto posicionamento em relação ao sol, flexibilidade de projeto para acomodar diferentes usos ao longo do tempo, vida útil dos elementos e possibilidade de reutilização na demolição. A eficiência energética nas edificações é um assunto de relevância mundial, uma vez que, com o aumento da população, mais espaços urbanos foram surgindo e o meio ambiente foi cada vez mais sendo impactado para atender aos vários tipos de demanda da população, inclusive por edificações. A preocupação mundial em fazer construções ambientalmente conscientes vem do fato de que os edifícios consomem mais da metade de toda a energia usada nos países desenvolvidos e que produzem mais da metade dos gases poluentes ao meio ambiente. No Brasil, o consumo energético do setor residencial representa 9.8% do consumo energético nacional, enquanto o setor comercial representa 2.7% e o setor público apenas 1.5%, justificando a necessidade de pesquisas sobre eficiência energética para edificações e de análises nas fases projetuais. A energia incorporada é uma forma de mensurar o impacto ambiental das construções, sendo um fator importante para a tomada de decisões quanto à escolha de materiais. Pode chegar a 40% de toda aquela consumida durante a vida da edificação (tomando por base um ciclo de vida de 50 anos). É usada como um indicador de sustentabilidade das edificações, já que a fabricação de materiais de construção é frequentemente a principal fonte de emissões de gases poluentes. A discriminação dos insumos energéticos por fontes específicas e, destas, para a geração de CO₂ correspondentes são pontos importantes de interpretação em uma análise energética. Assim, é possível estabelecer um parâmetro de sustentabilidade a partir do CO₂ incorporado na edificação. Apesar da importância de se mensurar a energia incorporada e o CO₂ incorporado equivalente para a tomada de decisões de projeto, esse é um processo demorado e que demanda um conhecimento específico do projetista. Visando apoiar processos de projeto de diversas disciplinas, o conceito BIM - *Building Information Modeling* - para concepção de projeto abrange o processo de construção do modelo do edifício, atribuindo-lhe informações. Assim como é usado para a obtenção de informações de custos e planejamento, especificações de materiais e elementos construtivos, e demais informações conforme a necessidade do projeto e nível de detalhamento, pode vir a ser útil para mensurar o impacto ambiental das edificações. BIM é um dos processos mais promissores da AEC - Arquitetura, Engenharia e Construção, pois simula virtualmente a construção de uma edificação e, com isso, pode prever conflitos e problemas. Com a tecnologia BIM, um modelo preciso do edifício é construído digitalmente. Quando concluído, o modelo gerado contém a geometria e os dados relevantes necessários para apoiar as atividades de fabricação, construção e aquisição necessárias para realizar a construção. Estudos empregando o conceito BIM - *Building Information Modeling* – se justificam pela rápida e constante disseminação do conceito e pela necessidade de se

conhecer as contribuições que as ferramentas que o utilizam podem oferecer. O uso de ferramentas e conceitos para construção de modelos, as quais podem ser usadas para facilitar a análise de sustentabilidade de uma edificação, permitem um maior acesso ao conhecimento dos impactos causados. Uma vez verificada a viabilidade do BIM para mensurar impactos ambientais, o qual pode aproveitar modelos já utilizados em outras disciplinas da construção civil, torna-se mais fácil incentivar os profissionais para projetar com consciência ambiental (ROAF; FUENTES; THOMAS, 2006; EDWARDS, 2008; MME, 2011; ABEYSUNDARA; BABEL; GHEEWALA, 2008; TAVARES, 2006; EASTMAN *et al.*, 2008).

2. METODOLOGIA

Visando estudar a viabilidade do uso de BIM para mensurar impactos ambientais de edificações, é utilizado um modelo geométrico criado na ferramenta Revit Architecture 2012 contendo informações atribuídas aos elementos construtivos que o formam, ou seja, utilizando o conceito BIM - *Building Information Modeling*. Dados de energia incorporada e de CO₂ incorporado são utilizados na ferramenta e transformados em informações relacionadas aos impactos ambientais da edificação. Esses dados são oriundos, em sua maioria, de bases de dados e pesquisas nacionais e são inseridos nas propriedades dos elementos arquitetônicos, permitindo que os resultados possam ser observados por elemento ou para a edificação como um todo. O modelo de teste criado (objeto de estudo) é composto por fechamentos em paredes de alvenaria com acabamento em argamassa e pintura tinta látex, laje inferior em concreto com revestimento de piso cerâmico e forro de madeira peroba-rosa. Para permitir a comparação dos resultados e verificar a viabilidade do uso do BIM para mensurar impactos ambientais de edificações, cálculos analíticos são realizados, com o auxílio de uma planilha eletrônica, para o mesmo objeto de estudo. Os resultados dos dois estudos (com apoio de uma planilha e com o apoio do Revit Architecture 2012) são comparados. Sendo o estudo pelos cálculos com planilha eletrônica o método convencionalmente utilizado, a comparação permite validar o estudo pela ferramenta Revit Architecture 2012.

