

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**MICHELINE HELEN COT MARCOS**

**ANÁLISE DA EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> NA FASE PRÉ-OPERACIONAL DA CONSTRUÇÃO DE  
HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE UMA  
FERRAMENTA CAD-BIM.**

**CURITIBA  
2009**

**MICHELINE HELEN COT MARCOS**

**ANÁLISE DA EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> NA FASE PRÉ-OPERACIONAL DA CONSTRUÇÃO DE  
HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE UMA  
FERRAMENTA CAD-BIM.**

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade Federal do Paraná como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Tavares

Área: Ambiente Construído

**CURITIBA  
2009**

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**MICHELINE HELEN COT MARCOS**

### **ANÁLISE DA EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> NA FASE PRÉ-OPERACIONAL DA CONSTRUÇÃO DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE UMA FERRAMENTA CAD-BIM.**

Dissertação aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador:

---

Prof. Dr. Sérgio Tavares  
Programa de Pós-Graduação em Construção  
Civil - UFPR

Examinadores:

---

Prof. Dr. Aloísio Leoni Schmid  
Programa de Pós-Graduação em Construção  
Civil - UFPR

---

Prof. Dr. Miriam Jerônimo Barbosa  
Universidade Estadual de Londrina – UEL- PR

Curitiba, Março de 2009

Dedico este trabalho àquelas pessoas que me apoiaram  
nos momentos mais importantes de minha vida...

Aos meus pais Lúcia e José...

Ao meu esposo Reynaldo...

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradeço a Deus que me deu inspiração e força para realização do mestrado.

Ao Prof. Dr. Sérgio Tavares pela dedicada orientação e incentivo durante a realização do mestrado, mantendo-me sempre motivada e centrada no desenvolvimento da dissertação.

Ao colega e Mestre Cervantes Ayres pelo apoio e ajuda que foram fundamentais para a realização dessa dissertação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade Federal do Paraná pela oportunidade, seriedade e qualidade, traduzidas nos seus professores e funcionários.

Ao meu esposo Reynaldo que o tempo todo esteve ao meu lado neste período tão importante, agradeço pelo carinho e paciência.

Aos meus pais Lúcia e José que me propiciaram a melhor educação possível aliado ao carinho e atenção e me mantiveram motivada para buscar sempre crescer profissionalmente.

As minhas irmãs pelo companheirismo e descontração.

A todos os colegas da turma PPGCC 2007, companheiros de aulas e seminários ao longo do programa, especialmente aos amigos Beatriz e Cervantes pelas discussões, sugestões e risadas compartilhadas ao longo de nossos estudos.

À COHAB-CT que abriu sua empresa e suas obras para a realização do estudo de caso, em particular ao Eng. Mauro que se envolveu diretamente com a pesquisa e esteve sempre disponível e aberto a discussões e sugestões.

A Prof. Dr. Christine Laroca pelo apoio e dedicação que foram fundamentais para a realização dessa dissertação

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação especialmente ao Prof. Dr. Aloísio Schmid e ao Prof. Dr. Sergio Scheer, que sempre me apoiaram.

À Ziza, pelo apoio e dedicação.

*“O débil, acovardado, indeciso e servil não conhece, nem pode conhecer o generoso impulso que guia aquele que confia em si mesmo, e cujo prazer não é de ter conseguido a vitória, se não de sentir capaz de conquistá-la.”*

