

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA  
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS - CCT  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ADRIANO OLIVEIRA BRANDÃO FERREIRA**

**QUANTIFICAÇÃO DA EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> NA CONSTRUÇÃO DE UMA  
RESIDÊNCIA DE INTERESSE POPULAR**

São Luís  
2018

**ADRIANO OLIVEIRA BRANDÃO FERREIRA**

**QUANTIFICAÇÃO DA EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> NA CONSTRUÇÃO DE UMA  
RESIDÊNCIA DE INTERESSE POPULAR**

Monografia apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão como requisito para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Creso Cutrim Demétrio.

São Luís

2018

F383q

Ferreira, Adriano Oliveira Brandão.

Quantificação da emissão de CO<sub>2</sub> na construção de uma residência de interesse popular / Adriano Oliveira Brandão Ferreira. – São Luís, 2018.

66 f. il.; color.

Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Maranhão, 2018.

Inclui bibliografia e apêndices.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Creso Cutrim Demétrio.

1. Emissões de CO<sub>2</sub>. 2. Ciclo de Vida. 3. Residência Popular. 4. Efeito Estufa. I. Título.

CDU: 69:502.17

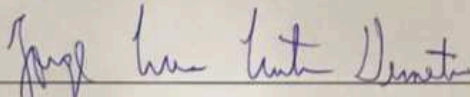
**ADRIANO OLIVEIRA BRANDÃO FERREIRA**

**QUANTIFICAÇÃO DA EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> NA CONSTRUÇÃO DE UMA  
RESIDÊNCIA DE INTERESSE POPULAR**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

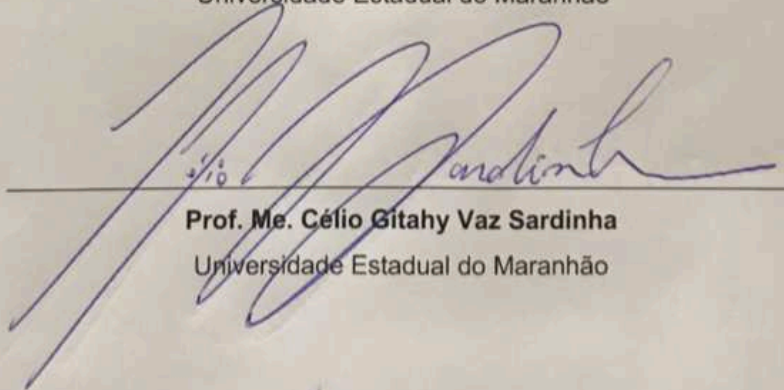
Aprovada em: 26 / 06 / 2018

BANCA EXAMINADORA:



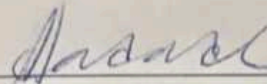
**Prof. Dr. Jorge Creso Cutrim Demétrio (Orientador)**

Universidade Estadual do Maranhão



**Prof. Me. Célio Gíthy Vaz Sardinha**

Universidade Estadual do Maranhão



**Prof.ª Dr.ª Maria Ângela Simões Hadade**

Universidade Estadual do Maranhão

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por me dar saúde e muita força para superar todas as dificuldades.

A Universidade Estadual do Maranhão e todo seu corpo docente, além da direção e administração que me proporcionaram as condições necessárias para que eu alcançasse meus objetivos.

Ao meu orientador Jorge Creso Cutrim Demétrio, por todo o tempo que dedicou a me ajudar durante o processo de realização deste trabalho.

Aos meus pais e demais familiares, por todo apoio, educação e ensinamentos.

Aos meus amigos que fiz durante esta caminhada e aos que sempre me apoiaram em qualquer situação.

E enfim, a todos que contribuíram para a realização deste trabalho, seja de forma direta ou indireta.

*“Só é digno da liberdade, como da vida,  
aquele que se empenha em conquistá-la.”*

(Johann Goethe)

## RESUMO

O impacto ambiental provocado pelo aquecimento global é causado pela emissão de gases do efeito estufa (GEE), sendo o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) o principal deles. O setor da construção civil, especialmente com a fabricação dos materiais, é apontado como um dos principais responsáveis para a sua geração. No Brasil, o déficit habitacional é elevado, assim, faz-se necessário a construção de um número significativo de residências de interesse popular, ocasionando uma elevada liberação de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Desta forma é importante a realização de pesquisas para obtenção de dados sobre esta discussão. Este trabalho tem como objetivo, quantificar as emissões de dióxido de carbono na construção de um metro quadrado de uma residência de interesse popular. A quantificação foi realizada através da Análise do Ciclo de Vida Energético (ACVE), um método de conduzir análises de ciclo de vida que acarretam em impactos ambientais. Este método converte o consumo energético direto e indireto na fase pré-operacional para cada material de construção, denominado Energia Embutida (EE), em emissões de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e). O resultado obtido foi de 374,85kg de CO<sub>2</sub>e por metro quadrado de construção, considerado correspondente em relação a pesquisas nacionais. Este resultado contribui para o inventário de dados em relação a este tema. A partir dos resultados obtidos, conclui-se que o setor da construção civil é um grande emissor de gases do efeito estufa e ações mitigadoras para a redução dessas liberações devem ser incentivadas e colocadas em prática.

Palavras chaves: Emissões de CO<sub>2</sub>. Ciclo de Vida. Residência Popular. Efeito Estufa.

## ABSTRACT

The environmental impact caused by global warming is generated by the emission of greenhouse gases (GHG), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) being the main one. The civil construction sector, especially with the manufacture of materials, is pointed out as one of the main responsible for its generation. In Brazil, the housing deficit is huge, thus, it is necessary to build a significant number of popular interest residences, causing a high release of CO<sub>2</sub> into the atmosphere. Therefore, it is important to do researches to obtain data about this discussion. This work aims to quantify carbon dioxide emissions in the construction of a square meter of a popular interest residence. Quantification was performed through the Energy Life Cycle Analysis, a method of conducting life cycle analyzes that lead to environmental impacts. This method converts direct and indirect energy consumption in the pre-operational phase for each building material, called Embodied Energy (EE), into carbon dioxide equivalent (CO<sub>2</sub>e) emissions. The result of this research was of 374.85 kg of CO<sub>2</sub>e per square meter of construction, considered corresponding to national surveys. This result contributes to the inventory of data in relation to this topic. In conclusion with the results, the civil construction sector is a major emitter of greenhouse gases and mitigating actions to reduce these releases should be encouraged and put into practice.

Key words: CO<sub>2</sub> emissions. Life cycle. Popular Residence. Greenhouse effect.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Ciclo de vida das edificações .....	29
<b>Figura 2</b> – Fases de uma ACV .....	30
<b>Figura 3</b> – Níveis conforme proposto pelo IFIAS.....	33
<b>Figura 4</b> – Ciclo de vida Energético conforme abordagem ACVE.....	34
<b>Figura 5</b> – Fluxograma das etapas, 2018 .....	36
<b>Figura 6</b> – Passos para quantificação das emissões de gases poluentes, 2018 ....	40

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> – Distribuição percentual do consumo energético por atividade .....	46
<b>Gráfico 2</b> – Comparativo Cerâmica Vermelha x Aço e Ferro de consumo energético (MJ/m <sup>2</sup> ).....	52
<b>Gráfico 3</b> – Comparativo Cerâmica Vermelha x Aço e Ferro de emissões de CO <sub>2</sub> e (kg/m <sup>2</sup> ).....	52

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> - Normas ISO referentes à ACV .....	27
<b>Quadro 2</b> - Etapas energéticas na fase pré-operacional .....	38

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Materiais utilizados na residência avaliada nesse estudo .....	37
<b>Tabela 2</b> - Energia Embutida em materiais de construção .....	39
<b>Tabela 3</b> - Consumo de energia por fonte em materiais de construção (% MJ).....	41
<b>Tabela 4</b> - Geração de CO <sub>2</sub> por fonte de energia .....	42
<b>Tabela 5</b> - Geração de CO <sub>2</sub> não energético em processos de fabricação .....	42
<b>Tabela 6</b> - Planilha modelo para cálculo de emissões de dióxido de carbono .....	43
<b>Tabela 7</b> – Discriminação das fases e etapas com respectivos consumos energéticos .....	45
<b>Tabela 8</b> - Energia Embutida encontrada por tipo de material de construção .....	47
<b>Tabela 9</b> - Geração de CO <sub>2e</sub> por tipo de material.....	48
<b>Tabela 10</b> - Comparativo EE x CO <sub>2e</sub> por tipo de material .....	50
<b>Tabela 11</b> - Resumo dos resultados de Energia Embutida e emissão de CO <sub>2e</sub> por insumo utilizado .....	51

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ACVE	Análise do Ciclo de Vida Energético
CBCS	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
CER	Certificados de Emissões Reduzidas
CIB	Conselho Internacional para a Pesquisa e Inovação em Construção
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CO <sub>2e</sub>	Dióxido de carbono equivalente
CUB	Custo Unitário Básico
EE	Energia Embutida
GEE	Gases do Efeito Estufa
ICV	Inventário de Ciclo de Vida
IFIAS	International Federation of Institutes for Advanced Study
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
ISO	International Organization for Standardization
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
PIS	Projeto de Interesse Social
PP4	Prédio Popular
RCE	Redução Certificada de Emissão
REPA	Resource and Environmental Profile Analysis
RTE	Requisitos Totais de Energia
SNHIS	Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social
WCED	World Commission on Environment and Development

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2 JUSTIFICATIVA</b> .....	16
<b>3 OBJETIVOS</b> .....	18
<b>3.1 Objetivo Geral</b> .....	18
<b>3.2 Objetivos Específicos</b> .....	18
<b>4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	19
<b>4.1 Histórico Ambiental</b> .....	19
<b>4.2 Desenvolvimento sustentável e construções sustentáveis</b> .....	21
<b>4.3 Caracterização de uma residência de interesse popular</b> .....	24
<b>4.4 Avaliação do Ciclo de Vida</b> .....	26
<b>4.5 Avaliação do Ciclo de Vida Energético (ACVE)</b> .....	32
<b>5 METODOLOGIA</b> .....	36
<b>5.1 Unidade habitacional</b> .....	36
<b>5.2 Quantificação energética</b> .....	38
<b>5.3 Quantificação das emissões de CO<sub>2</sub>e</b> .....	40
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	44
<b>6.1 Consumos Energéticos</b> .....	45
<b>6.2 Geração de CO<sub>2</sub></b> .....	47
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	54
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	56
<b>APÊNDICE A – PLANILHA DE CÁLCULO PARA OBTENÇÃO DA ENERGIA EMBUTIDA</b> .....	64
<b>APÊNDICE B – PLANILHA DE CÁLCULO PARA OBTENÇÃO DA EMISSÃO DE CO<sub>2</sub>e</b> .....	65

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2006), o principal motivo dos problemas ambientais é o estilo de vida de seus habitantes, pois ainda falta para a população consciência em relação a preservação ambiental.

No início do século, os impactos produzidos pelo desequilíbrio ambiental passaram a ter um caráter desastroso (DIAS, 2006). Desastres ambientais como furacões, maremotos, enchentes e outros passaram a ser mais frequente na vida da população.

Com o intuito de se obter um desenvolvimento sem comprometer o futuro, o conceito de desenvolvimento sustentável recebe um foco cada vez maior. No *World Commission Environment and Development*, em 1987, através do documento *Our Common Future*, esse conceito foi definido como aquele capaz de satisfazer as necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas (GUERRA *et al*, 2015).

Diversos foram os debates mundiais com o objetivo de reduzir os danos causados ao meio ambiente, tendo como destaque a Agenda 21 que visa obter um crescimento sustentável através de metas e medidas. Uma das metas traçadas foi um acordo entre os países participantes de se reduzir o uso de bens não renováveis no meio ambiente. Tal discussão sobre a redução no uso desses materiais, gerou preocupação no setor da construção civil (CIB, 2002).

A indústria da construção civil é uma das maiores consumidoras de matérias-primas naturais, sendo responsável por um consumo em torno de 50% dos recursos naturais utilizados pelo homem (AGOPYAN *et al*, 2011). Além disso, Damineli *et al* (2010) destacam que 5% das emissões do homem para a atmosfera é de responsabilidade da indústria do cimento.

Desta forma, Demétrio (2011) afirma que a indústria da construção civil pode ser considerada uma fonte geradora de poluição, porém, sem esse setor em pleno funcionamento não existe crescimento, e para que haja um desenvolvimento sustentável, é necessário a implantação de uma construção sustentável.

Nesse contexto, há a necessidade de se avaliar a maneira mais eficiente de utilização dos materiais de construção, com o objetivo de evitar desperdícios (BESSA, 2010). Para isso, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) apresenta-se como

uma excelente ferramenta de avaliação de desempenho dos materiais, sistemas produtivos ou mesmo de uma edificação ao longo de toda a sua vida útil (BUILDING, 2013).

Além disso, a ACV permite mapear e quantificar as emissões associadas dos materiais e a gestão sustentável, que norteia os processos de gerenciamento da produção e uso dos materiais e técnicas empregadas na edificação, permitindo o planejamento das ações mitigadoras em todas as fases da construção (GONÇALVES *et al*, 2013).

Entretanto, ainda que um estudo ACV seja de grande utilidade para avaliações ambientais, este requer um gasto de recursos elevados e demanda bastante tempo, dois fatores que a Engenharia busca otimizar (CHEHEBE, 1998). Além desses motivos, Silva (2003) destaca que a indústria brasileira ainda não dispõe de um banco de dados que permita a realização desse estudo complexo.

A partir disto, surgem metodologias que visam a redução de tempo e gasto na execução dessas análises ambientais, com destaque para os métodos de Análise do Ciclo de Vida Energético (ACVE) (FAY, 1999). Este estudo destaca a importância da Energia Embutida (EE), que é definida como conjunto de insumos energéticos diretos e indiretos gastos para a obtenção do produto.

Esta ferramenta se caracteriza por ser baseada na metodologia da ACV, pois também considera o estudo do berço ao túmulo, analisando todas as entradas de energia de uma edificação no seu ciclo de vida desde a fase pré-operacional, fase de vida útil e o pós-uso da construção (HESTNES *et al*, 2007).

O setor da construção civil possui um intenso gasto energético, principalmente de fontes de origem fóssil, com isso contribuindo excessivamente para a emissão de gases causadores do efeito estufa (SCHMID *et al*, 2009). Tavares (2006) enfatiza essa ideia destacando que 75% da energia utilizada na construção civil são de fontes não renováveis. Desta forma, esta metodologia além de analisar a eficiência energética é capaz de analisar impactos ambientais ocasionados pela emissão de gases poluentes.

Assim, esse estudo propõe realizar a quantificação das emissões de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e) na construção de 01 m<sup>2</sup> de uma casa de interesse popular utilizando o método ACVE na fase pré-operacional.



## 2 JUSTIFICATIVA

A preocupação com o meio ambiente e um futuro sustentável ganhou mais destaque nas últimas décadas (PAULSEN *et al*, 2014). Silva (2012) afirma, que o homem retira, para sua subsistência, muito mais do que o necessário do meio ambiente. Ele ainda afirma que o ser humano começou a sentir o detrimento que causou a natureza, e com isso surgiram as preocupações ambientais.