2.1. Dados de energia incorporada e CO₂ incorporado

Para fins de cálculos, foram considerados os dados de energia incorporada e CO₂ incorporado obtidos de pesquisas anteriores (Tabela 1), sendo que os materiais discriminados são os que foram utilizados no modelo de teste criado para essa pesquisa. A compilação de dados de energia incorporada obtidos de Graf (2011) são, em sua maioria, nacionais e apresentados por volume (MJ/m³), a partir da conversão dos dados obtidos por massa (MJ/Kg) através das densidades dos materiais. Os valores relativos à emissão de CO₂ foram extraídos por fontes de energia através da relação de consumo para materiais de construção fabricados no Brasil. A partir da energia incorporada, pode ser feita a desagregação dos valores de consumo de energia em fontes primárias. Mais informações referentes à metodologia de cálculo de energia incorporada e CO₂ incorporado podem ser encontrados em Tavares (2006).

Tabela 1 – Energia incorporada e CO₂ incorporado dos materiais

Material	Energia incorporada (MJ/m³)	CO₂ incorporado (Kg/m³)
Tijolos furados	3770	313
Argamassa de cal, cimento e areia	3990	477
Tinta látex PVA	84500	10108
Concreto simples	2880	339
Lajotas cerâmicas	9000	186
Madeira peroba-rosa	395	27

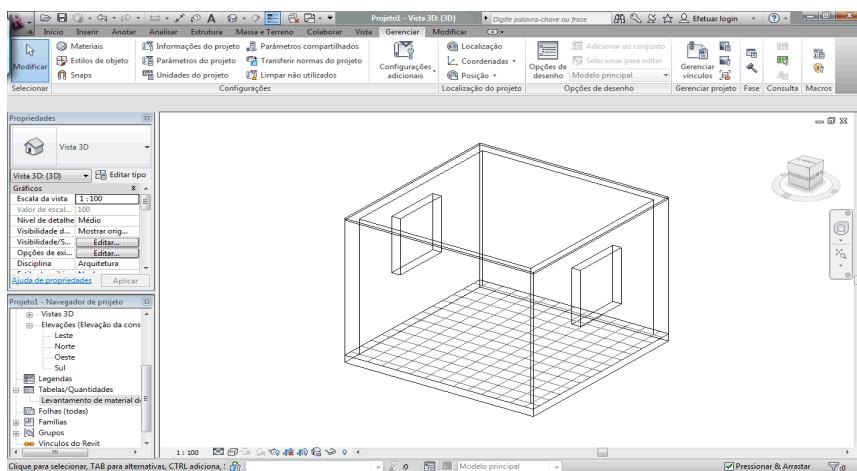
Fonte: Os autores (2012), a partir de GRAF (2011), TAVARES (2006).

2.2. Modelo de teste

Para permitir o estudo, um modelo de teste (Figura 1) foi criado, primeiramente, na ferramenta Revit Architecture 2012 e, posteriormente, o mesmo objeto de estudo foi utilizado para realizar os cálculos analiticamente (com apoio de uma planilha eletrônica), permitindo a comparação e validação da ferramenta em estudo para mensurar os impactos ambientais.

