



ISBN: 978-85-67169-04-0

## SIBRAGEC ELAGEC 2015

São Carlos / SP - Brasil - 7 a 9 de outubro

### **EMISSIONS OF CO<sub>2</sub> IN THE LIFE CYCLE OF HABITATIONS OF SOCIAL INTEREST: CASE STUDY FOR DF-BRASIL**

**CALDAS, Lucas Rosse (1); SPOSTO, Rosa Maria (2); PAULSEN, Jacob Silva (3); SANTOS FILHO, Vamberto Machado (4)**

(1) Universidade de Brasília, (62) 96188507, e-mail: lrc.ambiental@gmail.com (2) Universidade de Brasília, e-mail: (61) 32741517, e-mail: rmsposto@unb.br (3) Universidade de Brasília, (61) 81775595, e-mail: pausen.jacob@gmail.com (4) Universidade de Brasília, (61) 92958404 vambertomfilho@gmail.com

#### **RESUMO**

O impacto ambiental ocasionado pelo aquecimento global é causado pela emissão de gases do efeito estufa, sendo o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) o principal deles. O setor da construção civil é apontado como um dos principais contribuintes para a sua geração, e considerando-se o déficit habitacional atual no Brasil, estima-se que há necessidade de construção de um número significativo de habitações, que demandarão maior consumo de matéria prima e energia gerando assim quantidades significativas de emissões de CO<sub>2</sub>. Este trabalho tem como objetivo o levantamento e a análise da emissão de CO<sub>2</sub> advinda do ciclo da construção de uma habitação de interesse social, considerando-se as etapas de pré-uso, uso e pós-uso, verificando qual é a mais impactante em termos de emissão. Como metodologia foi realizada a avaliação de ciclo de vida (ACV) com foco na emissão de CO<sub>2</sub> de um projeto padrão de uma habitação localizada na cidade de Brasília – DF. A partir dos resultados obtidos, é possível verificar a contribuição de cada sistema e etapa do ciclo de vida da habitação e assim alimentar o banco de dados para o inventário nacional de ACV, além de poder subsidiar políticas de mitigação de CO<sub>2</sub> no setor da construção civil.

**Palavras-chave:** ACV, Emissão de CO<sub>2</sub>, Habitação de Interesse Social.

#### **ABSTRACT**

*The environmental impact caused by global warming is caused by the emission of greenhouse gases, and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) is considered the main one. The construction sector is identified as a major contributor to their generation, and considering the current housing deficit in Brazil, it is estimated that there is need to build a significant number of dwellings, which will require increased consumption of raw materials, energy generating and amounts of CO<sub>2</sub> emissions. This paper aims to survey and analysis of CO<sub>2</sub> emissions arising from the construction cycle of a social housing, considering the stages of pre-use, use and post-use, checking what is the most important in terms of issue. The methodology was performed to evaluate life cycle assessment (LCA) with a focus on CO<sub>2</sub> emissions of a standard design of a dwelling located in Brasília - DF. From the results obtained, it is possible to verify the contribution of each system and stage of the housing life cycle and thus feed the database to the national LCA inventory, and can subsidize CO<sub>2</sub> mitigation policies in the construction sector.*

**Keywords:** LCA, CO<sub>2</sub> emissions, Social housing.

## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil é apontada como uma indústria impactante do ponto de vista ambiental, sendo um dos motivos a elevada emissão de CO<sub>2</sub> de alguns dos materiais empregados no setor. Devido ao déficit habitacional existente no país que atinge principalmente a população de baixa renda, nos últimos anos ocorreu um aumento significativo na produção de habitações de interesse social (HIS). Devido a este aumento, pode-se dizer que ocorreu um maior consumo de matéria prima e energia gerando assim quantidades significativas de emissões de CO<sub>2</sub>.