Mattos (2008, p. 60) corrobora essa ideia:

Aos poucos, o homem toma consciência do seu impacto sobre o mundo e a escassez dos recursos naturais e percebe que é preciso transmutar seu modo de vida. A sociedade hodierna consome 25 % a mais do que o planeta tem capacidade de renovar, ou seja, não vivemos de forma sustentável. Em alguns locais do mundo já surgem as consequências como falta de água, poluição urbana, aquecimento global e esgotamento de outros recursos naturais. Para modificar esse quadro, é necessário trazer para o dia-a-dia, soluções sustentáveis que geram menor impacto ambiental.

Desta forma, é necessário a realização de pesquisas que busquem reduzir os impactos ambientais causados pelo homem e um aumento na qualidade de vida.

Embora o setor da construção civil gere vários benefícios para o país, esta indústria é uma das maiores consumidoras de recursos naturais como: água, energia e matéria-prima. A partir deste elevado consumo, a geração de resíduos sólidos urbanos e a emissão do principal gás causador do efeito estufa cresce de forma substancial (STACHERA *et al*, 2007).

A respeito deste setor, vem sendo realizado estudos para tentar reduzir esses impactos. Estas pesquisas buscam desenvolver produtos menos danosos ao ambiente, reutilização de recursos naturais, racionalização do uso de energia, utilização de sistema para reduzir o consumo de água e reciclagem de materiais (CUNHA, 2009).

Uma das metodologias empregadas para esses estudos é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que é um método onde se permite realizar um levantamento qualitativo e quantitativo dos insumos utilizados, energia consumida, processo produtivo, transporte, utilização, reutilização, reciclagem e disposição final (CUNHA, 2016).

Tavares (2006) destaca que devido à complexidade deste método, outros foram desenvolvidos para a obtenção desses parâmetros ambientais. Desta forma, a Avaliação do Ciclo de Vida Energética (ACVE) é uma ferramenta cada vez mais

utilizada, podendo associar Energia Embutida com emissão dos gases causadores do efeito estufa.

Neste contexto, ressalta-se a importância de quantificar a emissão de CO<sub>2</sub>e no âmbito das habitações populares, pois é um mercado significativo da construção civil, contribuindo com dados sobre estas discussões.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo Geral**

Quantificar a emissão de dióxido de carbono equivalente na construção de um metro quadrado da produção de uma residência de interesse popular.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- a) Identificar os materiais e seus quantitativos utilizados em 01 metro quadrado na construção de uma residência de interesse popular;
- b) Calcular a emissão de dióxido de carbono equivalente emitida direta e indiretamente dos insumos do modelo de habitação proposto;
- c) Inventariar a quantidade de emissão de dióxido de carbono equivalente na produção de uma residência popular;
- d) Identificar impactos ambientais gerados pela emissão do gás poluente.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Histórico Ambiental

As preocupações da comunidade internacional sobre a degradação ambiental começaram a ter destaque na década de 60, quando iniciou a discussão sobre os limites do desenvolvimento do planeta, associado aos riscos do meio ambiente (MARTINS, 2015).

A partir desse debate, houve a criação do Clube de Roma em 1968, com o objetivo de alertar lideranças para adotar atitudes a fim de combater os problemas da humanidade. A sua primeira publicação, em 1972, consistiu em um relatório denominado “Os Limites do Crescimento” (do inglês, *The Limits to Growth*). Neste, destacou-se a preocupação com a produção de energia, a poluição, a urbanização, o crescimento populacional e a degradação do meio ambiente (NASCIMENTO, 2012).

Com a problematização do uso dos recursos naturais exposta no documento, houve grande impacto na comunidade, com previsão de cenários catastróficos do futuro, caso se mantivesse o padrão de desenvolvimento da época (XAVIER *et al*, 2015).

Os efeitos de uma economia não sustentável alertaram os países para o fato de que as ações humanas estavam causando um crescente desgaste da natureza e gerando ameaças para a sobrevivência da humanidade (NASCIMENTO, 2012). Desencadeou, desta forma, em diversas Conferências Mundiais realizadas pela Organização das Nações Unidas para debater questões ambientais.

A primeira delas, em Estocolmo, aconteceu em 1972, no mesmo ano da publicação do relatório. Nela, criou-se o conceito de “Ecodesenvolvimento” que visa equilibrar o progresso econômico, ao desenvolvimento ecológico e à justiça social (POTT, 2017). Assim, contribuiu a guiar as decisões relativas às questões ambientais.

A expressão Desenvolvimento Sustentável ascende em 1987, sendo apresentada pela *World Commission on Environment and Development* (WCED) no relatório intitulado “Nosso Futuro Comum”. O relatório estabelece que a expressão supracitada busca garantir o desenvolvimento econômico e social da atualidade, sem prejudicar as futuras demandas da sociedade (BRUNTLAND, 1987).

Em 1988, a ONU aprovou a realização da segunda Conferência Mundial sobre o Ambiente Humano a ser realizada no Rio de Janeiro, denominada de ECO-

92 ou Rio-92. Esta reunião teve por objetivo buscar meios que permitissem aliar o desenvolvimento socioeconômico com a preservação ambiental. Neste mesmo encontro, foi definida a agenda para o próximo século, nomeada Agenda 21. Este documento possui 2500 recomendações que planejam ações e metas, vislumbrando um futuro sustentável, sem impedir o desenvolvimento das nações (OLIVEIRA, 2012).

Devido as elevadas emissões de gases poluentes para a atmosfera, em 1997, foi firmado um acordo internacional conhecido como Protocolo de Quioto, que tem por objetivo a redução desses gases, que são responsáveis por causar o efeito estufa e o aquecimento global (OLIVEIRA, 2012). A meta estabelecida foi de reduzir 5,2% nas emissões entre 2008 e 2012 em comparação à década de 90. Contudo, o acordo somente entrou oficialmente em vigor em 2005, assinado por 84 países, entre eles o Brasil (GODOY *et al*, 2015).

Diversas outras conferências e encontros foram realizados no século atual, com destaque para a Rio+10, em 2002, em Johannesburgo na África do Sul. Nela rediscutiu-se as soluções propostas na Agenda 21, para a realização de forma mais concreta (CUNHA, 2016). Outra de grande destaque foi em 2009 a Conferência do Clima em Copenhague, que teve como foco das negociações o estabelecimento de novas metas internacionais de redução da emissão de gases causadores do efeito estufa (CALDERÓN *et al*, 2015).

Na 18ª Conferência das Nações Unidas, em 2012, em Doha, no Qatar, percebeu-se que as metas estabelecidas no Protocolo de Quioto não haviam sido cumpridas. Com isso, estenderam-se as metas do protocolo até 2020, pois esse é o maior compromisso dos países industrializados para reduzir a emissão dos gases poluentes (CAMPELLO *et al*, 2015).

Ainda em 2012, realizou-se a Rio+20, no Rio de Janeiro. Esta conferência contribuiu para a divulgação pela ONU, em 2015, do relatório “O caminho para a dignidade até 2030: acabando com a pobreza, transformando todas as vidas e protegendo o planeta”. Neste, são apresentadas metas que guiarão o desenvolvimento sustentável no futuro (PNUD, 2016).

Observa-se que, desde Estocolmo em 1972, até as conferências atuais, houveram conflitos de interesses entre o crescimento dos países e o desenvolvimento sustentável do planeta. Contudo, nestas conferências também houve disposição para a realização de diálogos, fortalecendo, assim, a consciência pública quanto aos problemas ambientais (BERCHIN *et al*, 2015).

## 4.2 Desenvolvimento sustentável e construções sustentáveis

A partir da construção desse contexto histórico, reafirma-se o conceito de desenvolvimento sustentável, que visa assegurar o desenvolvimento das atuais gerações sem comprometer a capacidade das gerações futuras em atender suas necessidades (MOTTA, 2009).

Desta forma, para atingir este objetivo é necessária uma redução no consumo de bens e uma produção que utilize uma menor quantidade de recursos naturais, gerando assim menores impactos ambientais e redução da emissão de gases poluentes e consumo energético (JOHN, 2000).

Este autor ainda corrobora sua ideia afirmando que é necessária uma mudança no modelo de produção atual, mudando de linear (extração da matéria-prima, produção, venda, utilização e descarte) para um mais eficiente quanto a reutilização dos recursos. Este novo modelo, enfatiza o reaproveitamento e desmontagem dos produtos e não seu descarte em aterros sanitários.

Tavares (2006) afirma que para atingir o desenvolvimento sustentável desejado pelas nações é proposto um vínculo de desenvolvimento humano, econômico e ambiental, através de uma parceria igualitária entre os países. Este autor ainda destaca que esse movimento foi consolidado a partir da Rio 92, originando a Agenda 21.

Das metas estabelecidas nessa agenda, destaca-se as relacionadas à construção civil. Voltada para essa questão, é criada a “Agenda 21 para construções sustentáveis”, que cita a necessidade de intervenção na indústria da construção civil como essencial para se obter a sustentabilidade. Neste documento, também fica determinado critérios para a racionalização de recursos, tendo destaque para a redução de perdas e desperdícios e aumento na qualidade do ar e eficiência energética (LOBO, 2010).

A partir do crescente interesse com relação às construções sustentáveis, o Conselho Internacional para a Pesquisa e Inovação em Construção (CIB) define esse tipo de construção como “[...] um processo holístico para restabelecer e manter a harmonia entre os ambientes construídos e criar estabelecimentos que confirmem a dignidade humana e estimulem a igualdade econômica [...]” (CIB, 2002, p. 8).

Cunha (2016) destaca que para se construir de maneira sustentável deve-se considerar todo o ciclo de vida da obra, analisando desde a extração da matéria

prima até a desconstrução do empreendimento. A partir disto, é necessário um detalhamento de cada etapa da obra demonstrando os impactos ambientais.

Dentre estas etapas, Tavares (2006) afirma que a fabricação dos materiais de construção colabora de maneira acentuada na emissão dos gases poluentes. Desta forma, a escolha dos materiais utilizados no empreendimento é fundamental para qualquer análise sobre sustentabilidade na construção civil.

Sobre os impactos, há um destaque para a emissão de gases causadores do efeito estufa. A etapa de maior relevância na emissão desses gases é a produção do cimento, sendo responsável por 4 a 5% de todo o CO<sub>2</sub> e despejado na atmosfera pelo homem (MARLAND, 2003).

Tavares (2006) reafirma essa ideia, demonstrando que a construção civil colabora com 40% das emissões atmosféricas, 25% do despejo de efluentes líquidos, 20% de resíduos sólidos e 13% de outras liberações.

Como já enfatizado, é preciso conciliar desenvolvimento com sustentabilidade e para isso ser possível é necessário entender as necessidades de cada país, assim, com o intuito de relacionar o conceito de construção sustentável com as demandas sociais de cada país, surge a “Agenda 21 para construções sustentáveis em países em desenvolvimento”. Este documento destaca que para se obter a sustentabilidade é necessária uma intervenção no setor da construção civil (CIB, 2002).

A repercussão gerada no Brasil para este documento, foi a criação do Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) em agosto de 2007. Este conselho tem por objetivo levar o setor da construção civil ao uso de atividades mais sustentáveis e atingir as metas propostas nesta agenda (CBCS, 2007).

Corroborando com a informação sobre a elevada emissão de CO<sub>2</sub> e a partir da produção do cimento, o CIB (2002) destaca que o documento oriundo desta última agenda alerta que a indústria de fabricação de materiais de construção para a construção civil é responsável por 20% da emissão mundial de gases poluentes.

Desta forma, para que o setor da construção civil obtenha o reconhecimento em ajudar no Desenvolvimento Sustentável, é necessário que os produtos oriundos da construção civil poluam menos, agreguem mais valor e melhorem a qualidade de vida sem comprometer o futuro (SILVA, 2003).

Demétrio (2011) destaca que vantagens econômicas cedidas a empresas geradoras de poluição atmosférica, também auxiliam na redução dessas emissões.

Com isso, empresas da construção civil podem expandir seu mercado à venda de créditos de carbono, conciliando assim, redução da elevada taxa de emissão de gases do efeito estufa com ganho financeiro advindo de recursos externos.

A partir das preocupações com desenvolvimento sustentável e os alertas emitidos pelo IPCC, a atenção ao efeito estufa passou a ter grande influência nas ações propostas sobre as problemáticas ambientais. Desta forma, no Protocolo de Quioto, é criado o chamado Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que visa a redução certificada da emissão de gases nocivos para a atmosfera (FRONDIZI, 2009).

A partir da obtenção desta certificação, quem promove a redução da emissão desses gases poluentes obtêm crédito de carbono, que pode ser negociado no mercado do carbono com países com metas a cumprir (BRASIL, 2012).

O mercado do carbono funciona a partir da compra e venda de créditos certificados pela redução de emissão de carbono equivalente. Este comércio ocorre entre os credores, que são empresas de países em desenvolvimento que atingem metas de redução de GEE, e os devedores, que são os países desenvolvidos que não atingiram suas metas de redução.

Como não existe somente um gás causador das mudanças climáticas, criou-se uma maneira de comparativo entre os diversos tipos de poluentes com a finalidade de facilitar compensações a partir das quantidades emitidas desses gases. Para isto, o termo dióxido de carbono equivalente ( $\text{CO}_2\text{e}$ ), surge com o conceito encontrado no Inventário Nacional sobre Emissão de Gases do Efeito Estufa como “[...] concentração de dióxido de carbono que pode causar o mesmo grau de influência radioativa que uma mistura de dióxido de carbono e outros gases do efeito estufa [...]” (IPCC, 2006, p. 5). Além de facilitar as compensações, esta equivalência busca métodos que levem a minimizar a redução de gases nocivos.

A diminuição de emissões de gases poluentes é medida em toneladas de dióxido de carbono equivalente ( $\text{tCO}_2\text{e}$ ), com isso, cada tonelada removida da atmosfera representa uma unidade emitida pelo MDL, denominada de Redução Certificada de Emissão (RCE). A partir da obtenção das RCE, as empresas podem negociar no mercado os Certificados de Emissões Reduzidas (CER), assim os que não atingiram o objetivo, podem comprar estes certificados para alcançar a meta (BRASIL, 2012).



No Brasil, este mecanismo fomentou o desenvolvimento de novas tecnologias para a redução destas emissões, impulsionando o país para a terceira posição mundial entre os países participantes deste mercado, possuindo cerca de 5% do total deste comércio (BRASIL, 2012).

Embora este mercado tenha impulsionado a diminuição das emissões dos gases causadores do efeito estufa, ele ainda sofre bastante crítica, pois os níveis de poluição dos países desenvolvidos são mantidos altos através da transferência de suas reduções aos países em desenvolvimento (DEMÉTRIO, 2011).

Lobo (2010), destaca que a construção civil tem um consumo elevado no setor energético em todos os seus processos. Desta forma, as emissões de CO<sub>2</sub> e também são elevadas e bem relevantes no mercado do carbono. Assim, pode-se salientar o potencial financeiro disponível para a indústria da construção civil neste mercado, em especial no setor da fabricação de materiais, pois este setor emite 20% dos gases causadores do efeito estufa (CIB, 2002).

Outro mercado com grande potencial de redução de liberações de CO<sub>2</sub> e é o da construção de casas populares. O déficit habitacional brasileiro ainda é elevado, desta forma é essencial a construção de mais moradias e construindo de forma sustentável pode-se obter ganhos ambientais e ganhos financeiros no mercado do carbono (CBIC, 2014). A seguir encontra-se a definição de residências populares e aspectos gerais sobre moradia.