O **modelo** de teste não visa representar uma edificação propriamente dita, pois considera apenas alguns elementos construtivos para testar a ferramenta, não pretendendo ser funcional do ponto de vista arquitetônico, assim como, suas espessuras, dimensões e composição dos elementos são apenas para teste da ferramenta. Contém superfícies laterais (paredes), superfície superior (forro) e superfície inferior (piso). As **paredes** têm espessura de 15 cm, comprimento de 3 m pela face interna e altura/pé direito de 2,4 m. São quatro paredes, sendo duas com aberturas de 1 m por 1 m. São compostas por camadas de tinta látex PVA (0,5 cm), argamassa de cal, cimento e areia (2 cm), tijolos furados (10 cm) e, novamente, argamassa de cal, cimento e areia (2 cm) e tinta látex PVA (0,5 cm). O **forro** tem espessura de 3 cm, e largura e comprimento iguais de 3,3 m (considerando que avança sobre as paredes). É composto por única camada de madeira peroba-rosa (3 cm). O **piso** tem espessura de 13 cm, e largura e comprimento iguais de 3,3 m (considerando que avança sob as paredes). É composto por camadas de concreto simples (10 cm), argamassa de cal, cimento e areia (2 cm), lajotas cerâmicas (1 cm).

Figura 1 – Modelo de teste exibido na ferramenta Revit Architecture 2012



Fonte: Os autores (2012).

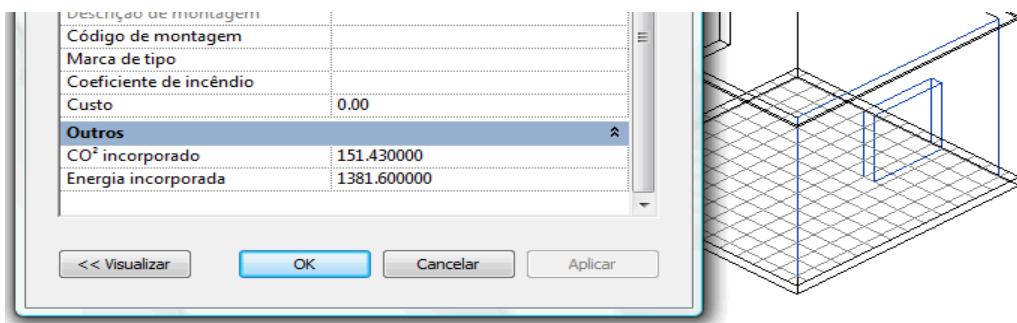
2.3. Parâmetros de energia incorporada e CO₂ incorporado no Revit Architecture 2012

Existe a possibilidade da criação de *parâmetros* (nomenclatura da ferramenta) para o Revit Architecture 2012. Desta forma, foram criados *parâmetros compartilhados* através de um novo documento nomeado *Sustentabilidade.txt* salvo no diretório dos documentos do Revit Architecture 2012. O novo grupo de parâmetros foi nomeado como *Impacto ambiental* e os parâmetros criados foram nomeados como *CO₂ incorporado* e *Energia incorporada*. A ferramenta permite a criação de tabelas de elementos. Após criadas as tabelas de paredes, piso e forro na ferramenta, os *parâmetros compartilhados* recém criados foram inseridos como *campo* de dados nas três tabelas, como uma propriedade do *genótipo* da edificação, ou seja, uma propriedade que será mantida para todos os objetos daquele mesmo tipo. Dessa forma, foi possível obter um arquivo configurado para receber a entrada dos dados de energia incorporada e CO₂ incorporado para cada metro quadrado de superfície, ou seja, por área. Considerando que cada elemento construtivo tem a composição de materiais definida e a

espessura estabelecida através da soma das espessuras das camadas que compõem a estrutura da superfície (parede, forro ou piso), os valores por volume (m^3) apresentados na Tabela 1 puderam ser usados para a obtenção dos valores por área de superfície (m^2). Após obtidos os resultados para cada tipo de elementos de superfície, estes puderam ser inseridos no modelo. Ainda na criação dos *campos* de cada tabela, foram criados mais dois novos nas *propriedades* das tabelas como *valor calculado*. São eles *Energia incorp. Total* e *CO_2 incorp. Total* e visam obter o resultado da multiplicação entre a área de superfície do modelo e o valor unitário (por m^2) de *CO_2 incorporado* e *Energia incorporada*, respectivamente.

Na ferramenta em estudo, Revit Architecture 2012, os valores unitários de energia incorporada e CO_2 incorporado foram inseridos como propriedade do elemento construtivo, ou seja, não foram inseridos os dados para cada um dos materiais que os compõem, mas dados da composição dos materiais para os elementos. Como exemplo, a parede é composta por camadas, mas os dados inseridos já contemplam 1 m^2 de parede (Figura 2). Os dados são preparados considerando a proporção de cada material no elemento.

Figura 2 – Inserção de dados na ferramenta Revit Architecture 2012



Fonte: Os autores (2012).