*William Shakespeare*

## RESUMO

A indústria da construção civil é uma das mais importantes no cenário brasileiro, não só pela grande quantidade de recursos financeiros que movimenta a geração de empregos, mas pelo volume de recursos naturais e energéticos que utiliza em todo seu processo. Atualmente são discutidos, em diversos países, ações para reduzir os níveis de emissões dos gases causadores do efeito estufa. Entre um dos responsáveis por esse dano, a construção civil que propaga emissões de CO<sub>2</sub> em todo o ciclo de vida desde o início até a demolição. Nesta pesquisa se analisa o setor da construção de habitações de interesse social, tão importante e necessária diante do grande número da população brasileira que usufrui desse setor. O objetivo principal dessa dissertação é analisar, através de um sistema CAD-BIM, a emissão de CO<sub>2</sub> na fase pré-operacional da construção, em dois tipos de habitação de interesse social, uma construída nos métodos convencionais (paredes de alvenaria, cimento e argamassa) e outra utilizando painéis de madeira. Através da revisão da literatura dos sistemas de produção dos materiais de construção utilizados nos dois modelos de habitação, inseridos em uma ferramenta CAD-BIM, foi possível quantificar o total de CO<sub>2</sub> emitido para cada residência. O estudo de caso do modelo convencional de construção de habitação de interesse social, foi realizado na COHAB-CT (Companhia de Habitação de Curitiba), sendo que para o estudo de caso da construção em madeira foi utilizado um modelo protótipo de habitação social Laroca (2005). Com base nos estudos de caso, na análise do quantitativo de materiais e da ferramenta BIM, foi possível quantificar o total de CO<sub>2</sub> emitido na fase pré-operacional do ciclo de vida da edificação. Como resultado observa-se que, uma unidade da casa construída de modo convencional (COHAB-CT) emite aproximadamente seis toneladas de CO<sub>2</sub>, sendo que a habitação em madeira emite em torno de duas toneladas, ambas analisadas na fase pré-operacional da construção.

Palavras Chave: Habitação de Interesse Social, Análise do Ciclo de Vida, Emissão de CO<sub>2</sub>, CAD-BIM

## ABSTRACT

The civil construction industry is one of the most important in the Brazilian scenario, not only by the large amount of financial resources that cause the generation of jobs, but also by the volume of natural resources and energy that is used throughout of all the process. Worldwide, actions are discussed to reduce levels of emissions of gases causing the greenhouse effect. Among the actors responsible for this damage is the building industry, that propagates emissions throughout the life cycle from the beginning to the demolition. This research examines the low income housing construction, as important and necessary because of many Brazilian people relying on this sector. The main objective of this research is to determinate, through a CAD-BIM software, the total of CO<sub>2</sub> emission in the pre – operacional phase of construction on two types of low income housing. The one of this house is built in conventional methods and another using panels of wood. By means of a literature review about the production systems of building materials used in both types of housing, inserted into a CAD-BIM software, was possible to quantify the amount of CO<sub>2</sub> emitted for each residence. The case study of the low income housing built by conventional method was held in COHAB-CT (Housing Company of Curitiba) and the case study about wooden house was considerate a prototype model built for a doctoral thesis by Laroça (2005). Based on both case studies, in the quantitative analysis of materials and BIM tool, it was possible to quantify the amount of CO<sub>2</sub> emitted in the pre- operacional phase of the building life cycle. As a result it can observed that a unit of the house built in the conventional way (COHAB-CT) delivers approximately six tones of CO<sub>2</sub> and the wooden housing issues around two tons, both considering the pre-operational phase of construction.

Key words: low income housing, life cycle analysis, CO<sub>2</sub> emission, CAD-BIM.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2– Casa operária na Escócia .....	27
FIGURA 4 – Composição do cimento.....	43
FIGURA 5– Representação esquemática de uma ACV em uma edificação .....	49
FIGURA 6 – Ciclo de vida de uma edificação .....	51
FIGURA 9 - Ciclo de vida energético de uma edificação.....	60
FIGURA 10 - Fachadas das construções analisadas .....	65
FIGURA 11- Exemplo de projeto realizado no ArchiCad. Modelo virtual, planta baixa e corte. ....	73
FIGURA 12 – Protótipo teste realizado para demonstração no ArchiCad.....	75
FIGURA 13 - Classificação dos métodos de pesquisa .....	79
FIGURA 14 – Protocolo de coleta de dados. ....	81
FIGURA 15-Processo de geração da informação no ArchiCad .....	83
FIGURA 16 - Modelo de residência padrão COHAB-CT, 34m <sup>2</sup> .....	89
FIGURA 17 - Entorno do loteamento, ainda sem pavimentação .....	90
FIGURA 18 - Imagens da casa internamente .....	90
FIGURA 19 - Sala sem acabamento do piso e fachada da residência analisada.....	91
FIGURA 20 - Moradia em construção à esquerda. Casa provisória à direita .....	91
FIGURA 21 - Projeto da casa construída com painéis em madeira. Área = 42m <sup>2</sup> .....	93
FIGURA 22 - Módulo parede (MPA) 1- chapa interna, 2- Estrutura de pinus, 3- chapa externa .....	94
FIGURA 23 – Estrutura do módulo porta (MPO) e módulo janela (MJA) .....	95
FIGURA 24 – Fases da construção .....	95
FIGURA 25 – Etapas da Construção da Casa .....	96
FIGURA 26 – Casa modelo convencional em três vistas (planta baixa, corte e perspectiva) .....	103
FIGURA 27 - Casa modelo convencional inserida no ArchiCad .....	104
FIGURA 28 – Casa de madeira inserida no ArchiCad.....	107