Surge então a necessidade de avaliar os impactos ambientais associados ao ciclo de vida das HIS, sendo uma das ferramentas mais utilizadas a análise do ciclo de vida (ACV). Segundo a ABNT NBR ISO 14040 (2009), a ACV pode ser definida como uma forma de análise dos impactos ambientais de todas as etapas inter-relacionadas de um sistema de produtos. Ela consiste no levantamento das entradas e saídas desde a extração da matéria prima, processo produtivo, uso e operação até a etapa final pós-uso, esta última podendo ser a etapa de reutilização, reciclagem ou disposição final.

A realização de uma ACV é um processo complexo, por envolver um numero elevado de variáveis e os diversos impactos associados aos processos produtivos. Desta forma, muitos trabalhos tem buscado dividir o estudo em partes, onde são levantados e analisados alguns tipos de impactos, como energia consumida, emissão de CO<sub>2</sub>, consumo de água e etc. Tal divisão é favorável para a obtenção de um estudo mais detalhado do impacto escolhido.

Apesar de ser um tema relativamente novo na engenharia civil, tem surgido uma série de estudos sobre ACV relacionados a habitações na literatura nacional, como Tavares (2006), Nabut Neto (2011), Carminatti Júnior (2012), Costa (2012) e Silva *et al.* (2013); e internacional, entre eles, Huberman e Pearlmutter (2008), Radhi e Sharples (2013), Rakhshan *et al.* (2013), Devi e Palaniappan (2014) e Wen *et al.* (2015). Muitos destes estudos focam na mensuração do consumo energético e emissões de CO<sub>2</sub> durante o ciclo de vida da habitação. A maioria adota para a análise um tempo de vida útil da habitação de cinquenta anos e é observado um maior percentual de energia e emissões de CO<sub>2</sub> na fase operacional (TAVARES, 2006; SARTORI e HESTNES, 2007).

Neste contexto o presente trabalho se justifica por realizar o levantamento e a análise de emissões de CO<sub>2</sub> advinda do ciclo da construção de uma HIS padrão localizada em Brasília-DF, considerando-se as etapas de pré-uso, uso, manutenção e pós-uso, verificando qual é a mais impactante em termos de emissões. Foi selecionado o impacto advindo das emissões de CO<sub>2</sub> por este ser o principal gás causador do aquecimento global.

## 2 METODOLOGIA

O objeto de estudo é uma habitação unifamiliar, localizada em Brasília – DF, com um espaço interno de 48 m<sup>2</sup>. Ela possui dois quartos, uma sala, uma cozinha, um banheiro e uma pequena área de serviço na parte exterior. A habitação possui duas portas exteriores, três portas internas e cinco janelas. O sistema construtivo utilizado é do tipo convencional com blocos cerâmicos e estruturado com cintas de amarração e pilaretes de concreto armado.

A fundação não foi incluída no estudo, uma vez que depende da resistência do solo. Além disso, as instalações não foram incluídas devido à escassa quantidade de instalações deste tipo de habitação. Para o inventário do ciclo de vida da habitação

foram consideradas as fases de pré-uso (materiais utilizados, perdas dos materiais e transporte até a obra), uso (aparelhos, cocção e manutenção) e pós-uso (demolição e transporte dos resíduos até o aterro). Foram adotadas vida útil da habitação de cinquenta anos e unidade funcional em metro quadrado.

## 2.1 Fase de Pré-uso

Primeiramente foram levantadas as quantidades dos principais materiais constituintes da habitação, em massa, para a posterior quantificação da emissão de CO<sub>2</sub>. Foram considerados todos os materiais que apresentaram percentuais da massa total da habitação maiores ou iguais a 1%. Os fatores de emissão (FCO<sub>2</sub>) adotados foram retirados da literatura nacional. Os indicadores de perda também foram retirados da literatura nacional e as distâncias utilizadas no transporte foram calculadas via *Google Maps*, considerando o transporte das fábricas até o canteiro de obras, localizado em um ponto hipotético da cidade de Brasília – DF. Foi utilizado um fator de consumo de energia no transporte, descrito por Nabut Neto (2011), de 0,0136 L/km.ton. Este valor foi convertido em um fator de emissão de CO<sub>2</sub>, de 0,00004 kg CO<sub>2</sub>/km.kg.