#### **4.3 Caracterização de uma residência de interesse popular**

A finalidade de uma habitação é de acomodar seus moradores. Lago (2010), destaca que uma moradia exerce três principais funções: social, ambiental e econômica. A primeira delas é de acolher a família permitindo o seu desenvolvimento. A segunda, representa como essa habitação será inserida no ambiente urbano e o impacto que ela causará ao meio ambiente. Por fim, a terceira função, é a produção de emprego e renda, o envolvimento dos setores da economia local e a atuação dos mercados imobiliários.

Para Fittipaldi (2009), o que caracteriza uma casa de interesse popular é a baixa renda de seus habitantes. Desta forma, com o intuito de reduzir gastos, as residências de cunho social possuem projetos simplificados e áreas reduzidas.

É notório que o empreendimento de casas populares é direcionado às famílias que não possuem casa própria e moram em ambientes precários. Desta forma, o Plano Diretor de um município direciona áreas específicas onde serão implantados esses empreendimentos, assim, melhorando a qualidade de vida dos moradores (CECCHETTO *et al*, 2015). Este autor ainda afirma que o Brasil possui uma crise habitacional, especialmente para famílias de baixa renda, e que os diversos problemas econômicos agravam essa crise.

Corroborando com esta afirmação, dados do CBIC (2014) demonstram que 83,9% do déficit habitacional brasileiro é decorrente de famílias que possuem faixa de renda mensal familiar em até 03 (três) salários mínimos.

Desta forma, com objetivo de amenizar o déficit habitacional no país, diversos projetos para construção de residências populares vêm sendo financiados pelos bancos brasileiros com os recursos do Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social (SNHIS). Assim, a indústria da construção civil voltada para habitações populares cresce substancialmente (DEMÉTRIO, 2011).

O maior desses programas é o Minha Casa Minha Vida, que em 2017 entregou 434.405 unidades (BRASIL, 2017). O principal foco desses empreendimentos sociais são as residências unifamiliares caracterizadas por possuírem área de até 70 m<sup>2</sup> (SZÜCS, 2000).

Demétrio (2011) confirma que esta carência habitacional está concentrada na população mais pobre e que essa parcela da sociedade possui um poder de compra reduzido. Com isso, as construtoras que operam no ramo de baixa renda sempre procuram reduzir os custos e o prazo de execução.

Entretanto, não se deve apenas considerar o lucro das empresas em detrimento a qualidade das obras, pois tanto as habitações de caráter social como qualquer outra moradia devem proteger e acolher famílias, respeitando as necessidades do homem. Além disso, deve-se perdurar uma conduta ética de preservação do meio ambiente e redução dos impactos ambientais gerados pela construção civil (CECCHETTO *et al*, 2015).

A partir desse contexto, a NBR 12.721/06 caracteriza e define 21 projetos padrão que recebem incentivos do governo. Nesta norma foram adotados os índices gerais para estimativa de custos da construção civil, o chamado Custo Unitário Básico (CUB) (LOBO, 2010).

Esses empreendimentos são divididos em 03 grandes tipos: padrão baixo, padrão normal e padrão alto. Essa distribuição ocorre baseada nas características empregadas em cada modelo, variando do tipo de acabamento até o valor disposto para execução do empreendimento (GIANNETTI *et al*, 2017).

Dentre os diferentes tipos de projetos financiados, um deles possui amplo investimento do governo federal e se enquadra no padrão popular. É caracterizado como:

- a) R1 – B: Residência unifamiliar composta de dois dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área para tanque. Área Real: 58,64 m<sup>2</sup> (ABNT, 2006).

Além desse modelo, também se destacam os modelos Prédio Popular (PP4) e o Projeto de Interesse Social (PIS).

Neste contexto de déficit habitacional e necessidade de investimento no setor de construção de moradias populares, a realização dessas obras de maneira sustentável faz-se necessário para redução de impactos ambientais. Desta forma, elaborar estudos de análises de ciclo de vida é essencial para a obtenção desta meta.

#### **4.4 Avaliação do Ciclo de Vida**

A Avaliação do Ciclo de Vida é uma metodologia que procura identificar, estimar e inventariar implicações ambientais desde etapas iniciais do projeto até à disposição final do produto, considerada assim, um estudo do berço ao túmulo (RISSATO, 2012; TAVARES, 2006).

Este estudo também tem como objetivo fornecer dados que auxiliam na tomada de decisões a respeito da sustentabilidade de um determinado produto (RISSATO, 2012).

A *International Organization for Standardization* (ISO) normatizou na ISO 14040 parâmetros para a realização de uma Avaliação do Ciclo de Vida, definindo como “compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida”.

O primeiro estudo utilizando essa metodologia foi realizado pela Coca-Cola em 1965, com o objetivo de estabelecer parâmetros de emissões de gases poluentes utilizando dois tipos de embalagens de refrigerante. Esta análise inventariou matérias-

primas e combustíveis utilizados, além de mensurar as cargas ambientais no processo produtivo e ficou conhecido como *Resource and Environmental Profile Analysis* (REPA) (CURRAN, 2006).

Com a crise do petróleo, em 1974, algumas avaliações do ciclo de vida foram elaboradas principalmente na Europa, pois os países desenvolvidos observaram a necessidade de racionalizar os gastos energéticos e melhor empregar os recursos naturais (TAVARES, 2006).

Entretanto, devido a dificuldade de padronização da metodologia, escassez de banco de dados e elevados recursos para a elaboração dessas análises, houve uma redução de interesse da sociedade pelo assunto (KULAY, 2004).

A partir da década de 1990, quando os conceitos de desenvolvimento sustentável e sustentabilidade se destacaram, os estudos sobre ACV foram retomados. Desta forma, criou-se um Código de Práticas em ACV, com o objetivo de padronizar o método com conceitos e procedimentos mundiais orientados pelas normas da ISO (SETAC, 1993).

Assim, para atingir os objetivos supracitados, é implantado um comitê que visa realizar estudos e desenvolver diretrizes de Gerenciamento Ambiental. Estas pesquisas originaram um conjunto de normas conhecida como “série 14040” a qual é composta pelas normas demonstradas no Quadro 1 (TAVARES, 2006).

**Quadro 1** - Normas ISO referentes à ACV

<b>Norma</b>	<b>Título</b>
ISO 14040 / 1997	Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework.
ISO 14041 / 1998	Environmental management - Life cycle assessment - Goal and scope definition and inventory analysis.
ISO 14042 / 2000	Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle impact assessment
ISO 14043 / 2000	Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle interpretation
ISO 14044 / 2006	Environmental management – Life Cycle Assessment – Requirements and guidelines

Fonte: Adaptado de Cunha (2016)

## I. Avaliação do Ciclo de Vida na Construção Civil

Tavares (2006) afirma que dependendo da abrangência dos dados coletados e da análise dos parâmetros obtidos, as utilidades de uma ACV são extensas e relevantes. Relacionadas a construção civil destacam-se as seguintes:

- a) O levantamento detalhado dos limites do processo de um produto incluindo insumos, transporte e descarte;
- b) A determinação da energia embutida em um produto e emissão de gases poluentes;
- c) A comparação de características ambientais e econômicas das variantes para um determinado produto;
- d) A avaliação do desempenho ambiental.

O setor da construção civil é caracterizado como um dos principais causadores de impactos ambientais (COSTA, 2014). Desta forma, este autor associa a ACV com o setor, destacando que por esse método realizar uma análise ampla e em todas as fases do sistema de produção é possível obter avanços nos aspectos ambientais.

Corroborando com esta ideia, Seiffert (2007, p. 27), destaca que a técnica da avaliação do ciclo de vida acarreta em “[...] analisar recursos, emissões, energia e impactos ambientais ao longo da cadeia de valor [...]”. Assim, a avaliação aborda os aspectos desde a extração, processamento, transporte e uso da matéria-prima, até o reuso, manutenção e reciclagem dos materiais. Com isso, percebe-se que o método analisa todo o ciclo de vida de uma edificação, o qual é representado na Figura 1 (CARMINATTI JÚNIOR, 2012).

**Figura 1** – Ciclo de vida das edificações



Fonte: Carminatti Júnior (2012)

Entretanto, a ACV para a construção civil demonstra limitações, pois é complexa a obtenção de informações e dados para os materiais de construção. Portanto, métodos mais simples estão sendo utilizados por pesquisadores com o objetivo de contribuir para a criação de um banco de dados para análises futuras (EVANGELISTA *et al*, 2014).

## II. Estrutura Metodológica de uma ACV

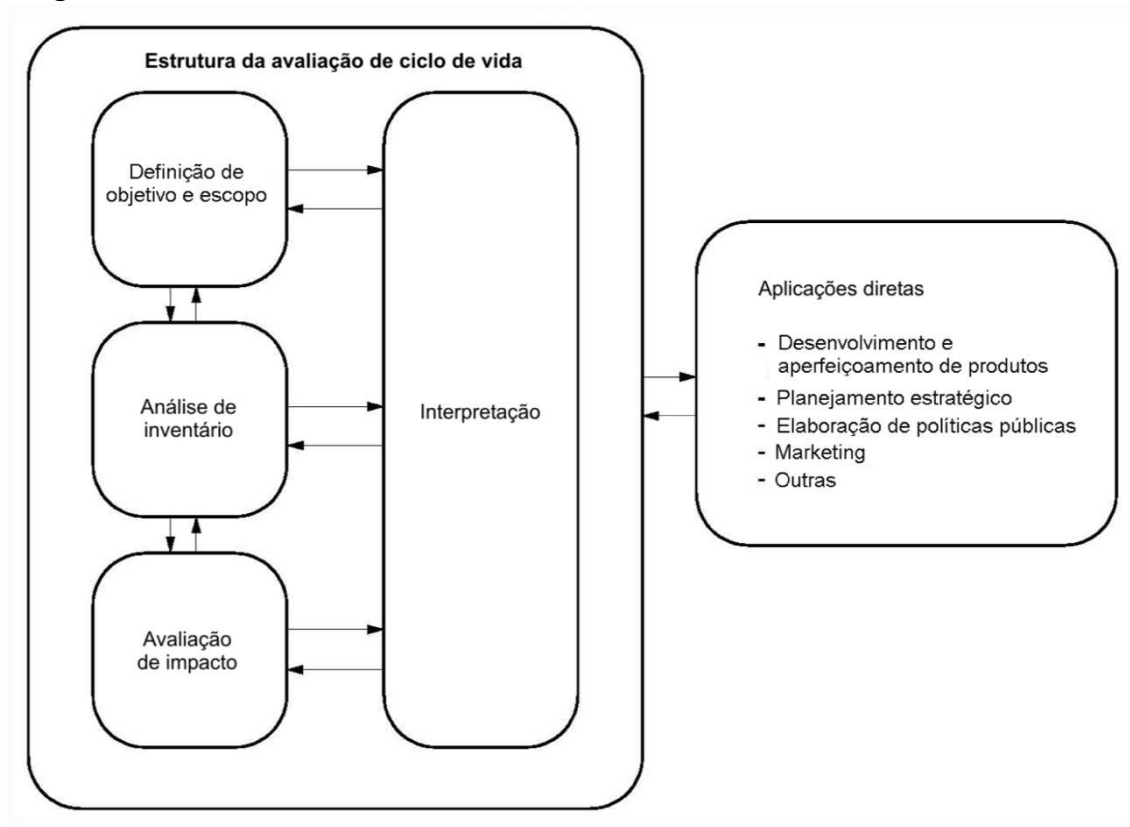
A norma ISO 14040/09 – Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura, descreve os princípios básicos de uma ACV, sendo compreendida em quatro fases. Cada uma dessas é orientada por uma norma da “série 14040”:

- a) Objetivo e Escopo – ISO 14041
- b) Análise do Inventário – ISO 14041
- c) Avaliação de Impacto – ISO 14042
- d) Interpretação – ISO 14043

Destaca-se também que a aplicação em si de uma ACV está fora desta norma e deve ser empregada em sincronismo com a ISO 14044/2006 (COSTA, 2012).

A partir da Figura 2, extraída da mesma norma, percebe-se como cada fase se relaciona, além de algumas aplicações da avaliação:

**Figura 2** – Fases de uma ACV



Fonte: Norma ABNT NBR ISO 14.040 (2009)

A seguir, serão demonstrados os principais pontos e aspectos associados a estrutura metodológica de uma análise do ciclo de vida.

### **a) Definição do Objetivo e Escopo**

É estabelecido na norma que o objetivo de uma Avaliação do Ciclo de Vida deve ser claro e consistente com a aplicação pretendida, além de evidenciar as razões para sua elaboração e definir o público alvo (ELCOCK, 2007).

Já o escopo, define as limitações para o ciclo de vida, chamado de sistema do produto, e qual será a metodologia empregada. Este sistema estabelece fronteiras e define quais subdivisões dentro do fluxo produtivo serão incluídos no sistema

(AUGUSTIN *et al*, 2014). A norma enfatiza que o escopo deve ser bem definido, pois ele guiará todo o procedimento do estudo.

### **b) Análise do Inventário de Ciclo de Vida (ICV)**

De acordo com a NBR 14040 (ABNT, 2009), a partir das definições da etapa anterior, objetiva-se nesta, calcular a quantidade de recursos primários e secundários utilizados e também as emissões feitas ao longo do ciclo de vida.

Desta forma, a análise do Inventário de Ciclo de Vida (ICV) busca identificar a entrada e saída de dados do sistema que foi delimitado na fase anterior. Destaca-se também, que neste passo está contido a coleta de dados e todos os cálculos necessários para a obtenção dos resultados (CASTRO FILHO, 2013).

Tavares (2006) alerta para a qualidade da coleta e registro de dados, visto que a falta dela é uma das principais fraquezas de uma ACV. Este autor ainda afirma que “um inventário bem conduzido leva à identificação das principais contribuições por etapas do ciclo de vida, o que facilita o levantamento em estudos posteriores”.

### **c) Avaliação de Impacto Ambiental**

Esta fase é a que busca entender e mensurar as modificações causadas ao meio ambiente em detrimento do uso de recursos naturais, energia e emissão de gases poluentes relacionados ao ciclo de vida do produto (COLTRO, 2007).

A ISO 14040 (ABNT, 2009) enfatiza que nesta etapa, deve-se tentar compreender e associar dados do inventário com impactos ambientais causados. A seleção desses impactos, o grau de descrição e os métodos utilizados dependem do objetivo e escopo pré-definidos na realização da ACV.

### **d) Interpretação de Resultados**

É a etapa que busca solucionar às questões propostas no escopo, além de propor medidas para redução de gastos energéticos, emissão de resíduos e consumo de bens naturais (TAVARES, 2006).



Nesta fase também pode haver a revisão das definições iniciais a partir de uma análise crítica quanto à metodologia empregada e os dados coletados, deixando bem evidente as limitações do estudo (CHAVES, 2014).

#### **4.5 Avaliação do Ciclo de Vida Energético (ACVE)**

A realização de um estudo ACV exigirá uma grande quantidade de recursos, tempo e um conhecimento completo do sistema estudado. Devido a isso, desenvolve-se diferentes ferramentas que auxiliam na obtenção de resultados significativos sobre ciclo de vida, acarretando menos tempo e menor gasto de recursos (CARMINATTI JÚNIOR, 2012).

Essa ideia é corroborada por Lobo (2010, p. 62):

A quantidade de insumos, e a origem deles e sua árvore de processo envolvem diversos setores e há poucos bancos de dados que contemplem um nível regional para utilizar a ACV integralmente para avaliar os impactos ambientais.

Desta forma, a Análise do Ciclo de Vida Energética é uma dessas ferramentas capazes de conduzir uma análise de impactos ambientais de forma simplificada (TAVARES, 2006).