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1– Pessoas em assentamentos informais por tipo de informalidade (em mil) – 1992 e 2007	20
GRÁFICO 2– Consumo final energético por setor .....	38
GRÁFICO 3 - Estimativa global total da emissão de CO <sub>2</sub> .....	41
GRÁFICO 4 - Índices de emissão de CO <sub>2</sub> com relação aos materiais.....	106
GRÁFICO 5 - Índices de emissão de CO <sub>2</sub> com relação à fabricação e transporte .....	106
GRÁFICO 6 – Índices de emissão de CO <sub>2</sub> com relação aos materiais.....	108
GRÁFICO 7 – Índices de emissão de CO <sub>2</sub> com relação à fabricação e transporte .....	109
GRÁFICO 8 – Índices de emissão de CO <sub>2</sub> das duas habitações.....	110

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Atividades e seus impactos ambientais .....	40
QUADRO 2– Ranking Mundial de emissão de CO <sub>2</sub> .....	42
QUADRO 3 – Impacto da construção civil ao meio ambiente.....	44
QUADRO 6 - Características das habitações analisadas.....	66
QUADRO 7 – Situações para diferentes estratégias de pesquisa .....	80
QUADRO 8 – Elementos pré-fabricados .....	94
QUADRO 9 Densidade dos principais materiais de construção .....	98
QUADRO 10 Energia Embutida em materiais de construção brasileiros .....	99
QUADRO 11 - Consumo primário de energia por fontes em materiais de construção (% MJ) .....	100
QUADRO 12 - Geração de CO <sub>2</sub> por fontes de energia.....	101
QUADRO 13 – Índices de emissão de CO <sub>2</sub> por material extraído do ArchiCad .....	105
QUADRO 14 – Índices de emissão de CO <sub>2</sub> por material, extraído do ArchiCad .....	108

## LISTA DE SIGLAS

ACV	-	ANÁLISE DO CICLO DE VIDA
ACVE	-	ANÁLISE DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO
BEN	-	BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL
BIM	-	BUILDING INFORMATION MODELLING
BNH	-	BANCO NACIONAL DE HABITAÇÃO
CAD	-	COMPUTER AIDED DESIGN
CO <sub>2</sub>	-	DIÓXIDO DE CARBONO
COHAB-CT	-	COMPANHIA DE HABITAÇÃO DE CURITIBA
EEA	-	EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY
EE	-	ENERGIA EMBUTIDA
EPE	-	EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA
IBGE	-	INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
FGTS	-	FUNDO DE GARANTIA POR TEMPO DE SERVIÇO
GME	-	GUIA METODOLÓGICA DE ESTUDO DO CICLO DE VIDA DO CHILE
HIS	-	HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL
IPEA	-	INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA
IPCC	-	INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE
ISO	-	INTERNATIONAL STANDARDIZATION FOR ORGANIZATION
MEB	-	MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA
PIB	-	PRODUTO INTERNO BRUTO
PLANHAB	-	PLANO NACIONAL DE HABITAÇÃO
SFH	-	SISTEMA FINANCEIRO DA HABITAÇÃO
3D	-	TRÊS DIMENSÕES