As perdas, referentes à massa produzida desperdiçada, de cada material foram consideradas, em termos de acréscimo de massa. A etapa de transporte das perdas até o local de destinação final também foi contabilizada. E por fim, não foi considerada a etapa de execução da habitação visto que é uma habitação que demanda pequeno consumo de mão de obra. Os dados utilizados estão apresentados no Quadro 1.

**Quadro 1 – Levantamento dos materiais, fatores de emissão, perdas e distâncias de transporte**

Materiais	Quantidade (kg)	FCO <sub>2</sub> (kgCO <sub>2</sub> /kg)	Fonte	Perdas <sup>1</sup>	Transporte (km)
Bloco cerâmico furado	10586	0,91	Costa <sup>2</sup> (2012)	3%	200
Argamassa	14788	0.16	Costa <sup>2</sup> (2012)	25%	200
Pintura (paredes internas e externas)	210	0,70	Tavares (2006)	15%	200
Telhas Cerâmicas	4032	0,91	Costa <sup>2</sup> (2012)	10%	100
Madeira (telhado)	1546	0,32	Tavares (2006)	15%	400
PVC (forro)	238	0,55	Costa <sup>2</sup> (2012)	5%	400
Concreto (25 Mpa - Cimento CP-IIIF)	7370	0,14	Costa <sup>2</sup> (2012)	9%	100
Cerâmica (piso)	901	0,86	Stachera e Casagrande (2007)	10%	300
Janelas e portas externas (alumínio)	655	4,03	Costa <sup>2</sup> (2012)	0%	300
Portas Internas de Madeira	390	0,40	Costa <sup>2</sup> (2012)	0%	300
Massa Total (kg)	40616	-	-	-	-

<sup>1</sup> Agopyan et al. 1998 e PINI 1996.

<sup>2</sup> Baseado no método QE – CO<sub>2</sub> – nível básico. A etapa de transporte foi desconsiderada.

Fonte: Elaborado pelos AUTORES 2015

## 2.2 Fase de Uso e Manutenção

A emissão de CO<sub>2</sub> nas habitações e edificações está relacionada à utilização da energia elétrica para o funcionamento dos aparelhos eletrônicos e cocção de alimentos. Neste estudo foi levantado o fator de emissão de dióxido de carbono (FCO<sub>2</sub>) por MJ de energia gerada, baseado na matriz energética brasileira (BEN, 2014). O fator de CO<sub>2</sub> (FCO<sub>2</sub>) encontrado foi de 0,020 kgCO<sub>2</sub>/MJ de energia elétrica, valor próximo utilizado por Tavares (2006), de 0,0181 kgCO<sub>2</sub>/MJ.

O cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> proveniente da energia elétrica consumida na habitação foi levantado por meio da seleção de aparelhos eletrodomésticos mais comuns em uma habitação de baixo padrão. Os aparelhos escolhidos estão presentes no Quadro 2. Foi calculada o consumo de energia mensal, em kwh, este foi transformado no consumo anual, em MJ, e ao final o consumo total, para a vida útil de cinquenta anos. A energia total consumida foi multiplicada pelo FCO<sub>2</sub>.

**Quadro 2 – Cálculo da emissão de CO<sub>2</sub> devido a eletricidade**

Aparelhos Elétricos	nº	Pot Média (Watts)	Dias de uso no mês	Tempo de utilização h/dia	Consumo médio mensal (kwh)	Consumo anual (kwh)
Geladeira 1 porta	1	35	30	24,0	25,20	302,40
Chuveiro Elétrico	1	4500	30	0,7	90,00	1080,00
Lâmpadas	2	100	30	5,0	30,00	360,00
Lâmpadas	3	60	30	5,0	27,00	324,00
Televisão	1	101	30	5,0	15,15	181,80
Ferro Elétrico	1	1050	12	1,0	12,60	151,20
Lava Roupas	1	147	12	1,0	1,76	21,17
Aparelho de som	1	110	30	3,0	9,90	118,80
Telefone sem fio	1	3	30	24,0	2,16	25,92
Computador	1	63	30	8,0	15,12	181,44
Consumo total em um ano (GJ)					9,88	
Consumo total para vida útil de 50 anos (GJ)					494,41	