Contudo, é necessário enfatizar que uma ACVE não propõe substituir um método complexo como a ACV, mas sim facilitar a realização de estudos sobre eficiência energética e impactos gerados ao meio ambiente, como a emissão de CO<sub>2</sub>e (FAY, 2000).

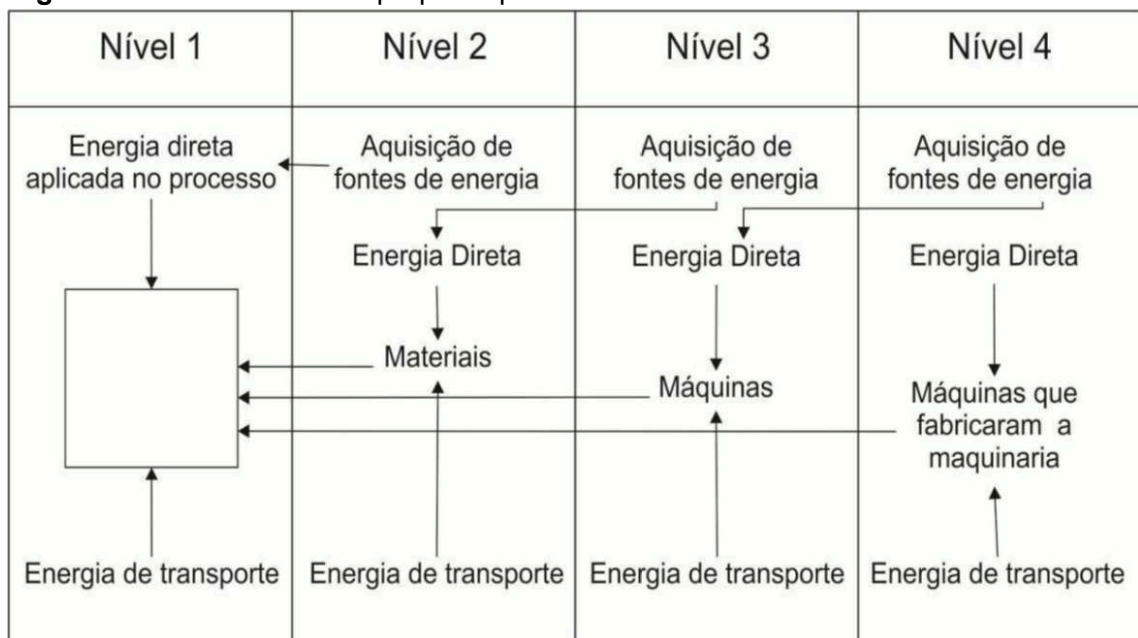
Tavares (2006) destaca que o método de avaliação energético proposto é baseado na ACV e prioriza o inventário de consumos energéticos diretos e indiretos, além de fornecer condições para avaliações de impactos ambientais, em especial a emissão de gases do efeito estufa. Enfatizando ainda, que demanda menor custo e tempo na sua elaboração.

O início de um estudo ACVE acontece definindo os limites da análise, que possibilitará medir o nível de complexidade do estudo a ser realizado. Desta forma, a *International Federation of Institutes for Advanced Study* (IFIAS) define os parâmetros que auxiliam na determinação desses limites (LOBO, 2010). Este padrão disponibiliza quatro níveis para avaliação de requisitos totais de energia (RTE), são eles descritos (TAVARES, 2006):

- a) **Nível 1:** Mede a energia direta consumida na fabricação do produto, ou seja, dentro dos limites da fábrica. Este nível representa em média 50% do consumo de energia;
- b) **Nível 2:** Este nível compreende a energia indireta para obtenção do produto. Abrange a energia gasta para extração e obtenção das matérias-primas. Associado ao primeiro nível, os dois juntos representam 90% do gasto energético;
- c) **Nível 3:** Verifica a energia consumida para a produção dos bens de capital e pode acrescentar cerca de 9% do consumo energético;
- d) **Nível 4:** Relaciona o requisito energético para as máquinas que produziram os bens de capital do nível anterior. Geralmente possuem valores muito baixo, inferiores a 1%.

Os níveis propostos para esta avaliação podem ser observados na Figura 3.

**Figura 3** – Níveis conforme proposto pelo IFIAS



Fonte: adaptado de Wilting (1996, p. 16)

Wilting (1996), afirma que a obtenção dos RTEs é de extrema complexidade e inclusive podem ser questionados devido a divergências metodológicas. Desta forma, é difundido o conceito de Energia Embutida (EE), que

abrange os dois primeiros níveis proposto pela IFIAS e possui precisão em torno de 90% do valor do RTE (TRELOAR, 2001).

Este último autor define Energia Embutida como o total de insumos energéticos, diretos e indiretos, necessários para o transporte e fabricação de um produto nas etapas pré-operacionais do seu ciclo de vida.

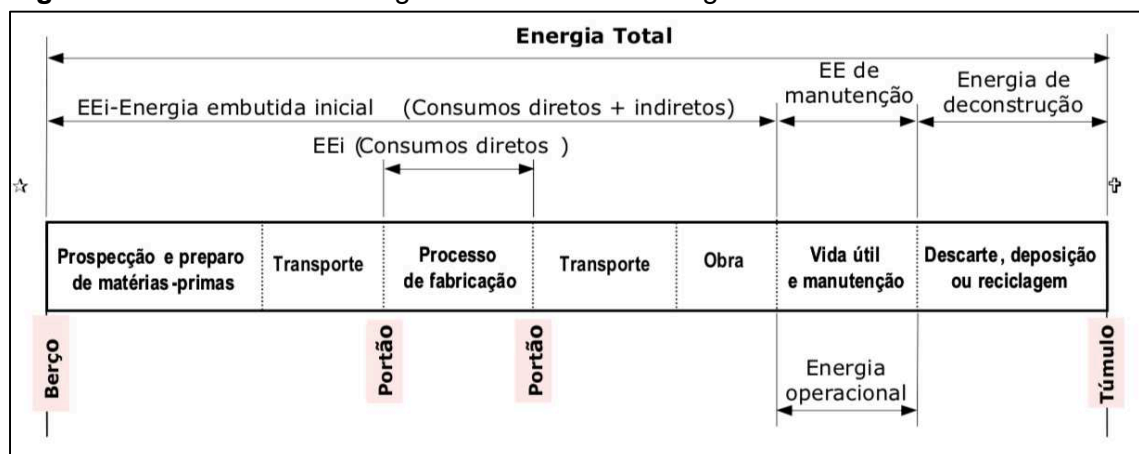
## I. Avaliação do Ciclo de Vida Energético das Edificações

Este método é um dos mais utilizados para estudos de impactos ambientais e análise energética em edificações (LOBO, 2010). Reafirmando esta ideia, Tavares (2006) apontou dois motivos para a utilização deste método no setor da construção civil: devido a complexidade do processo de construção civil e a grande quantidade de energia despendida e emissão gases poluentes pelas suas atividades.

Este autor ainda destaca outro fator relevante para a utilização desta ferramenta em edificações, o fato das unidades utilizadas serem próximas das utilizadas na construção civil, em geral, resultados são expressos em unidades de  $\text{GJ/m}^2$ ,  $\text{MJ/m}^2$ . O mesmo ocorre para obtenção de valores de emissão de gases poluentes, como  $\text{tCO}_2/\text{m}^2$ .

Para a realização de um estudo ACVE em edificações, Deeke (2009), propõe que após a definição do nível de complexidade do estudo de uma ACVE, deve-se verificar as etapas do ciclo de vida do produto para a obtenção dos resultados. Apesar de existirem outras etapas, Tavares (2006) propõe uma divisão básica dessas, sintetizando na Figura 4 as de maior destaque.

**Figura 4** – Ciclo de vida Energético conforme abordagem ACVE



Fonte: Tavares (2006)

Fazendo uma analogia ao termo empregado na ISO 14040 a respeito da ACV que é considerada uma abordagem do berço ao túmulo, nesta análise energética essa abrangência é denominada Energia Total.

Como demonstrado na Figura 4 a proposta de abordagem do ACVE se subdivide em 04 parâmetros de energia, sendo eles: Energia Embutida Inicial, Energia Embutida de Manutenção, Energia Operacional, Energia de Desconstrução.

Energia Embutida Inicial é o conjunto dos gastos energéticos diretos e indiretos empregados em uma obra. Os diretos são os utilizados na fabricação dos materiais de construção e os indiretos abordam a extração, beneficiamento e transporte das matérias-primas até a fábrica, além do transporte do produto final até a obra e sua utilização na edificação (TAVARES, 2006).

A Energia Operacional e Energia Embutida de Manutenção ocorrem na mesma cronologia, porém possuem abordagens distintas. A primeira se relaciona com o uso de equipamentos durante a vida útil da edificação, gerando gastos energéticos a partir da iluminação, laser, cocção, climatização, dentre outro. Já a segunda, é associada a reformas feitas durante a utilização da edificação (TAVARES, 2006).

Por fim, a Energia de Desconstrução simboliza o fim do ciclo de vida de uma edificação, esta considera os insumos diretos para a demolição da obra e o transporte para os resíduos gerados. Estes resíduos podem ser de descarte ou reaproveitados em reciclagem (TAVARES, 2006).

Neste trabalho será avaliado a liberação de dióxido de carbono equivalente para a atmosfera na construção de uma casa de interesse popular. Desta forma, para a obtenção deste objetivo, será quantificado o consumo energético na primeira destas etapas, denominada fase pré-operacional. Esta fase é composta pela Energia Embutida inicial.

## 5 METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados os procedimentos metodológicos utilizados para quantificar a emissão de dióxido de carbono equivalente na construção de uma casa de interesse popular.

Para a obtenção do valor procurado, este estudo utilizou o método de análise de ciclo de vida energético, abordando a etapa de energia embutida inicial e posteriormente calculando a quantidade de CO<sub>2</sub>e emitida a partir dos consumos energéticos.

Esta pesquisa, sob o ponto de vista da natureza, pode ser classificada como aplicada e sob o aspecto da abordagem do problema pode ser considerada uma pesquisa quantitativa.

Na Figura 5 encontra-se um fluxograma com as etapas executadas para fim de obtenção dos objetivos proposto neste trabalho.

**Figura 5** – Fluxograma das etapas, 2018



Fonte: Autor (2018)

### 5.1 Unidade habitacional

A escolha da unidade habitacional foi obtida na NBR 12.721/06, optando-se pela residência unifamiliar de padrão baixo (R1-B). Seus materiais e quantitativos utilizados para a construção de um metro quadrado deste tipo de empreendimento está apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1** - Materiais utilizados na residência avaliada nesse estudo

<b>Materiais necessários para a construção de 01 m<sup>2</sup></b>	<b>Classificação</b>	<b>Und/ m<sup>2</sup></b>	<b>Qtd - R1</b>
Chapa compensado plastificado 18 mm x 2,20 m x 1,10 m	Madeira	m <sup>2</sup>	1,41
Aço CA-50 Ø 10 mm	Aço e Ferro	kg	14,09
Concreto fck = 25 Mpa	Cimento, areia e pedra	m <sup>3</sup>	0,23
Cimento CP-32 II	Cimento	kg	56,41
Areia Média	Areia	m <sup>3</sup>	0,17
Brita nº 02	Pedra	m <sup>3</sup>	-
Bloco cerâmico para alvenaria de vedação 9 cm x 19 cm x 19 cm	Cerâmica vermelha	und	58,58
Bloco de concreto s/ função estrutural 19 cm x 19 cm x 39 cm	Cimento	und	-
Telha fibrocimento ondulada 6 mm x 2,44 m x 1,10 m	Fibrocimento	m <sup>2</sup>	2,86
Porta interna semi-oca para pintura 0,60 m x 2,10 m, esp. 35mm	Madeira	und	0,11
Esquadrias de correr de alumínio anodizado natural	Alumínio	m <sup>2</sup>	-
Janela de correr de 1,20 m x 1,20 m, em chapa dobrada nº 20	Aço e Ferro	m <sup>2</sup>	0,24
Fechadura interna, tipo IV (55 mm), em ferro, acabamento cromado	Aço e Ferro	und	0,12
Placa cerâmica (azulejo) - 30 cm x 40 cm, PEI II, cor clara	Cerâmica de revestimento	m <sup>2</sup>	1,89
Bancada de pia de mármore branco 2,00 m x 0,60 m x 0,02 m	Mármore	und	0,01
Placa de gesso liso 60 cm x 60 cm (6 kg por placa)	Gesso	m <sup>2</sup>	2,47
Vidro liso transparente 4 mm colocado com massa	Vidro	m <sup>2</sup>	0,13
Tinta látex PVA	Tinta	l	1,94
Emulsão asfáltica impermeabilizante	Impermeabilizante	kg	1,23
Fio de cobre anti-chama, isolamento 750 V, # 2,5 mm <sup>2</sup>	Fio de cobre	m	15,59
Disjuntor tripolar 70 A	Material Elétrico	und	0,08
Bacia sanitária branca com caixa acoplada	Cerâmica branca	und	0,06
Registro de pressão cromado Ø 1/2"	Aço e Ferro	und	0,19
Tubo de ferro galvanizado com costura Ø 2 1/2"	Aço e Ferro	m	0,01
Tudo de PVC-R rígido reforçado para esgoto Ø 150 mm	PVC	m	0,52
Pedreiro	Mão de obra	h	26,44
Servente	Mão de obra	h	9,72
Engenheiro	Mão de obra	h	1,65
Locação de betoneira elétrica 320 l, potência 2HP (1,5kW)	Equipamento	dia	0,28

Fonte: Adaptado da NBR 12721/06 (2006)

## 5.2 Quantificação energética

Para obtenção do objetivo geral do trabalho, é necessário estabelecer o consumo energético de cada material. Desta forma, é calculado o valor de Energia Embutida (EE) para a fase pré-operacional. Esta fase é caracterizada pelo erguimento da edificação, o consumo, fabricação e transporte dos materiais de construção.

O Quadro 2 apresenta as etapas energéticas analisadas na fase pré-operacional.

**Quadro 2** – Etapas energéticas na fase pré-operacional

FASE	ETAPA	SIGLA	DESCRIÇÃO
Pré-operacional	1	EE <sub>mat</sub>	Prospecção, fabricação e transporte de insumos
	2		Fabricação dos materiais de construção
	3	E <sub>transp</sub>	Transporte dos materiais e trabalhadores para a obra
	4	E <sub>desp</sub>	Desperdício de materiais
	5	E <sub>transp,desp</sub>	Transporte do desperdício

Os valores de EE e desperdício para cada material utilizado no empreendimento está apresentado na Tabela 2.

Para a etapa do transporte, é relevante considerar o transporte dos materiais da indústria até o sítio da obra, o transporte dos funcionários e o transporte dos desperdícios, este último é adotado o dobro do transporte dos materiais para efeito prático (TAVARES, 2006).