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
1.1	PROBLEMA DA PESQUISA	16
1.2	OBJETIVO	16
1.3	HIPÓTESE	17
1.4	ESTRUTURA DA PESQUISA	17
1.5	JUSTIFICATIVA	18
1.5.1	QUANTO AOS ASPECTOS TÉCNICOS	18
1.5.2	QUANTO AOS ASPECTOS SOCIAIS E ECONÔMICOS	18
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>21</b>
2.1	CONCEITO GERAL DE HABITAÇÃO E HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL	22
2.1.1	CONCEITO GERAL DE HABITAÇÃO	22
2.1.2	CONCEITO GERAL DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL	23
2.1.3	HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL – BREVE HISTÓRICO	26
2.1.3	MODALIDADES ALTERNATIVAS PARA A CONSTRUÇÃO DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL	32
2.1.4	A HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL E O MERCADO	37
2.2	AS EDIFICAÇÕES E OS IMPACTOS AMBIENTAIS	38
2.2.1	A GERAÇÃO DE CO <sub>2</sub> POR SETORES DA CONSTRUÇÃO CIVIL	38
2.2.2	ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS ATRAVÉS DO ESTUDO DO CICLO DE VIDA DAS EDIFICAÇÕES	41
2.3	ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV)	45
2.3.1	INTRODUÇÃO	45
2.3.2	HISTÓRICO	48
2.3.3	ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DA EDIFICAÇÃO	49
2.3.4	NORMALIZAÇÃO	52
2.3.4.1	SÉRIE ISO 14040 – GESTÃO AMBIENTAL	53
2.4	ANÁLISE DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO (ACVE) DAS EDIFICAÇÕES	58
2.4.1	MÉTODOS DE ANÁLISE DA ENERGIA EMBUTIDA	61
2.4.2	APLICAÇÕES	62
2.4.3	EXPERIÊNCIA SUECA	63
2.5	UTILIZAÇÃO DE CAD (Computer Aided Design) BIM (Building Information Modelling) NO DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS	68
2.5.1	CONSIDERAÇÕES	68
2.5.2	OBJETOS PARAMÉTRICOS E MODELAGEM DO PRODUTO	71
2.5.3	FERRAMENTA CAD BIM, ARCHICAD	74
<b>3</b>	<b>MÉTODOS DE PESQUISA</b>	<b>77</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA	77

3.2	SELEÇÃO DO MÉTODO DE PESQUISA ADOTADO.....	80
3.3	ESTRATÉGIAS DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA .....	81
3.3.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	82
3.3.2	ESCOLHA DO ESTUDO DE CASO.....	82
3.3.3	ANÁLISE DO QUANTITATIVO DE MATERIAIS E O PROJETO NO CAD-BIM .....	83
3.4	PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS.....	84
3.4.1	PREPARAÇÃO DO PROTOCOLO DA COLETA DE DADOS .....	84
3.4.2	COLETA DE DADOS .....	85
3.4.2.1	COLETA DE DOCUMENTOS .....	85
3.4.2.2	MEDIÇÕES FÍSICAS .....	85
3.4.2.3	OBSERVAÇÕES DIRETAS.....	86
3.4.2.4	ENTREVISTAS.....	86
3.4.2.5	REGISTRO FOTOGRÁFICO.....	86
3.5	ESTRATÉGIAS DE VALIDAÇÃO.....	86
3.5.1	VALIDADE DE CONSTRUCTO .....	87
3.5.2	VALIDADE EXTERNA .....	87
3.5.3	CONFIABILIDADE.....	87
3.6	CARACTERIZAÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO .....	88
3.6.1	CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO 1 (CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL).....	88
3.6.2	CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO 2 (CONSTRUÇÃO EM MADEIRA).....	92
<b>4</b>	<b>DIAGNÓSTICO E ANÁLISE DOS DADOS.....</b>	<b>97</b>
4.1	CONTEXTO DO CAPÍTULO.....	97
4.1.3	CASA MODELO CONVENCIONAL – COHAB-CT.....	103
4.1.4	CASA DE MADEIRA.....	107
4.1.5	ANÁLISE GERAL.....	109
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>112</b>
5.1	LIMITAÇÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....	113
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>114</b>
	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>120</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>123</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No século XIX a construção civil entrou na era da tecnologia e, em função das condições economicamente favoráveis, ocorreu um grande crescimento populacional. A partir de então, inicia-se o extrativismo de matérias primas utilizadas na construção civil e o desenvolvimento de novas fontes energéticas. A invenção de novos materiais e sistemas construtivos gerou a substituição de métodos até então utilizados.