Fonte: Adaptado de BERMANN 2003 e PROCEL 2015

Para o calculo das emissões provenientes durante o processo de cocção realizado nas habitações foi considerado neste estudo apenas a utilização de gás liquefeito de petróleo (GLP). Foi adotado um consumo mensal mínimo, para uma família comum, com quatro pessoas, de 13 kg de GLP (um botijão de gás). Para a determinação da emissão total da atividade de cocção, multiplicou-se a quantidade de GLP ao longo da vida útil adotada pelo FCO<sub>2</sub> do GLP (0,06 kg CO<sub>2</sub>/MJ).

Sabe-se que a manutenção e a substituição do material dependem do plano de manutenção, onde são estimados intervalos para manutenção. Estes intervalos foram escolhidos com base na ABNT NBR 15575 (2013) que define uma vida útil de projeto (VUP) mínima para os sistemas da edificação. Os valores adotados e o fator de reposição para cinquenta anos está apresentado no Quadro 3. O Fator de reposição foi calculado pela divisão da vida útil adotada e o tempo de substituição.

Quadro 3 – Determinação do tempo de manutenção e fator de reposição

Elementos	Tempo de Substituição	Fator de Reposição
Paredes externas	40	1,3
Paredes Internas e Telhado	20	2,5
Piso	13	3,8
Janelas e Portas	40	1,3
Pintura	5	10,0

Fonte: ABNT NBR 15575 (2013)

Para o cálculo das emissões da fase de manutenção foi utilizada a equação 1, apresentada a seguir:

$$EM = \frac{Cm \times (1 + \frac{P}{100}) \times FCO_2 \times FR}{1000} \quad (1)$$

onde,

- EM = emissões na manutenção (t);
- Cm = consumo materiais (kg);
- P = perdas (%);
- FCO<sub>2</sub> = fator de emissão (kgCO<sub>2</sub>/kg);
- FR = fator de reposição (-);

### 2.3 Fase de Pós – uso

Na fase pós-uso, foi assumido que toda a habitação (todos os materiais utilizados na fase inicial e de reposição juntamente com as perdas) é demolida e transportada para o aterro sanitário mais próximo. Na demolição foi considerado para 1m<sup>3</sup> da edificação a utilização de 1,5h martelos rompedores e 0,05h de pá carregadeira, que consomem 1,9 L de gasolina e 0,17 L de óleo diesel respectivamente (TAVARES, 2006). A partir dos dados de Goldemberg e Lucon (2011) foi encontrado um fator de emissão de CO<sub>2</sub> para a demolição de 0,0025 kgCO<sub>2</sub>/kg material. Este fator de emissão foi multiplicado pela massa total. Foi adotado o mesmo fator de transporte adotado no transporte dos materiais da fábrica até o canteiro, de 0,00004 kg CO<sub>2</sub>/km.kg. Este fator foi multiplicado pela massa total e pela distância percorrida até o aterro sanitário, que foi de 80 Km. Portanto, as emissões da fase de pós-uso foram resultantes da soma das emissões da demolição e transporte dos resíduos até o aterro sanitário.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da massa e fatores de emissão apresentados anteriormente foi calculada a quantidade total de emissões durante todo o ciclo de vida da habitação (Equação 2).