Aplica-se a Equação 1 para a obtenção do valor de EE do transporte por unidade de massa.

$$EEt = \frac{1,62 \times Dist.}{1000} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

EEt – Energia embutida no transporte por kg de material (MJ/kg)

Dist – Distância percorrida por material (km)

**Tabela 2** - Energia Embutida em materiais de construção

<b>MATERIAIS</b>	<b>EE (MJ/kg)</b>	<b>Desperd. %</b>
Aço - chapa galvanizada	33,80	
Aço - chapa dobrada	30,00	
Aço - laminado CA 50A	31,00	10
Alumínio anodizado	210,00	
Areia	0,05	50
Asfalto	51,00	
Brita	0,15	40
Cerâmica - bloco de 8 furos	2,90	15
Cerâmica - branca	25,00	5
Cerâmica - revestimento	6,20	
Chapa de compensado	8,00	15
Cimento Portland	4,20	40
Cobre	75,00	
Concreto armado	3,10	
Fechaduras	55,00	
Fibrocimento - telha	6,00	10
Madeira - aparelhada seca forno	3,50	15
Mármore	1,00	
Placa de gesso	4,50	35
Tinta PVA látex	65,00	15
Torneiras e registros	95,00	
Tubo - PVC	80,00	17
Vidro plano	18,50	5
Transporte	1,62 MJ/t.km	

Fonte: Adaptado de Tavares (2006)

Para o cálculo de energia embutida de cada etapa como demonstrado no Quadro 2 utiliza-se as seguintes Equações:

$$EE_{mat} = Qtd \times EE \quad (\text{Equação 2})$$

$$EE_{transp} = Qtd \times EE_t \quad (\text{Equação 3})$$

$$EE_{desp} = Qtd \times \%Desp \times EE \quad (\text{Equação 4})$$

$$EE_{transp. desp} = Qtd \times \%Desp \times EE_t \quad (\text{Equação 5})$$



Onde:

EE – Energia embutida (MJ/kg)

Qtd – Quantitativo de cada material (kg)

EE<sub>mat</sub> – Energia embutida das etapas 1 e 2 (MJ)

EE<sub>transp</sub> – Energia embutida da etapa 3 (MJ)

EE<sub>desp</sub> – Energia embutida da etapa 4 (MJ)

EE<sub>trans.desp</sub> – Energia embutida da etapa 5 (MJ)

EE<sub>t</sub> – Energia embutida no transporte (MJ/kg)

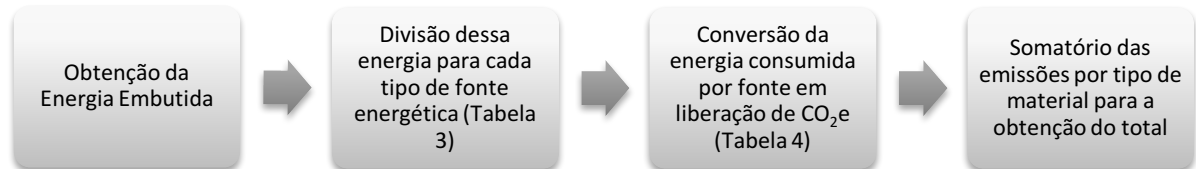
EE<sub>td</sub> – Energia embutida no transporte do desperdício (MJ/kg)

%Desp – Percentual de desperdício de cada material (%)

### 5.3 Quantificação das emissões de CO<sub>2</sub>e

Para quantificar a emissão de CO<sub>2</sub>e para a atmosfera, essa metodologia segue o seguinte procedimento:

**Figura 6** – Passos para quantificação das emissões de gases poluentes, 2018



Fonte: Autor (2018)

O primeiro passo demonstrado na Figura 6 foi obtido no tópico 5.2 deste capítulo. A seguir são apresentadas as tabelas necessárias para os cálculos e suas respectivas descrições para as demais etapas.

A partir do consumo de materiais nas construções e a possibilidade de obtenção da energia embutida, pode-se realizar a desagregação dos valores de consumo de energia em fontes primárias. A Tabela 3 apresenta a relação percentual do consumo de fontes específicas de energia por materiais de construção fabricados no Brasil (TAVARES, 2006).

**Tabela 3** - Consumo de energia por fonte em materiais de construção (% MJ)

FONTES	FÓSSEIS NÃO RENOVÁVEIS								RONOVÁVEIS			
	ÓLEO DIESEL E COMBUSTÍVEL	GÁS NATURAL	GLP	COQUE DE PETRÓLEO	OUTRAS SECUNDÁRIAS DE PETRÓLEO	CARVÃO MINERAL	COQUE DE CARVÃO MINERAL	ELETRICIDADE	CARVÃO VEGETAL	LENHA	OUTRAS FONTES PRIM. RENOVÁVEIS	OUTRAS
Aço e Ferro	1	6					71	10				12
Alumínio	21	7			4		10	54				4
Areia	99							1				
Argamassa	86			10				4				
Cal	12							8	80			
Cerâmica revestimento	15	68	5					12				
Cerâmica vermelha	4		8					2	85			1
Cimento	3			61		8		12	9			7
Cobre	10	44					5	41				
Concreto	82			9				9				
Fibrocimento	84		2					14				
Impermeabilizante	10	30			34			26				
Madeira	83							17				
Pedra	85							15				
Plástico	10	30			34			26				
Tinta	90							10				
Outras Materiais	8	11				7	10	20	9		35	

Fonte: Adaptado de Tavares (2006)

Com os valores de EE desagregados em percentual para cada fonte energética, aplica-se os fatores de conversão apresentados na Tabela 4, assim, obtêm-se a emissão de dióxido de carbono equivalente para cada classificação de material em sua respectiva fonte energética.

A quantidade de CO<sub>2e</sub> liberada por tipo de fonte energética é apresentada na Tabela 4.

**Tabela 4** - Geração de CO<sub>2</sub> por fonte de energia

<b>FONTE</b>	<b>CO<sub>2</sub> (kg/GJ)</b>
ELETRICIDADE*	18,1
ÓLEO COMBUSTÍVEL	74,1
GÁS NATURAL	56,1
GLP	63,1
OUTRAS SECUNDÁRIAS DE PETRÓLEO	73,3
COQUE DE CARVÃO MINERAL	94,6
COQUE DE PETRÓLEO	97,5
CARVÃO MINERAL	94,6
CARVÃO VEGETAL	112,0
LENHA	100,0
OUTRAS FONTES PRIMÁRIAS RENOVÁVEIS	0,0
OUTRAS	100,0

\*Tavares (2006)

Fonte: A partir de dados do IPCC (2006).

Lobo (2010) destaca que os processos de fabricação não energéticos de alguns materiais geram significativas parcelas de emissão total de dióxido de carbono equivalente para a atmosfera. Os relevantes neste estudo são apresentados na tabela 5, sendo eles o Cimento e o Concreto. Este último equivale a 12% do primeiro (TAVARES, 2006).

**Tabela 5** - Geração de CO<sub>2</sub> não energético em processos de fabricação

<b>MATERIAL</b>	<b>kgCO<sub>2</sub>/kg</b>
Cimento	0,375
Concreto	0,045

Fonte: Adaptado de Tavares, 2006

Em suma, divide-se o total de energia embutida obtida para cada material em seus respectivos percentuais por fonte energética (Tabela 3) e em seguida converte-se essas energias em emissões de dióxido de carbono (Tabela 4). Para os processos de fabricação, multiplica-se o quantitativo de cada material pelo fator de conversão apresentado na Tabela 5. Por fim, soma-se a emissão obtida em cada tipo de material e obtêm-se o total de kg de CO<sub>2</sub> liberado por metro quadrado.

A planilha para a realização dos cálculos de obtenção de CO<sub>2</sub> e pode ser observada na Tabela 6.

Tabela 6 - Planilha modelo para cálculo de emissões de dióxido de carbono

MATERIAIS	Área	Fonte	Eleticidade	Óleo combustivel	Gás Natural	GLP	Outras Secundárias de Petróleo	Coque de Carvão Mineral	Coque de Petróleo	Carvão Mineral	Carvão Vegetal	Lenha	Outra Fontes Prim. Renováveis	Outras	TOTAL		
															CO2 (kg/GJ)	18,1	74,1
AÇO E FERRO	Perc (%)		10,00	1,00	6,00		71,00								12,00		
	Quant. (MJ)																
	CO2 (KG)																
AREIA	Perc (%)		1,00	99,00													
	Quant. (MJ)																
	CO2 (KG)																
CERÂMICA REVESTIMENTO	Perc (%)		12,00	15,00	68,00	5,00											
	Quant. (MJ)																
	CO2 (KG)																
CERÂMICA VERMELHA	Perc (%)		2,00	4,00		8,00						85,00			1,00		
	Quant. (MJ)																
	CO2 (KG)																
CIMENTO	Perc (%)		12,00	3,00						61,00	8,00	9,00				7,00	
	Quant. (MJ)																
	CO2 (KG)																
COBRE	Perc (%)		41,00	10,00	44,00				5,00								
	Quant. (MJ)																
	CO2 (KG)																
CONCRETO	Perc (%)		9,00	82,00						9,00							
	Quant. (MJ)																
	CO2 (KG)																
FIBROCIMENTO	Perc (%)		14,00	84,00		2,00											
	Quant. (MJ)																
	CO2 (KG)																
IMPERMEABILIZANTES	Perc (%)		26,00	10,00	30,00		34,00										
	Quant. (MJ)																
	CO2 (KG)																
MADEIRA	Perc (%)		17,00	83,00													
	Quant. (MJ)																
	CO2 (KG)																
PLÁSTICOS	Perc (%)		26,00	10,00	30,00		34,00										
	Quant. (MJ)																
	CO2 (KG)																
TINTAS	Perc (%)		10,00	90,00													
	Quant. (MJ)																
	CO2 (KG)																
OUTROS MATERIAIS	Perc (%)		20,00	8,00	11,00			10,00		7,00	9,00		35,00				
	Quant. (MJ)																
	CO2 (KG)																
MJ (Fonte) / m²																	
CO2 Processo	kgCO2/kg	kg														CO2	
CIMENTO	0,375															Processo	
Perc (%)																	
CONCRETO	0,045																
Perc (%)																	
% CO2																	
kg CO2/m²																	

Fonte: Autor (2018)

A planilha divide-se em três partes: a primeira para o cálculo de CO<sub>2</sub>e por material e fonte a partir da geração de energia. A segunda determina o CO<sub>2</sub>e advindo de reações químicas do processo de fabricação dos materiais de construção. A terceira faz o somatório das duas anteriores e determina os índices de CO<sub>2</sub>e por metro quadrado de edificação.

A partir da utilização desta metodologia e da aplicação da planilha de cálculo proposta na Tabela 6, obtêm-se os resultados de emissão de dióxido de carbono equivalente para construção de um metro quadrado de uma casa de interesse popular, que serão expostos e discutidos no capítulo a seguir.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados e discussões acerca do objetivo geral proposto no trabalho. Define-se o total de CO<sub>2</sub>e emitido na construção de 01 m<sup>2</sup> de uma casa de interesse popular, analisando também os gastos energéticos como é descrito na metodologia do estudo.

Estabeleceu-se valores de emissão de gases causadores do efeito estufa por cada material utilizado na construção e também por classificação desses materiais. O mesmo foi considerado para os níveis energéticos.

Tavares (2006), afirma que a construção civil de imóveis residências é o setor desta indústria que possui maior emissão de CO<sub>2</sub>e e maior gasto energético, em vista disso opta-se pelo estudo voltado para esta área da engenharia civil.

No capítulo 4 foi apresentado as fronteiras de pesquisa quanto ao período de ciclo de vida energético, portanto, para a aplicação do método e a obtenção dos resultados, foi adotado o 2º nível energético proposto pela IFIAS, como demonstrado na Figura 3.

Destaca-se também que dentre a abrangência do método ACVE, com uma análise do berço ao túmulo, este estudo considerou a etapa da Energia Embutida Inicial ou Pré-Operacional, apresentada no capítulo 5 e no Quadro 2, considerando assim a EE dos materiais de construção, EE dos transportes e EE dos desperdícios.

Os itens associados aos transportes tiveram como referência uma distância média de 80 km, a qual aplicando a Equação 1, obtêm-se o seguinte resultado:

$$EEt = \frac{1,62 \times 80}{1000} = 0,1296 \text{ MJ/kg}$$

Desta forma, o índice utilizado para cálculo da EE dos transportes para todos os itens é de **0,13 MJ / kg**. Como definido no método, para o transporte dos desperdícios é considerado o dobro da distância, assim, obtêm-se o índice de **0,26 MJ /kg**.

A conversão das unidades dos materiais presentes no estudo para massa (kg) utilizando respectivas densidades estão presentes no APÊNDICE A.

## 6.1 Consumos Energéticos

A Tabela 7 indica os valores de EE obtidos para a fase pré-operacional em cada etapa e o total do consumo energético para esta parte do ciclo de vida da edificação.

A planilha de cálculo utilizada para a obtenção dos resultados a seguir pode ser observada no APÊNDICE A.

**Tabela 7** - Discriminação da fase e etapas com respectivos consumos energéticos

FAS E	ETAP A	SIGLA	DESCRIÇÃO	CONSUMO DE ENERGIA (MJ/m <sup>2</sup> )
Pré-operacional	1	EE <sub>mat</sub>	Prospecção, fabricação e transporte de insumos	4127,17
	2		Fabricação dos materiais de construção	
	3	E <sub>transp</sub>	Transporte dos materiais e trabalhadores para a obra	202,60
	4	E <sub>desp</sub>	Desperdício de materiais	574,75
	5	E <sub>transp. desp</sub>	Transporte do desperdício	63,95
<b>TOTAL</b>				<b>4968,48</b>

Fonte: Autor (2018)

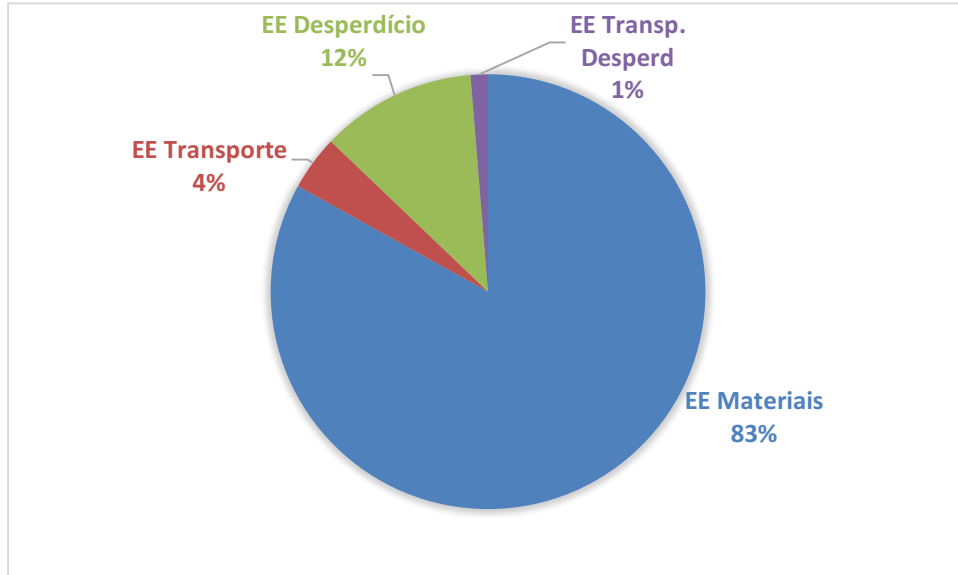
Os resultados demonstrados acima apontam que o consumo energético na construção da habitação proposta é de 4,97 GJ/m<sup>2</sup>. Este valor é próximo aos encontrado por Lobo (2010) e Tavares (2006), que obtiveram um gasto energético da etapa pré-operacional, respectivamente, de 4,23 GJ/m<sup>2</sup> e 4,63 GJ/m<sup>2</sup>.

Destacando-se a energia embutida dos transportes dos materiais e trabalhadores e do desperdício, afirma-se que esta equivale a 266,55 MJ/m<sup>2</sup> do ciclo de vida. Desta forma, destaca-se que dentre as etapas analisadas, esta é a menos relevante.