3. RESULTADOS

A partir dos cálculos feitos com auxílio de uma planilha eletrônica, foi possível obter os resultados de energia incorporada e CO_2 incorporado, para cada elemento construtivo por área de superfície (MJ/m^2 e Kg/m^2 , respectivamente). Entende-se por área de superfície a área que contempla o invólucro da edificação, a qual é diferente da área projetada (usualmente utilizada em pesquisas de diferentes disciplinas). Os valores unitários foram utilizados tanto para o cálculo pela planilha como para alimentar a ferramenta Revit Architecture 2012. A área de superfície de cada elemento construtivo que faz parte do modelo foi obtida pelas dimensões da geometria do projeto para, então, permitir o cálculo da energia incorporada total por elemento construtivo e para o modelo como um todo. O mesmo foi feito para CO_2 incorporado total (Tabela 2).

Tabela 2 - Cálculo da Energia incorporada e CO_2 incorporado pelo volume dos materiais

Elemento constr.	Composição de materiais	Esp. (cm)	Energia incorp. (MJ/m^2 de sup.)	CO_2 incorp. (Kg/m^2 de s up.)	Área (m^2)	Energia incorp. Total (MJ)		CO_2 incorp. Total (Kg/MJ)
Paredes	Tinta látex PVA	0.50	422.50	1381.60	50.54	39016.38	44130.87	4276.44
	Arg. de cal, cimento e areia	2.00	79.80		9.55			
	Tijolos furados	10.00	377.00		31.26	151.43		
	Arg. de cal, cimento e areia	2.00	79.80		9.55			
Piso	Tinta látex PVA	0.50	422.50	457.80	50.54	4985.44	493.07	4778.44
	Concreto simples	10.00	288.00		33.87			
	Arg. de cal, cimento e areia	2.00	79.80		9.55	45.28		
Forro	Lajotas cerâmicas	1.00	90.00	11.85	1.86	10.89	129.05	8.93
	Madeira peroba-rosa	3.00	11.85		0.82	0.82		

Fonte: Os autores (2012), a partir de cálculos feitos com os dados da Tabela 1 e dados de geometria de projeto.

Pela composição dos materiais (Tabela 2), foram encontrados os **valores unitários** (por m² de superfície) de **energia incorporada** de **1381,6 MJ** para a **parede**, **457,8 MJ** para o **piso** e **11,85 MJ** para o **forro**; e de **CO₂ incorporado** de **151,43 Kg** para a **parede**, **45,28 Kg** para o **piso** e **0,82 Kg** para o **forro**. Esses mesmos dados unitários foram inseridos no Revit Architecture 2012 (Figura 3). Após isso, as **áreas** foram **calculadas** com apoio da planilha, obtendo-se **28,24 m²** de **paredes**, **10,89 m²** de **piso** e **10,89 m²** de **forro** (Tabela 2); e **extraídas** da ferramenta, as quais, se **somadas**, resultam no mesmo **valor**. No entanto, para a obtenção dos **valores por elemento**, são apresentados **valores diferentes** para objetos iguais: as paredes com áreas de 7,92 m² e de 7,56 m² são iguais em todas as dimensões, assim como, as paredes com áreas de 6,56 m² e de 6,20 m². Essas diferenças são refletidas nos resultados, apesar de não ter uma significância considerável para o resultado total do modelo de teste.

Figura 3 – Visualização de tabelas na ferramenta Revit Architecture 2012

Tabela de parede				
Energia incorporada	CO ₂ incorporado	Área	Energia incorp. Total (MJ)	CO ₂ incorp. Total (Kg/MJ)
1381.6	151.43	7.92 m ²	10942.27	1199.33
1381.6	151.43	6.56 m ²	9063.30	993.38
1381.6	151.43	7.56 m ²	10444.90	1144.81
1381.6	151.43	6.20 m ²	8565.92	938.87

Tabela de piso				
Energia incorporada	CO ₂ incorporado	Área	Energia incorp. Total (MJ)	CO ₂ incorp. Total (Kg/MJ)
457.8	45.28	10.89 m ²	4985.44	493.10

Tabela de forro				
Energia incorporada	CO ₂ incorporado	Área	Energia incorp. Total (MJ)	CO ₂ incorp. Total (Kg/MJ)
11.85	0.82	10.89 m ²	129.05	8.93

Fonte: Os autores (2012).