O século XXI inicia-se com o aumento da população urbana, escassez de material de construção e a preocupação com os impactos ambientais a nível mundial. Com essa problemática, iniciam-se as pesquisas de novos materiais para construção civil que poluam menos o meio ambiente e a investigação das formas de consumo de energia (TAVARES, 2005).

Hoje, pode-se afirmar que elementos essenciais à sobrevivência como o ar, a água, o solo e a energia estão seriamente comprometidos. Um dos grandes responsáveis pelos impactos ambientais é o setor da construção civil. Dados do (CIB, 2002), apontam que o ambiente construído, através das atividades exercidas pela indústria da construção civil, absorve em torno de 50% dos recursos extraídos da crosta terrestre e consome entre 40 e 50% da energia consumida em cada país.

De acordo com Roodman, et al. (1995), a modernização da construção civil, assim como novas tecnologias da indústria em geral, representam uma evolução extraordinária, além de ser um facilitador para a mão de obra. Contudo, esse processo evolutivo trouxe danos graves ao meio ambiente, ameaçando o futuro da habitabilidade do planeta. A construção civil consome cerca de um sexto da água doce da superfície da terra, um quarto da retirada da madeira nativa, e dois quintos no consumo de energia. Esta maciça utilização de recursos naturais tem graves efeitos colaterais: desmatamento, poluição do ar e da água, redução da camada de ozônio e a contribuição para o aumento do aquecimento global (HOODMAN, et. al, 1995).

Essa pesquisa pretende analisar a quantidade de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), que é emitido ao meio ambiente durante a primeira fase do ciclo de vida da edificação, denominado, fase pré-operacional. Nesta fase, compreendem-se as etapas de fabricação e transporte dos materiais e a construção da edificação. O

estudo foi baseado em um modelo de habitação de interesse social desenvolvido de maneira convencional, pela Companhia de Habitação de Curitiba (COHAB-CT) e outro modelo de habitação, de mesmo porte, construído em madeira de reflorestamento. Esses dois modelos foram projetados em uma ferramenta CAD-BIM, chamada ArchiCad. A base de dados do ArchiCad foi alimentada com dados de emissão por quilo de cada material utilizado na obra. Esses valores foram extraídos da Tese de Tavares (2006).

A falta de moradia para a população de baixa renda não é um problema somente deste século. Apenas a partir de 1940, o começaram-se os investimentos na área de habitações de interesse social, através da construção de “vilas operárias”, distribuídas nas grandes capitais brasileiras. A ação do Estado nesta área foi incrementada a partir de 1960, com a criação de “Companhias de Habitação Popular - COHAB”, que atuam na construção de conjuntos habitacionais em todos os municípios do território nacional desde então (FISCHER, 2003).

Atualmente, a economia de maneira geral é baseada na produção e consumo de produtos e serviços cada vez mais diferenciados e customizados. Há uma crescente busca por empresas e profissionais que auxiliem no domínio de como avaliar o que o consumidor quer.

## 1.1 PROBLEMA DA PESQUISA

O presente trabalho pretende responder à seguinte questão: “***Como avaliar os índices de emissão de CO<sub>2</sub>, na fase pré-operacional da construção de habitações de interesse social através do uso de uma ferramenta CAD-BIM?***”

## 1.2 OBJETIVO

O objetivo principal dessa dissertação é analisar, através de um sistema CAD-BIM, a emissão de CO<sub>2</sub> na fase pré-operacional da construção em dois tipos de habitação de interesse social.

### 1.3 HIPÓTESE

- a) É possível verificar a quantidade de CO<sub>2</sub>, que é liberado durante a fase pré operacional da edificação, através da análise dos materiais de construção inseridos no sistema CAD-BIM (*Building Information Modelling*).

### 1.4 ESTRUTURA DA PESQUISA

Essa dissertação está organizada em cinco capítulos assim denominados: introdução, revisão bibliográfica, método de pesquisa, diagnóstico e análise dos dados e conclusões.

O primeiro capítulo descreve uma introdução ao tema, assim como o problema de pesquisa, os objetivos, os pressupostos que conduzem a investigação e a justificativa no âmbito social, econômico e tecnológico.

O segundo capítulo consiste na revisão bibliográfica, que é a fundamentação teórica da pesquisa e está dividido em subtemas como: habitação de interesse social no Brasil, análise do ciclo de vida das edificações, sistema CAD-BIM e emissão de CO<sub>2</sub>.