Embora os dados demonstrem uma menor relevância da etapa transporte em detrimento as outras, é importante destacar que além dos transportes dos trabalhadores e materiais para a obra, na etapa 1 está incluso outro transporte, o dos insumos, porém não é analisado separadamente dos demais, estando inserido na EE<sub>mat</sub>.

O Gráfico 1, mostra a respectiva distribuição percentual dos valores de energia embutida em cada etapa da fase pré-operacional.

**Gráfico 1** – Distribuição percentual do consumo energético por atividade



Fonte: Autor (2018)

A distribuição dos resultados é heterogênea e somente as etapas 1 e 2 representam mais de 80% do consumo de energia. Este valor é explicado devido a fabricação dos materiais está contida nesta etapa, pois esta atividade representa 20% das emissões mundiais de gases poluentes e conseqüentemente um grande gasto energético (CIB, 2002).

O detalhamento da Energia Embutida na etapa pré-operacional por cada tipo de material e por etapas do ciclo de vida está demonstrado na Tabela 8.

Nesta análise, percebe-se a predominância da energia consumida na etapa de fabricação dos materiais, com exceção para a areia, que possui a etapa dos transportes como a mais relevante.

Os resultados evidenciam a participação desigual da contribuição de cada material para o gasto energético, os itens Concreto, Aço e Ferro, Cerâmica Vermelha e Cimento somados representam um valor superior a 70% do total.

Estes valores ocorrem devido a grande participação desses materiais em várias etapas da obra, como a cerâmica vermelha por ser o principal elemento da alvenaria, o aço e ferro está presente desde a parte estrutural até o acabamento e o

concreto e cimento possuem um consumo elevado em sua fabricação e apresentam um grande desperdício.

**Tabela 8** - Energia Embutida encontrada por tipo de material de construção

<b>Materiais</b>	<b>EE. Mat. Constr.</b>	<b>EE Transp.</b>	<b>EE Desp.</b>	<b>EE Transp. Desp.</b>	<b>TOTAL EE</b>
Concreto	1790,72	75,09	161,16	13,52	2040,49
Aço e Ferro	622,35	2,38	49,05	0,41	674,20
Cerâmica Vermelha	475,50	21,32	61,81	5,54	564,17
Cimento	236,91	7,33	132,67	8,21	385,12
Gesso	185,43	5,36	64,90	3,75	259,43
Fibrocimento	197,62	4,28	19,76	0,86	222,52
Tintas	164,08	0,33	24,61	0,10	189,12
Cerâmica de Revestimento	140,38	2,94	21,06	0,88	165,27
Madeira	122,25	2,21	18,34	0,66	143,46
Areia	13,08	34,01	5,76	29,93	82,78
Impermeabilizantes	62,73	0,16	6,27	0,03	69,19
Cobre	26,11	0,05	6,53	0,02	32,71
Vidro	24,41	0,17	1,22	0,02	25,82
Cerâmica branca	21,35	0,11	1,07	0,01	22,53
Material elétrico	4,32	0,01	0,00	0,00	4,32
Plástico	3,58	0,01	0,54	0,002	4,13
Mármore	0,38	0,05	0,00	0,00	0,43

Fonte: Autor (2018)

## 6.2 Geração de CO<sub>2</sub>

Este capítulo utiliza a abordagem metodológica apresentada no capítulo 5 para estabelecer valores de emissão de CO<sub>2</sub>e na produção de um metro quadrado de uma casa de interesse popular, seguindo os padrões estabelecidos na NBR 12.721/06, Residência Unifamiliar Padrão Baixo (R1-B).

A partir da aplicação dos cálculos propostos, obtêm-se os resultados completos que podem ser observados no APÊNDICE B. Os principais resultados são resumidos na Tabela 9.

No estudo proposto, considerando as emissões totais de gases causadores do efeito estufa, tem-se, para uma residência de padrão popular, o valor de 374,85kg de CO<sub>2</sub>e por metro quadrado de construção. Para fins de comparação, a conversão



deste valor de kg para a unidade tonificada torna-se mais viável, sendo este 0,375t de CO<sub>2</sub>e por metro quadrado de construção.

**Tabela 9** - Geração de CO<sub>2</sub>e por tipo de material

<b>Materiais</b>	<b>TOTAL kgCO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup></b>	<b>Acumulado (%)</b>
Concreto	145,21	38,74%
Cerâmica Vermelha	53,24	14,20%
Aço e Ferro	47,17	12,58%
Cimento	34,09	9,09%
Fibrocimento	14,69	3,92%
Tintas	12,95	3,46%
Madeira	9,26	2,47%
Cerâmica de Revestimento	9,02	2,41%
Areia	6,09	1,62%
Impermeabilizantes	3,73	0,99%
Cobre	1,45	0,39%
Plástico	0,22	0,06%
Outros	16,56	4,42%
Processos Industriais	21,16	5,65%
<b>TOTAL</b>	<b>374,85</b>	<b>100,00%</b>

Fonte: Autor (2018)

Em Tavares (2006), um estudo similar ao proposto, obteve uma emissão de 0,385t de CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> levando em consideração apenas a etapa pré-operacional. Outro estudo, realizado por Lobo (2010), utilizando a mesma metodologia para obtenção dos valores de liberação de dióxido de carbono para a atmosfera, foi encontrado o valor de 0,570t de CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>.

A semelhança entre os valores encontrado do presente estudo com Tavares (2006) ocorre devido aos dois analisarem uma casa de padrão popular, já o comparativo com o segundo estudo analisado mostra uma discrepância dos resultados, pois o mesmo utiliza-se de uma construção comum, aumentando principalmente as emissões nas fases de acabamento e qualidade dos materiais empregados.

Estudos utilizando metodologias diferente para a quantificação da emissão de gases poluentes para a atmosfera apresentam os seguintes resultados. Em Stachera *et al* (2007), o valor encontrado de emissão de CO<sub>2</sub>e para habitações de

interesse popular foi de 0,224t de CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>, enquanto em Costa (2012), a quantidade obtida é de 0,198t de CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>.

As pequenas diferenças observadas entre os valores obtidos neste estudo com os obtidos nos estudos supracitados, se referem ao fato de que no primeiro foi realizado um estudo de caso para habitações no Paraná, desta forma, possuindo dados mais específicos quanto as distâncias e os materiais empregados na obra. Enquanto em comparativo ao segundo estudo o nível de abordagem para a ferramenta de cálculo proposta ocorre apenas no nível básico, não considerando a etapa de transportes.

Demétrio (2011) enfatiza que os valores obtidos devem ser analisados levando em consideração a abrangência de cada estudo, pois são diversos os fatores que interferem no resultado final da pesquisa. Desta forma, obtêm-se resultados semelhantes e divergentes, porém sempre em uma margem que é possível a realização da comparação entre as conclusões.

Ainda em análise da Tabela 9, percebe-se que o item mais relevante na geração de gases poluentes é o Concreto, com 38,74% das emissões. Além disto, outro destaque é o item Cimento com 9,09%. Os Processos Industriais detêm mais 5,65% das liberações para atmosfera. Neste último item, os processos em estudo foram a fabricação do cimento e do concreto, pois como previsto no capítulo 5, estes têm parcela significativa na emissão dos gases.

Desta forma, percebe-se que o fator comum entre esses itens de destaque é a presença do cimento em todos eles. Esta afirmação é corroborada por Damineli *et al* (2010), que destaca que a indústria do cimento é responsável por 5% das emissões atmosféricas causadas pelo homem.

Em valores absolutos o Concreto é o material de maior emissão com 145,21 kg de CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Para Helene (2008), o valor da emissão considerando o ciclo de vida do concreto fica na ordem de 630kg de CO<sub>2</sub>e por metro cúbico de concreto. Transportando este valor para os dados desta presente pesquisa, temos que o valor obtido a partir da pesquisa de Helene (2008) por metro quadrado de obra seria de:

$$\text{Concreto (CO}_2\text{e)} = 630 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,23106 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} = \mathbf{145,57 \frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{m}^2}} \quad (\text{Equação 6})$$

A partir do valor apresentado na Equação 6 de 145,57kg de CO<sub>2</sub>e por metro quadrado de obra, percebe-se que está próximo dos apresentados neste estudo.

Outro estudo sobre ciclo de vida em concreto armado, em Demétrio (2011), um estudo de caso com dados específicos, é quantificado a emissão de 441,53kg de CO<sub>2</sub>e para cada metro cúbico de concreto armado, realizando a mesma conversão para o presente estudo obtêm-se:

$$\text{Concreto (CO}_2\text{e)} = 441,53 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,23106 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} = \mathbf{102,02} \frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{m}^2} \quad (\text{Equação 7})$$

O valor de 102,02kg de CO<sub>2</sub>e por metro quadrado de construção calculado na Equação 7 é próximo ao encontrado nesta pesquisa.

Um resultado comparativo entre emissões de CO<sub>2</sub>e e os consumos energéticos para a construção de um metro quadrado da habitação proposta também foi realizado. Os valores obtidos podem ser observados na Tabela 10.

**Tabela 10** - Comparativo EE x CO<sub>2</sub>e por tipo de material

<b>Materiais</b>	<b>Total kg</b>	<b>TOTAL EE</b>	<b>TOTAL CO<sub>2</sub>e</b>
Concreto	577,65	2040,49	145,21
Aço e Ferro	18,34	674,20	47,17
Cerâmica Vermelha	163,96	564,17	53,24
Cimento	56,41	385,12	34,09
Gesso	41,21	259,43	10,87
Fibrocimento	32,94	222,52	14,69
Tintas	2,52	189,12	12,95
Cerâmica de Revestimento	22,64	165,27	9,02
Madeira	16,96	143,46	9,26
Areia	261,64	82,78	6,09
Impermeabilizantes	1,23	69,19	3,73
Cobre	0,35	32,71	1,45
Vidro	1,32	25,82	1,08
Cerâmica branca	0,85	22,53	0,94
Material elétrico	0,05	4,32	0,18
Plástico	0,04	4,13	0,22
Mármore	0,38	0,43	0,02

Fonte: Autor (2018)

Além do estudo entre os tipos materiais utilizados, também foi realizado o comparativo entre os insumos empregados e os resultados são apresentados na Tabela 11.

**Tabela 11** - Resumo dos resultados de Energia Embutida e emissão de CO<sub>2</sub>e por insumo utilizado

Insumos necessários para a construção de 01 m <sup>2</sup>	Unid.	Quantid.	Energia Embutida	kgCO <sub>2</sub> e
Chapa compensado plastificado 18 mm x 2,20 m x 1,10 m	m <sup>2</sup>	1,41	130,93	8,46
Aço CA-50 Ø 10 mm	kg	14,09	482,76	33,77
Concreto fck = 25 Mpa	m <sup>3</sup>	0,23	2040,49	145,21
Cimento CP-32 II	kg	56,41	385,12	34,09
Areia Média	m <sup>3</sup>	0,17	82,78	6,09
Brita nº 02	m <sup>3</sup>	-	-	-
Bloco cerâmico para alvenaria de vedação 9 cm x 19 cm x 19 cm	und	58,58	564,17	53,24
Bloco de concreto s/ função estrutural 19 cm x 19 cm x 39 cm	und	-	-	-
Telha fibrocimento ondulada 6 mm x 2,44 m x 1,10 m	m <sup>2</sup>	2,86	222,52	14,69
Porta interna semi-oca para pintura 0,60 m x 2,10 m, esp. 35mm	und	0,11	12,53	0,81
Esquadrias de correr de alumínio anodizado natural	m <sup>2</sup>	-	-	-
Janela de correr de 1,20 m x 1,20 m, em chapa dobrada nº 20	m <sup>2</sup>	0,24	59,30	4,15
Fechadura interna, tipo IV (55 mm), em ferro, acabamento cromado	und	0,12	119,23	8,34
Placa cerâmica (azulejo) - 30 cm x 40 cm, PEI II, cor clara	m <sup>2</sup>	1,89	165,27	9,02
Bancada de pia de mármore branco 2,00 m x 0,60 m x 0,02 m	und	0,01	0,43	0,02
Placa de gesso liso 60 cm x 60 cm (6 kg por placa)	m <sup>2</sup>	2,47	259,43	10,87
Vidro liso transparente 4 mm colocado com massa	m <sup>2</sup>	0,13	25,82	1,08
Tinta látex PVA	l	1,94	189,12	12,95
Emulsão asfáltica impermeabilizante	kg	1,23	69,19	3,73
Fio de cobre anti-chama, isolamento 750 V, # 2,5 mm <sup>2</sup>	m	15,59	32,71	1,45
Disjuntor tripolar 70 A	und	0,08	4,32	0,18
Bacia sanitária branca com caixa acoplada	und	0,06	22,53	0,94
Registro de pressão cromado Ø 1/2"	und	0,19	4,42	0,31
Tubo de ferro galvanizado com costura Ø 2 1/2"	m	0,01	8,50	0,59
Tudo de PVC-R rígido reforçado para esgoto Ø 150 mm	m	0,52	4,13	0,22
Pedreiro	h	26,44	27,30	1,14
Servente	h	9,72	9,10	0,38
Engenheiro	h	1,65	9,10	0,38
Locação de betoneira elétrica 320 l, potência 2HP (1,5kW)	dia	0,28	37,29	1,56

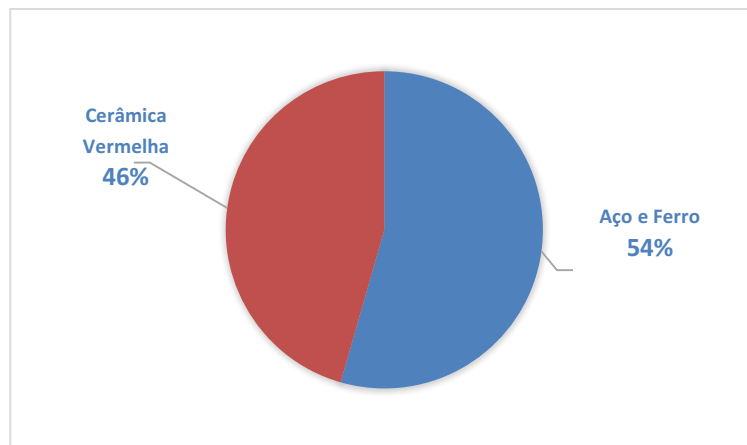
Fonte: Autor (2018)

Observa-se que a partir deste comparativo entre massa, Energia Embutida e CO<sub>2</sub>e liberado, apresentado nas tabelas 10 e 11, o concreto lidera nos três quesitos. Nota-se também o alto peso de areia utilizada na obra e sua baixa emissão de carbono.

Destaca-se que nem sempre um maior consumo energético significa uma maior emissão de dióxido de carbono, como visto nos itens Aço e Ferro e Cerâmica Vermelha. O primeiro possui um maior gasto energético, 674,20 MJ/m<sup>2</sup> contra 564,17 MJ/m<sup>2</sup> do segundo, porém uma menor emissão de gases, 47,17kg de CO<sub>2</sub>e versus 53,24kg de CO<sub>2</sub>e.