$$ETot = \frac{EI + ET + EA + EC + EM + EP}{A} \quad (2)$$

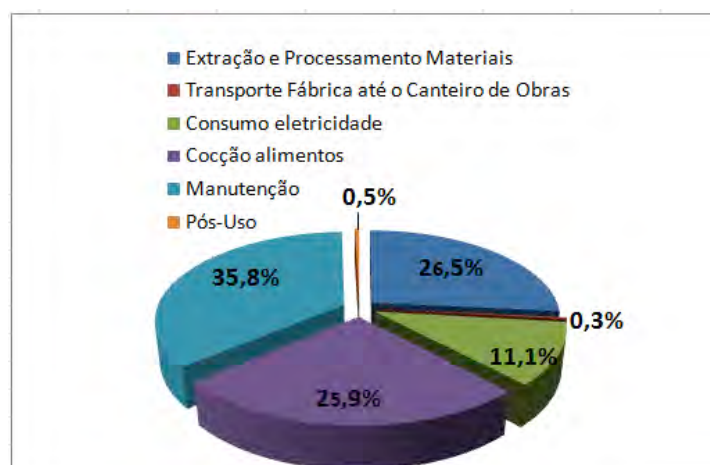
onde,

- ETot = emissões totais (t/m<sup>2</sup>);
- EI = emissões iniciais (extração e processamento materiais) (t);
- ET = emissões transporte fábrica até canteiro de obras (t);
- EA = emissões consumo eletricidade (t);
- EC = emissões cocção alimentos (t);
- EP = emissões pós-uso (t);
- A = área em planta da habitação (m<sup>2</sup>);

A habitação apresentou, para todo seu ciclo de vida, emissões totais (ETot) de 1,84 t CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, valor superior ao encontrado por Tavares (2006), que foi de 1,03 t CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> e Huberman e Pearlmutter (2008), entre 1,09 a 1,38 tCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>. Todos os estudos analisaram habitações populares. Os resultados foram diferentes provavelmente devido a uma série de suposições que são adotadas ao longo dos estudos, referentes às especificações de alguns materiais e aos seus processos de fabricação, as fontes de dados (primários ou secundários) e ao consumo de energia na fase operacional.

Posteriormente foi analisada a participação de cada etapa ao longo do ciclo de vida da habitação, conforme é apresentado na Figura 1. Foi encontrada o percentual de cada etapa dividindo cada termo da equação 2 pela quantidade de emissões totais (ETot).

**Figura 1 – Emissões de CO<sub>2</sub> no ciclo de vida da habitação**



Fonte: Elaborada pelos AUTORES (2015)

Em relação à participação de cada etapa, a de extração e processamento dos materiais foi expressiva, com 35,8% e, portanto merece atenção para a seleção dos materiais de menor emissão de CO<sub>2</sub>, mas que ao mesmo tempo atendam os requisitos de desempenho e qualidade.

A etapa de uso (consumo eletricidade e cocção dos alimentos) e manutenção foi a que obteve maior participação, um total de 1,34 t de CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, sendo que 11,1% referente ao consumo de eletricidade, 25,9% a cocção dos alimentos e 35,8% a manutenção. Tal resultado já era esperado e também ocorreu nos trabalhos de Tavares (2006), Huberman e Pearlmutter (2008) e Rhadi e Sharples (2013). A etapa de manutenção foi muito impactante e normalmente é aquela que recebe menor atenção dos projetistas e usuários

da habitação, sendo muitas vezes desconsiderada. Portanto, é necessário atentar para a manutenibilidade (facilidade de manutenção) e a elaboração dos planos de manutenção para ser entregue aos futuros proprietários, diminuindo desta forma a necessidade de reposição dos materiais.

As etapas de transporte e pós-uso foram as menores, no entanto, deve-se pensar na utilização de materiais locais para diminuir as distâncias de transporte e tentar proporcionar a destinação final mais adequada para os resíduos, sempre priorizando os processos de reutilização, reaproveitamento e reciclagem.

#### **4 CONCLUSÕES**

Foi realizada a quantificação das emissões de CO<sub>2</sub> ao longo do ciclo de vida de uma habitação localizada em Brasília - DF, para as fases de pré-uso, uso e pós-uso.

Conclui-se que a fase de pré-uso é significativa, no entanto, a fase de uso (consumo de eletricidade e cocção dos alimentos) e manutenção são as mais impactantes em relação às emissões de CO<sub>2</sub> na habitação estudada e por isto deve receber atenção especial dos projetistas. A fase de transporte e pós-uso se mostram inferiores em relação às outras, no entanto, também merecem atenção para poder minimizar a quantidade de emissões.