O terceiro capítulo é composto pela descrição do método de pesquisa adotado com o objetivo de atingir os objetivos propostos. Descreve-se o método escolhido, os protocolos de coleta de dados, as estratégias de análise e de validação e as limitações da pesquisa.

O quarto capítulo representa o diagnóstico da pesquisa, os dados referentes ao problema de pesquisa e o resultado das análises realizadas com os dois modelos de moradias utilizadas como estudo de caso.

O quinto capítulo consiste nas conclusões extraídas das análises realizadas nos capítulos anteriores. Mostra o resultado das análises de emissão de CO<sub>2</sub> através da ferramenta CAD-BIM e por consequência a comparação entre os resultados dos dois modelos de habitação de interesse social.

## **1.5 JUSTIFICATIVA**

### **1.5.1 QUANTO AOS ASPECTOS TÉCNICOS**

Há algumas décadas a humanidade não percebia a existência de obstáculos para a o crescimento desenfreado a qualquer custo e voltado para resultados imediatos. Nesse período ocorreu a exploração exagerada dos recursos naturais em busca de matéria prima, maior produtividade e bens materiais. Como consequência vive-se hoje sérios problemas com o meio ambiente: desastres ambientais, acidentes, derrames de petróleo no mar, extinção de espécies animais e vegetais, destruição da camada de ozônio e o efeito estufa (STACHERA; CASAGRANDE, 2007).

Segundo Roodman (1995), nos últimos cem anos, a quantidade de dióxido de carbono emitido na atmosfera aumentou 27%, dos quais um quarto desse valor provém da queima de combustíveis fósseis utilizados para fornecer energia para os edifícios. Em todo o mundo, a mineração do cobre, bauxita, minério de ferro e outros recursos naturais usados na fabricação de materiais de construção continuam em crescimento e assim, despejando grandes quantidades de poluentes no ar e na água. Em muitas ocasiões os danos causados na natureza são irreversíveis.

A construção civil no Brasil carece de definições quanto aos impactos ambientais causados pelo consumo de energia relacionado às edificações, desde a fabricação, manutenção e consumo dos materiais de construção, o levantamento da obra, até o consumo de energia durante o ciclo de vida. A indústria da construção civil influencia os seis setores industriais que mais consomem energia no país: cerâmica, metais não ferrosos, aço, química e mineração. A indústria da construção civil brasileira contribui com grande parcela na situação atual, apontada como um dos setores da economia que maior impacto gera sobre o meio ambiente, já que consome cerca de 75% de fontes não renováveis (TAVARES, 2006).

### **1.5.2 QUANTO AOS ASPECTOS SOCIAIS E ECONÔMICOS**

Pesquisas que focam o desenvolvimento e melhoria na construção civil possuem grande relevância, pois contribuem para a geração de renda. Segundo

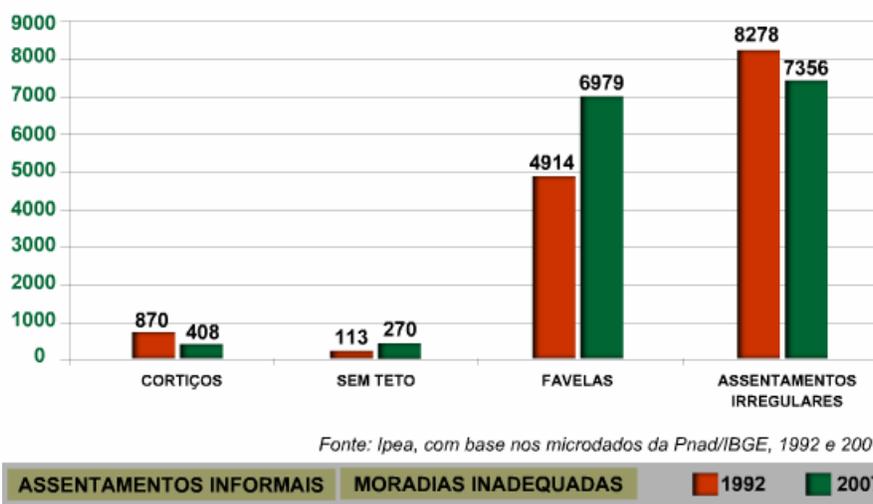
dados do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, em 2005 os serviços relativos à construção e projetos de engenharia e arquitetura tiveram uma participação de 33,2% na receita líquida do país.