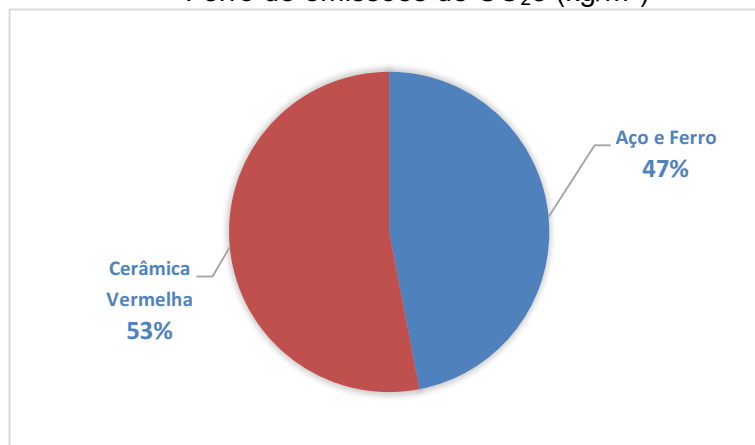
Este comparativo está expresso Gráficos 2 e 3, sendo a primeira a distribuição percentual de consumo energético dos materiais e a segunda o comparativo entre as liberações de dióxido de carbono equivalente.

**Gráfico 2** – Comparativo Cerâmica Vermelha x Aço e Ferro de consumo energético (MJ/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor (2018)

**Gráfico 3** – Comparativo Cerâmica Vermelha x Aço e Ferro de emissões de CO<sub>2</sub>e (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor (2018)

Esta análise também é válida para alguns outros materiais, por exemplo a Madeira e Cerâmica de Revestimento. O motivo para esta ocorrência são as diferentes fontes energéticas utilizadas no processo de cada insumo como apontado na Tabela 3 no capítulo 5, impactando diretamente na liberação de GEE.

É importante ressaltar o material Tinta, este possui pouco impacto no aspecto quantitativo utilizado na obra, porém de grande importância nos quesitos consumo de energia e emissões de CO<sub>2</sub>e.

Retomando a análise para os valores totais obtidos na pesquisa de 374,85kg de CO<sub>2</sub>e liberados por metro quadrado de construção, é possível destacar que a partir da redução no consumo de alguns materiais, como a cerâmica vermelha ou cimento, pode vir a gerar créditos no mercado do carbono. Em 2015, no mercado europeu, o preço da tonelada de carbono não emitido para a atmosfera girou em torno de U\$ 8,00, sendo assim uma alternativa viável para ganhos econômicos e sustentáveis (THOMSON REUTERS POINT CARBON NORTH AMERICA, 2016).

Essas especificações para cada material empregado na construção, podem ser designadas no caderno de encargos, delimitando tipos de insumo e a origem dos mesmos, desta forma atendendo aos requisitos das condições de desenvolvimento e construção sustentável no país (DEMÉTRIO, 2011).

## 7 CONCLUSÃO

O trabalho contribui para pesquisas relacionadas a construções sustentáveis e teve por objetivo determinar a quantidade de CO<sub>2</sub>e emitida na construção de uma residência de interesse popular. Para isso, utilizou-se dos quantitativos empregados na NBR 12.721/06, residência unifamiliar padrão baixo (R1-B).

A partir dos dados oriundos da norma brasileira, calculou-se a emissão de gases do efeito estufa para todos os materiais estabelecidos. Para chegar ao objetivo proposto, utilizou-se o método ACVE, o qual cria um elo de ligação entre os materiais e seus respectivos quantitativos e a liberação dos gases. Este elo é o consumo energético em diversas fases da obtenção e utilização dos insumos.

Neste contexto, o trabalho apresenta informações de como surgiram as primeiras discussões sobre problemas ambientais até as preocupações com o desenvolvimento e a construção sustentável.

Ressalta-se a importância do mercado de créditos de carbono, que pode gerar frutos econômicos para a nação e garantir a preservação ambiental. Desta forma, o aprimoramento do banco de dados em relação ao tema de estudo é essencial para alavancar pesquisas nesta área e se tornar possível a obtenção das metas propostas em conferências internacionais.

A pesquisa colabora em identificar as fases construtivas que possam promover redução nas liberações de GEE e analisar quais os materiais com os maiores fatores de emissão, assim sendo possível um estudo para a substituição de um material por outro. Neste cenário, esta análise busca fornecer dados ao inventário nacional, contribuindo para o desenvolvimento de estudos voltados para uma Engenharia Sustentável.

Algumas ações mitigadoras para se atingir uma indústria da construção civil mais sustentável são apresentadas a seguir:

- a) Reduzir o desperdício de materiais;
- b) Substituir equipamentos à diesel por movidos a partir de uma energia originada de recursos renováveis;
- c) Estudo prévio dos projetos e materiais utilizados no empreendimento;

- d) Mudança nos processos de fabricação dos materiais de construção, em especial o cimento e o aço;
- e) Investimento em gestão sustentável focada no conhecimento de métodos para análise de ciclos de vida, como ACV e ACVE.

Em suma, o resultado obtido de liberação de CO<sub>2</sub>e por metro quadrado de construção representa um valor semelhante aos encontrados em pesquisas nacionais. Observa-se que este quantitativo produz uma elevada emissão de gases causadores do efeito estufa. Concluindo-se que há necessidade de intervenção no processo de fabricação dos materiais e um maior investimento em pesquisas sobre ciclo de vida.

Esta pesquisa atingiu seu objetivo, quantificou as emissões de dióxido de carbono na construção de uma residência de interesse popular. Desta forma, destaca-se que a busca pela preservação ambiental deve iniciar desde a concepção de projetos até a fase final.

Em função da tendência global de redução dos impactos ambientais e a busca por uma construção mais sustentável, propõe-se a continuidade deste estudo e para isso sugere-se:

- a) Realizar análises de ciclo de vida para outros modelos padrões de projetos sociais como PIS ou PP4, também propostos na NBR 12.721/06;
- b) Aplicar este modelo de pesquisa para estudos de caso mais específicos, possuindo assim dados mais certos, especialmente em relação as distâncias percorridas;
- c) Incluir as etapas operacionais e pós-operacionais na pesquisa;
- d) Realizar um comparativo com o modelo proposto modificando os materiais utilizados, como por exemplo, a mudança no material empregado na alvenaria.



## REFERÊNCIAS

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. São Paulo: Editora Blucher, 2011. (v. 5).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma Brasileira NBR - 12721**. Avaliação de Custos de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios. ABNT, 2006.

\_\_\_\_\_. **Norma Brasileira ISO 14044**. Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

AUGUSTIN, S.; CUNHA, B. da P. Sustentabilidade ambiental: estudos jurídicos e sociais. **Revista Brasileira de Estudos de População**, Caxias do Sul, v. 32, n. 3, 2014.

BUILDING - BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. **Product Category Rules for Type III Environmental Product Declaration of Construction Products to EN 15804:2012**. Watford: BRE Response to Public Consultation Comments, 2013.

BERCHIN, Issa Ibrahim; CARVALHO, Andréia de Simas Cunha. O papel das conferências internacionais sobre o meio ambiente para o desenvolvimento dos regimes internacionais ambientais: de Estocolmo À Rio +20. In: SEMINÁRIO DE PESQUISA INTERDISCIPLINAR (SPI), 7., 2015. **Anais...** Florianópolis, SC: Unisul, 2015.

BESSA, V. M. T. Contribuição à metodologia de avaliação das emissões de dióxido de carbono no ciclo de vida de fachadas de edifícios de escritórios. 2010. 286 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, USP, São Paulo, 2010.

BRASIL. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Habitação. **Unidades Entregues do Programa Minha Casa Minha Vida**. [Brasília, DF]: s.n., 2017. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2017/03/minha-casa-minha-vida-entrega-moradias>>. Acesso em: 22 fev. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Entenda como funciona o mercado de crédito de carbono**. [Brasília, DF]: s.n., 2012. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2012/04/entenda-como-funciona-o-mercado-de-credito-de-carbono>>. Acesso em: 18 abr. 2018.

BRUNTLAND, G. H. (Ed.). **Our common future**: The world commission on environment and Development. Oxford: Oxford University Press, 1987. 398 p.

CALDERÓN, C. A.; GRANADOS, J. F.; MERCADO, M. T. De la Cumbre de Nairobi (2006) a Copenhague (2009): cobertura del cambio climático en medios digitales en español. **Cuadernos info**, v. 37, p. 107-119, 2015.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Distribuição percentual do déficit habitacional urbano por faixas de renda média familiar mensal**. [S.l.]: CBIC, 2014. Disponível em:

<[http://www.cbicdados.com.br/media/anexos/tabela\\_08.A.14.xlsx](http://www.cbicdados.com.br/media/anexos/tabela_08.A.14.xlsx)>. Acesso em: 25 fev. 2018.

CAMPELLO, L. G. B.; MELEU, M.; PADILHA, N. S. Direito ambiental e sócioambientalismo. In: CONGRESSO NACIONAL DO CONPEDI, 29., 2015. **Anais...** Florianópolis, SC, CONPEDI, 2015.

CARMINATTI JÚNIOR, Riberto. **Análise do ciclo de vida energético de projeto de habitação de interesse social concebido em Light Steel Framing**. 2012. 164 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

CASTRO FILHO, Helio Antonio Rossi de. **Percepção de empresas construtoras em relação aos programas de classificação da sustentabilidade de projetos de construção habitacional: um estudo de caso do Selo Azul Caixa**. 2013. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Administração) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. **Missão**. [S.l.]: CBCS, 2007. Disponível em: <<http://www.cbcs.org.br/website/institucional/show.asp?ppgCode=BCCF20BC-8628-4D3D-83ED-FBA37CFA560D>>. Acesso em: 28 mar. 2018.

CECCHETTO, Carise Taciane. et al. Habitação de Interesse Social: Alternativas Sustentáveis. **Revista Gedecon**, Cruz Alta, RS, v. 3, 2015.

CIB, UNEP-IETC. The international council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB); United Nations Environment Programme International environmental Technology Centre (UNEP-IETC). **Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries: A discussion document**. [S.l.: s.n.], 2002.

CHAVES, Helena de Oliveira. **Diretrizes Sustentáveis na Construção Civil: Avaliação do Ciclo de Vida**. 2014. 58 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise de Ciclo de Vida de Produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed, 1998. ISBN 85-7303-948-23.

COLTRO, Leda. **Avaliação do Ciclo de Vida como instrumento de gestão**. Campinas: CETEA, 2007.

COSTA, B. L. C. **Quantificação das emissões de CO<sub>2</sub> geradas na produção de materiais utilizados na construção civil no Brasil**. 2012. 190 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

COSTA, E. B. da; KIRCHHEIM, A. P.; OLIVEIRA, A. F. de.; PASSUELO, A. C. B. Aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida na análise de impactos ambientais de materiais de construção inovadores: estudo de caso da pegada de carbono de

clínqueres alternativos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 7-20, 2014.

CUNHA, I. B.; **Tecnologias e Inovações para construção sustentável**. 2009. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2009.

CUNHA, I. B. **Quantificação das emissões de CO<sub>2</sub> na construção de unidades residenciais unifamiliares com diferentes materiais**. 2016. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

CURRAN, M. A. **Life Cycle Assessment: Principles and Practice**. Cincinnati, EUA: EPA – Environmental Protection Agency, 2006. 88 p.

DAMINELI, B. L. et al. Measuring the eco- efficiency of cement use. **Cement and Concrete Composites**, v. 32, n. 8, p. 555-562, 2010.

DEEKE, Vania. **Materiais convencionais utilizados na construção civil e emissão de CO<sub>2</sub>: Estudo de caso em um edifício educacional da UTFPR**. 2009. 225 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

DEMÉTRIO, J. C. C. **Custo ambiental agregado à edificação: a emissão de carbono no uso do concreto armado a partir de um estudo de caso em São Luís - MA**. 2011. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

DIAS, Reinaldo. **Gestão Ambiental: Responsabilidade Social e Sustentabilidade**. São Paulo: Editora Atlas, 2006.

ELCOCK, D. **Life-Cycle Thinking for the Oil and Gas Exploration and Production Industry**. [S.l.]: ANL/EVS/R-07/5, prepared by the Environmental Science Division, Argonn National Laboratory, 2007.

EVANGELISTA, P. et al. Desempenho ambiental de edificações: avaliação de ciclo de vida em empreendimento residencial. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA E AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., 2014. **Anais...** Maceió, 2014.

FAY, M. R. **Comparative life cycle energy studies of typical Australian suburban dwellings**. 1999. Thesis (PhD) – Faculty of Architecture, Building and Planning, The University of Melbourne, AU, 1999.

FAY, R.; TRELOAR, G.; IYER-RANIGA, U. Life-cycle energy analysis of buildings: a case study. **Building Research and Information**, Routledge, London, v. 28, n. 1, p. 31-41, jan./fev. 2000.

FITTIPALDI, Mônica. **Habitação social e arquitetura sustentável em Ilhéus/BA**. 2009. 159 f. Dissertação (Mestrado Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, 2009.

FRONDIZI, Isaura; **O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo**: Guia de Orientação. Rio de Janeiro: Imperial Novo Milênio, FIDES, 2009.

GIANNETTI, B. F. et al. Towards more sustainable social housing projects: Recognizing the importance of using local resources. Elsevier. **Building and Environment**, v. 127, oct. 2017.

GODOY, S. G. M. de.; SAES, M. S. M. Cap-and-Trade e projetos de redução de emissões: comparativo entre mercados de carbono, evolução e desenvolvimento. **Ambiente e Sociedade**, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 141-160, 2015.

GONÇALVES, J. P.; SILVA, F. G. S.; COSTA, D. B. Sustentabilidade na construção civil: Avaliação da emissão de CO<sub>2</sub> em edificações e mitigação. **Revista Politécnica**, v. 17, n. 1, p. 5-9, jun., 2013.

GUERRA, M. E. A.; LOPES, A. F. A. Arquitetura verde: contribuições a partir da exemplificação de tipologias vinculadas à sustentabilidade urbana. **Periódicos Técnicos e Científicos Cidades Verdes**, v. 3, n. 5, 2015.

HELENE, Paulo. **Concreto e Sustentabilidade**. [S.l.]: Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto, 2008.

HESTNES, A. G.; SARTORI, I. Energy use in the life cycle of conventional and low energy buildings: A review article. **Energy and Buildings**, v. 39, p. 249-257, 2007.

IPCC. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Vol 1-3. Intergovernmental Panel on Climate Change. Bracknell, United Kingdom, 2006.

JOHN, V. M. **Reciclagem de Resíduos na Construção Civil**: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. 113 f. Tese (Livre Docente) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

KULAY, L. **Uso da Análise de Ciclo de Vida para a Comparação do Desempenho Ambiental das Rotas Úmida e Térmica de Produção de Fertilizantes Fosfatados**. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LAGO, Celina; ZUNINO, Lourdes. **Habitação de interesse social**. [Rio de Janeiro]: s.n., 2010. Disponível em: <[http://download.rj.gov.br/documentos/10112/1312245/DLFE-56335.pdf/13\\_SECAOIV\\_2\\_HABITACAO\\_docfinal\\_rev.pdf](http://download.rj.gov.br/documentos/10112/1312245/DLFE-56335.pdf/13_SECAOIV_2_HABITACAO_docfinal_rev.pdf)>. Acesso em: 16 mar. 2018.

LOBO, F. H. R. **Inventário de Emissões Equivalente de Dióxido de Carbono e Energia Embutida na composição de Serviços em Obras Públicas**: Estudo de caso no estado do Paraná. 2010. 1000 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

MARLAND, G.; BODEN, T.A; ANDRES, R. J. **Global, Regional, and National CO2 Emissions. In Trends: A Compendium of Data on Global Change.** Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. 2003.