A principal contribuição deste trabalho foi trazer uma análise de emissões de CO<sub>2</sub> ao longo de todo o ciclo de vida de uma habitação, podendo ser utilizada como elemento comparativo entre outros estudos. A inovação está na análise completa do ciclo de vida, relacionada às emissões de CO<sub>2</sub>, para a realidade de Brasília-DF, sendo provavelmente o primeiro estudo com este escopo na região. A partir dos resultados obtidos, é possível alimentar o banco de dados para o inventário nacional de ACV, além de poder subsidiar políticas de mitigação de CO<sub>2</sub> no setor da construção civil.

E por fim, recomenda-se o estudo de outros indicadores relacionados à HIS, como o consumo de energia e de água e análise do desempenho dos sistemas da habitação, como por exemplo, o térmico e o acústico.

#### **REFERÊNCIAS**

AGOPYAN, U.E.L. SOUZA, J.C. PALIARI, A.C. **Pesquisa de Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras. Relatório final–VOLUME 4– Resultados e análises: aço, concreto usinado e blocos/tijolos.** EPUSP/FINEP/ITQC, 1998.

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

\_\_\_\_\_. **NBR ISO-15575-1:** Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL(BEN) 2014: Relatório Síntese ano base 2013. Brasília-DF, 2014.

BERMANN, C. **Energia no Brasil: Para quê? Para quem?**2ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2003. 139p.

CARMINATTI JÚNIOR, R.C. **Análise do Ciclo de Vida Energético de Projeto de Habitação de Interesse Social Concebido em Light Steel Framing.** 2012. 144f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil ). Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade São Carlos, São Carlos.

COSTA, B. L. C. **Quantificação Das Emissões De CO<sub>2</sub> Geradas Na Produção de Materiais Utilizados Na Construção Civil No Brasil**. 2012. 190f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

DEVI L, P.; PALANIAPPAN, S. **A case study on life cycle energy use of residential buildings Southern India**. Energy and Buildings. 2014. p. 247-259.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. 3<sup>a</sup> ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2011. 398p.

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

NABUT NETO, A.C. **Energia Incorporada e Emissões de CO<sub>2</sub> de Fachadas. Estudo de Caso do Steel Frame para Utilização em Brasília**. 2011. 154f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil). Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA (Procel). Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BE6BC2A5F-E787-48AF-B485-439862B17000%7D>>. Acesso em 24/08/14.

RADHI, H., SHARPLES, S. **Global Warming implications of façade parameters: A life cycle assessment of residential buildings in Bahrain**. Environmental Impact Assessment Review. p. 99-108. 2013.

RAKSHAN, K.; FRIESS, W. A.; TAJERZADEH, S. **Evaluating the sustainability of improved building insulation: A case study in the Dubai residential environment**. Building and Environment. Science Direct p. 105-110. 2013.

SARTORI, I.; HESTNES, A. G. **Energy Use In The Life Cycle of Conventional and Low – Energy Buildings: A Review Article**. Energy and Buildings. 2007. p. 249 – 257.

SILVA, F. G. S.; CARVALHO, J. L. V.; SALOMÃO, D.; GONÇALVES, J. P. Análise das Emissões de CO<sub>2</sub> na Construção Civil: Estudo de Caso na Região Metropolitana de Salvador. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO - INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE, 8., 2013, Salvador. **Anais do VIII SIBRAGEC**. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2013. .

STACHERA JR, T. CASAGRANDE JR, E.F. Avaliação de emissões de CO<sub>2</sub> na construção civil: um estudo de caso da habitação de interesse social no Paraná. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 9., 2007, Curitiba. **Anais do IX ENGEMA**. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2007.

TABELA DE COMPOSIÇÕES DE PREÇO PARA ORÇAMENTO (TCPO) 10. 1a edição–São Paulo. Editora PINI, 1996.

TAVARES, S.F. **Metodologia de Análise do Ciclo de Vida Energética de Edificações Residenciais Brasileiras**. 2006. 225f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

WEN, T. J.; SIONG H. C.; NOOR, Z. Z. **Assessment of embodied energy and global warming potential of building construction using life cycle analysis approach: Case studies of residential buildings in Iskandar Malaysia**. Energy and Buildings. 2015. p. 295 – 302.