Os valores totais encontrados usando o Revit Architecture 2012 para **energia incorporada** foram de **39016,39 MJ** para as **paredes**, **4985,44 MJ** para o **piso** e **129,05 MJ** para o **forro**. Pelos cálculos feitos com apoio de uma planilha, foram obtidos os mesmos valores, salvo por pequenos arredondamentos do Revit Architecture 2012.

Para os valores totais de **CO₂ incorporado**, foram obtidos os resultados, com o uso do Revit Architecture 2012, de **4276,39 Kg** para as **paredes**, **493,10 Kg** para o **piso** e **8,93 Kg** para o **forro**. Pelos cálculos feitos com apoio de uma planilha, foram obtidos os resultados de **4276,44 Kg** para as **paredes**, **493,07 Kg** para o **piso** e **8,93 Kg** para o **forro**.

Dessa forma, uma **diferença entre os resultados** da planilha eletrônica e da ferramenta Revit Architecture 2012 foi encontrada para CO₂ incorporado total do piso, 0,03 Kg, o que representa um erro de **0,006084308%**, não sendo considerado significante para esse tipo de análise.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Partiu-se para realização dos cálculos pelo elemento construtivo, considerando os valores já previamente calculados, uma vez que não foi possível calcular a energia incorporada a partir do volume do material na ferramenta Revit Architecture 2012, como é feito para o cálculo do custo. Essa situação permite alterar a composição espacial (*layout*) da edificação com atualização automática dos resultados de impactos ambientais, porém, não permite alterar a composição dos materiais (exemplo: aumentar a espessura da argamassa na parede). Para isso, novo elemento construtivo teria que ser criado e os valores de energia incorporada e CO₂ incorporado, previamente calculados fora da ferramenta, inseridos nesse elemento do modelo.

Apesar das limitações e da necessidade de uma planilha eletrônica como apoio, o uso do Revit Architecture 2012 pode ser de grande valia para as decisões de projeto que visam diminuir os

impactos ambientais e, uma vez criados os elementos construtivos, uma edificação pode ter o seu *layout* alterado e, automaticamente, serem obtidos resultados novos quanto aos impactos. Pode-se experimentar a troca de tipos de elementos (cada qual com sua composição de materiais) até a obtenção de um resultado satisfatório.

Os resultados obtidos pela ferramenta Revit Architecture 2012 e, principalmente, a comparação dos mesmos com o método tradicionalmente usado para cálculo da energia incorporada e CO₂ incorporado de edificações comprovam que é possível utilizar o conceito BIM para mensurar impactos ambientais a contribuir para a concepção de projetos ambientalmente conscientes.

Na continuação desse estudo, se pretende saber se é possível realizar o cálculo pelo material, atribuindo as informações aos materiais e, uma vez definida a estrutura do elemento construtivo, a atualização dos dados unitários de energia incorporada e CO₂ incorporado seriam automáticas. Pretende-se, ainda, realizar semelhante estudo em outras ferramentas, entre elas, o ArchiCAD (Grafisoft – Pini), para verificar qual a melhor opção entre as ferramentas disponíveis.

REFERÊNCIAS

- ABEYSUNDARA, U. G. Y; BABEL, S.; GHEEWALA, S. **A matrix in life cycle perspective for selecting sustainable materials for buildings in Sri Lanka**. Building and Environment. v. 44, ed. 5, p. 997-1004, 2008.
- EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: A guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2008.
- EDWARDS, Brian. **O Guia Básico para a Sustentabilidade**. 2.ed. Barcelona: Gustavo Gili, 2008.
- GRAF, Helena Fernanda. **TRANSMITÂNCIA TÉRMICA & ENERGIA INCORPORADA NA ARQUITETURA: sua relação nas superfícies do invólucro de uma edificação residencial unifamiliar conforme a Norma NBR 12721**. Dissertação (Mestrado) do Programa de Pós-Graduação em Construção Civil - PPGCC, Área de Concentração: Ambiente Construído, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2011.
- MME - Ministério das Minas e Energia (Brasil). **Balanço Energético Nacional 2011: Ano base 2010**. Rio de Janeiro : EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2011.
- ROAF, Sue; FUENTES, Manuel; THOMAS Stephanie. **Ecohouse – A Casa Ambientalmente Sustentável**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- TAVARES, Sergio Fernando. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 2006.