MARTINS, Liana Sousa. **Gestão Ambiental: A ecoeficiência aplicada no mundo financeiro - Estudo de caso em uma das diretorias de uma instituição bancária.** 2015. 57 f. Monografia (Pós-Graduação em Gestão Empresarial) - Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2015.

MATTOS, M. L. Faça a sua parte!. **Revista Casa e Construção**, São Paulo, n. 37, p. 60- 63, 2008.

MOTTA, S. R. F. **Sustentabilidade na Construção Civil: Crítica, Síntese, Modelo de política e gestão de empreendimentos.** 2009. 122 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

NASCIMENTO, Elimar Pinheiro do. The trajectory of sustainability: From environmental to social, from social to economic. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 26, n. 74, 2012.

OLIVEIRA, Leandro Dias de. A geopolítica do desenvolvimento sustentável: reflexões sobre o encontro entre economia e ecologia. **Associação Brasileira de Relações Internacionais**, v. 7, n. 1, p. 118-139, 2012.

PAULSEN, J. S.; SPOSTO, R. M. Embodied energy in social housing in the pre-use: The case for the program my house my life in Brazil. **Revista Oculum Ensaios**, Campinas, v. 11, n. 1, p. 39 – 50, 2014.

POTT, Crisla Maciel; ESTRELA, Carina Costa. Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. **Estud. av.**, São Paulo, v. 31, n. 89, p. 271-283, abr. 2017. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S010340142017000100271&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010340142017000100271&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 15 mar. 2018.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. PNUD. **Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.** [S.l.]: PNUD, 2016. Disponível em: <<http://www.br.undp.org/content/dam/brazil/docs/agenda2030/undp-br-Agenda2030-completo-pt-br-2016.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

RISSATO, Leandro Biezus. **Análise de Ciclo de Vida em uma empresa do setor petroquímico.** 2012. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

SEIFFERT, Mari Elizabete Benardini. **Gestão ambiental: Instrumentos, esferas de ação e educação ambiental.** São Paulo: Atlas, 2007.

SETAC, Society of Environmental Toxicology and Chemistry. **Guidelines for Life Cycle Assessment: A "Code of Practice"**. From the SETAC Workshop held at Sesimbra, Portugal, 31 March - 3 April 1993. Brussels, Belgium, and Pensacola, Florida, USA, August, 1993

SCHMID, A. L. et al. Aquecimento solar de água em busca de uma maior aceitação: a cobertura solar ótima do ponto de vista ambiental. In: ENCONTRO NACIONAL, 5.; ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 3., 2009. **Anais...** Recife, PE, 2009.

SILVA, Othon José de Castro. **Critérios para seleção de ecoprodutos: uma visão crítica acerca do emprego de materiais de construção sustentáveis no Brasil – o caso da madeira plástica**. 2012. 116 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

SILVA, V. G. **Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica**. 2003. 258 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

STACHERA, T. J.; CASAGRANDE, E. F. J. Avaliação das 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. **Anais...** Curitiba, 2007. p. 13.

SZÜCS, Carolina Palermo. Habitação de Interesse Social – HIS: Tabela de Requisitos. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL NUTAU 2000 – TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO – 2000, 2000. **Anais...** São Paulo: Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo – NUTAU; Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2000.

TAVARES, Sérgio Fernando. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. 2006. 225 f. Tese (Doutorado em Tecnologia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

THOMSON REUTERS POINT CARBON NORTH AMERICA. **America to the rescue: Review of global markets in 2015 and outlook for 2016-2018**. Washington, DC: s.n., 2016. Disponível em: <[http://trmcsdocuments.s3.amazonaws.com/3501ec8eae589bfbef9cc1729a7312f0\\_20160111104949\\_Carbon Market Review 2016\\_1.5.pdf](http://trmcsdocuments.s3.amazonaws.com/3501ec8eae589bfbef9cc1729a7312f0_20160111104949_Carbon%20Market%20Review%202016_1.5.pdf)>. Acesso em: 04 abr. 2016.

TRELOAR, G. J.; LOVE, P.; HOLT, G. Using national input-output data for embodied energy analysis of individual residential buildings. **Construction Management and Economics**, v. 19, p. 49-61, Taylor and Francis Ltd. ISSN 0144-6193. UK, 2001.

XAVIER, I. V. R. et al. A contribuição da engenharia de produção na gestão sustentável empresarial. XXXV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 35., 2015. **Anais...** Fortaleza, CE, 2015.

WILTING, H. C. **An energy perspective on economic activities.** 1996. Thesis (Doctoral) - Rijksuniversiteit Groningen, Holanda, 1996. ISBN 90-367-0679-3.

## APÊNDICES



## APÊNDICE A – PLANILHA DE CÁLCULO PARA OBTENÇÃO DA ENERGIA EMBUTIDA

MATERIAS PARA A CONSTRUÇÃO DE 01 M2	UNID	CLASSIFIC.	QTD	MASSA (KG)	EE (MJ/KG)	EE MAT. (MJ)	TRANSPORTE	EE TRANSP. (MJ)	DESPERDIO	EE DESPERD. (MJ)	TRANSP. DESPERD. (MJ)	EE. TRANSP. DESPERD. (MJ)	TOTAL EE
Chapa compensado plastificado 18 mm x 2,20 m x 1,10 m	m²	Madeira	1,41	13,97	8,00	111,80	0,13	1,82	0,15	16,77	0,26	0,55	130,93
Aço CA-50 Ø 10 mm	kg	Aço e Ferro	14,09	14,09	31,00	436,87	0,13	1,83	0,10	43,69	0,26	0,37	482,76
Concreto fck = 25 Mpa	m³	Cimento, areia e pedra	0,23	577,65	3,10	1790,72	0,13	75,09	0,09	161,16	0,26	13,52	2040,49
Cimento CP-32 II	kg	Cimento	56,41	56,41	4,20	236,91	0,13	7,33	0,56	132,67	0,26	8,21	385,12
Areia Média	m³	Areia	0,17	261,64	0,05	13,08	0,13	34,01	0,44	5,76	0,26	29,93	82,78
Brita nº 02	m³	Pedra	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bloco cerâmico para alvenaria de vedação 9 cm x 19 cm x 19 cm	un	Cerâmica vermelha	58,58	163,96	2,90	475,50	0,13	21,32	0,13	61,81	0,26	5,54	564,17
Bloco de concreto s/ função estrutural 19 cm x 19 cm x 39 cm	un	Cimento	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Telha fibrocimento ondulada 6 mm x 2,44 m x 1,10 m	m²	Fibrocimento	2,86	32,94	6,00	197,62	0,13	4,28	0,10	19,76	0,26	0,86	222,52
Porta interna semi-oca para pintura 0,60 m x 2,10 m, esp. 35mm	un	Madeira	0,11	2,99	3,50	10,46	0,13	0,39	0,15	1,57	0,26	0,12	12,53
Esquadrias de correr de alumínio anodizado natural	m²	Alumínio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Janela de correr de 1,20 m x 1,20 m, em chapa dobrada nº 20	m²	Aço e Ferro	0,24	1,79	30,00	53,65	0,13	0,23	0,10	5,37	0,26	0,05	59,30
Fechadura interna, tipo IV (55 mm), em ferro, acabamento cromado	un	Aço e Ferro	0,12	2,16	55,00	118,95	0,13	0,28	0,00	0,00	0,26	0,00	119,23
Placa cerâmica (azulejo) - 30 cm x 40 cm, PEI II, cor clara	m²	Cerâmica de revestimento	1,89	22,64	6,20	140,38	0,13	2,94	0,15	21,06	0,26	0,88	165,27
Bancada de pia de mármore branco 2,00 m x 0,60 m x 0,02 m	un	Mármore	0,01	0,38	1,00	0,38	0,13	0,05	0,00	0,00	0,26	0,00	0,43
Placa de gesso liso 60 cm x 60 cm (6 kg por placa)	m²	Gesso	2,47	41,21	4,50	185,43	0,13	5,36	0,35	64,90	0,26	3,75	259,43
Vidro liso transparente 4 mm colocado com massa	m²	Vidro	0,13	1,32	18,50	24,41	0,13	0,17	0,05	1,22	0,26	0,02	25,82
Tinta látex PVA	l	Tinta	1,94	2,52	65,00	164,08	0,13	0,33	0,15	24,61	0,26	0,10	189,12
Emulsão asfáltica impermeabilizante	kg	Impermeabilizante	1,23	1,23	51,00	62,73	0,13	0,16	0,10	6,27	0,26	0,03	69,19
Fio de cobre anti-chama, isolamento 750 V, # 2,5 mm²	m	Fio de cobre	15,59	0,35	75,00	26,11	0,13	0,05	0,25	6,53	0,26	0,02	32,71
Disjuntor tripolar 70 A	un	Material Elétrico	0,08	0,05	85,00	4,32	0,13	0,01	0,00	0,00	0,26	0,00	4,32
Bacia sanitária branca com caixa acoplada	un	Cerâmica branca	0,06	0,85	25,00	21,35	0,13	0,11	0,05	1,07	0,26	0,01	22,53
Registro de pressão cromado Ø 1/2"	un	Aço e Ferro	0,19	0,05	95,00	4,41	0,13	0,01	0,00	0,00	0,26	0,00	4,42
Tubo de ferro galvanizado com costura Ø 2 1/2"	m	Aço e Ferro	0,01	0,25	33,80	8,46	0,13	0,03	0,00	0,00	0,26	0,00	8,50
Tudo de PVC-R rígido reforçado para esgoto Ø 150 mm	m	PVC	0,52	0,04	80,00	3,58	0,13	0,01	0,15	0,54	0,26	0,002	4,13
Pedreiro	h	Mão de obra	26,44	210	0,00	0,00	0,13	27,30	0,13	0,00	0,26	0,00	27,30
Servente	h	Mão de obra	9,72	70	0,00	0,00	0,13	9,10	0,13	0,00	0,26	0,00	9,10
Engenheiro	h	Mão de obra	1,65	70	0,00	0,00	0,13	9,10	0,13	0,00	0,26	0,00	9,10
Locação de betoneira elétrica 320 l, potência 2HP (1,5kW)	dia	Equipamento	0,28	10,00	3,60	35,99	0,13	1,30	0,00	0,00	0,26	0,00	37,29
<b>TOTAL</b>												<b>4968,48</b>	

## APÊNDICE B – PLANILHA DE CÁLCULO PARA OBTENÇÃO DA EMISSÃO DE CO<sub>2</sub>e

MATERIAIS	Área	Fonte	Eleticidade	Óleo combustível	Gás Natural	GLP	Outras Secundárias de Petróleo	Coque de Carvão Mineral	Coque de Petróleo	Carvão Mineral	Carvão Vegetal	Lenha	Outra Fontes Prim. Renováveis	Outras	TOTAL	
															CO <sub>2</sub> (kg/GJ)	18,1
AÇO E FERRO	Perc (%)		10,00	1,00	6,00		71,00								12,00	
	Quant. (MJ)	674,20	67,42	6,74	40,45	-	478,68	-	-	-	-	-	-	-	80,90	
	CO <sub>2</sub> (KG)		1,22	0,50	2,27	-	35,09	-	-	-	-	-	-	-	8,09	47,17
AREIA	Perc (%)		1,00	99,00												
	Quant. (MJ)	82,78	0,83	81,96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	CO <sub>2</sub> (KG)		0,01	6,07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,09
CERÂMICA REVESTIMENTO	Perc (%)		12,00	15,00	68,00	5,00										
	Quant. (MJ)	165,27	19,83	24,79	112,38	8,26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	CO <sub>2</sub> (KG)		0,36	1,84	6,30	0,52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,02
CERÂMICA VERMELHA	Perc (%)		2,00	4,00		8,00							85,00		1,00	
	Quant. (MJ)	564,17	11,28	22,57	-	45,13	-	-	-	-	-	-	479,54	-	5,64	
	CO <sub>2</sub> (KG)		0,20	1,67	-	2,85	-	-	-	-	-	-	47,95	-	0,56	53,24
CIMENTO	Perc (%)		12,00	3,00					61,00	8,00	9,00				7,00	
	Quant. (MJ)	385,12	46,21	11,55	-	-	-	-	234,92	30,81	34,66	-	-	-	26,96	
	CO <sub>2</sub> (KG)		0,84	0,86	-	-	-	-	22,90	2,91	3,88	-	-	-	2,70	34,09
COBRE	Perc (%)		41,00	10,00	44,00			5,00								
	Quant. (MJ)	32,71	13,41	3,27	14,39	-	-	1,64	-	-	-	-	-	-	-	
	CO <sub>2</sub> (KG)		0,24	0,24	0,81	-	-	0,15	-	-	-	-	-	-	-	1,45
CONCRETO	Perc (%)		9,00	82,00		2,00			9,00							
	Quant. (MJ)	2.040,49	183,64	1.673,20	-	-	-	-	183,64	-	-	-	-	-	-	
	CO <sub>2</sub> (KG)		3,32	123,98	-	-	-	-	17,91	-	-	-	-	-	-	145,21
FIBROCIMENTO	Perc (%)		14,00	84,00		2,00										
	Quant. (MJ)	222,52	31,15	186,91	-	4,45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	CO <sub>2</sub> (KG)		0,56	13,85	-	0,28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14,69
IMPERMEABILIZANTES	Perc (%)		26,00	10,00	30,00		34,00									
	Quant. (MJ)	69,19	17,99	6,92	20,76	-	23,53	-	-	-	-	-	-	-	-	
	CO <sub>2</sub> (KG)		0,33	0,51	1,16	-	1,72	-	-	-	-	-	-	-	-	3,73
MADEIRA	Perc (%)		17,00	83,00												
	Quant. (MJ)	143,46	24,39	119,07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	CO <sub>2</sub> (KG)		0,44	8,82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,26
PLÁSTICOS	Perc (%)		26,00	10,00	30,00		34,00									
	Quant. (MJ)	4,13	1,07	0,41	1,24	-	1,40	-	-	-	-	-	-	-	-	
	CO <sub>2</sub> (KG)		0,02	0,03	0,07	-	0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	0,22
TINTAS	Perc (%)		10,00	90,00												
	Quant. (MJ)	189,12	18,91	170,21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	CO <sub>2</sub> (KG)		0,34	12,61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,95
OUTROS MATERIAIS	Perc (%)		20,00	8,00	11,00			10,00		7,00	9,00			35,00		
	Quant. (MJ)	395,32	79,06	31,63	43,49	-	-	39,53	-	27,67	35,58	-	-	138,36	-	
	CO <sub>2</sub> (KG)		1,43	2,34	2,44	-	-	3,74	-	2,62	3,98	-	-	0,00	-	16,56
MJ (Fonte) / m <sup>2</sup>			515,21	2.339,23	232,71	57,85	503,61	41,17	418,57	58,48	70,24	479,54	138,36	113,50	4.968,48	
CO <sub>2</sub> Processo	kgCO <sub>2</sub> /kg	kg													CO <sub>2</sub> Processo	
CIMENTO	0,375	56,40													21,15	
Perc (%)															5,64%	
CONCRETO	0,045	0,26													0,01	
Perc (%)															0,00%	
% CO <sub>2</sub>			2,49%	46,24%	3,48%	0,97%	9,85%	1,04%	10,89%	1,48%	2,10%	12,79%	0,00%	3,03%		
kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>			9,33	173,34	13,05	3,65	36,91	3,89	40,81	5,53	7,87	47,95	0,00	11,35	<b>374,85</b>	