Segundo o ministério das cidades em 2007, o déficit habitacional era de 7.23 milhões de domicílios, sendo a grande maioria, 5,47 milhões, em áreas urbanas. Existe em dois segmentos distintos de habitação: o déficit habitacional e a inadequação de moradias. Como déficit habitacional entende-se a noção mais imediata e intuitiva de necessidade de construção de novas moradias para a solução de problemas sociais e específicos de habitação detectados em certo momento. Por outro lado, o conceito de inadequação de moradias reflete problemas na qualidade de vida dos moradores: não estão relacionados ao dimensionamento do estoque de habitações e sim a especificidades internas do mesmo.

Com relação à infra-estrutura, mais de 10 milhões de domicílios encontram-se em estado de carência e 84% do déficit habitacional brasileiro é concentrado nas famílias com renda de até três salários mínimos. O déficit habitacional deve ser compreendido como um dos lados do combate à pobreza, uma vez que esta população não dispõe de recursos financeiros para viabilizar sua própria habitação (GAVA, 2005).

O IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada) considera inadequadas as moradias urbanas que não dispõem de rede coletora de esgoto ou fossa séptica, não possuem acesso à água canalizada, se situam em favelas ou em locais que apresentam irregularidades fundiárias e aquelas em que há adensamento excessivo, ou seja, em que residem mais de três pessoas por dormitório. Também são classificadas inadequadas as residências com tetos e paredes não-duráveis e as que só possuem banheiro coletivo. De acordo com o IPEA, em 2007, 54 milhões de brasileiros viviam em residências sem infra-estrutura adequada, o que representa 34,5% da população urbana do Brasil. No gráfico 1, se quantifica o total de pessoas em assentamentos informais por tipos de informalidades: cortiços, sem teto, favelas e assentamentos irregulares.

PESSOAS EM ASSENTAMENTOS INFORMAIS POR TIPO DE INFORMALIDADE (EM MIL) - 1992 E 2007



**GRÁFICO 1– Pessoas em assentamentos informais por tipo de informalidade (em mil) – 1992 e 2007**

FONTE: IPEA, com base nos dados do PNAD/IBGE (1992 e 2007)

Em comparação com 1992, houve uma redução de 15 pontos percentuais no número de pessoas vivendo em assentamentos informais.

O desempenho da construção civil está relacionado ao crescimento da economia interna e à queda das taxas de juros por sua inter-relação com outras atividades industriais.

Em setembro de 2008, primeiro mês da crise financeira internacional, a atividade da construção civil brasileira manteve o ritmo de crescimento. O nível de emprego do setor cresceu 1,85% em relação a agosto, com a contratação de mais 39,8 mil trabalhadores, segundo pesquisa do SINDUSCON-SP. Com isso, o número de empregados com carteira assinada na construção civil atingiu 2 milhões de trabalhadores.

Na comparação com o número de empregados existentes 12 meses antes, o crescimento em setembro acumula expressivos 19,88%. Nesse período, a construção civil contratou 362,9 mil trabalhadores.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

A fundamentação teórica está baseada em três tópicos principais: Conceito geral de habitação e habitação de interesse social, análise do ciclo de vida da edificação e utilização do sistema CAD-BIM para análise da emissão de CO<sub>2</sub> ao meio ambiente. A primeira seção descreve sobre habitação de interesse social, seus conceitos e definições, um breve histórico e a situação da construção desse tipo de habitação no Brasil.

Em seguida comenta-se sobre a análise do ciclo de vida da edificação e sua importância para a comprovação da poluição atmosférica através dos processos da construção civil. Esta maciça utilização de recursos naturais tem graves efeitos colaterais: desmatamento, poluição do ar e da água, redução da camada de ozônio e a contribuição para o aumento do aquecimento global (HOODMAN, et. al, 1995). A análise desses dados se dá através do estudo do ciclo de vida das edificações.

A terceira seção descreve sobre a utilização da ferramenta CAD BIM (*Building Information Modeling*) para a obtenção de análises energéticas e de emissão de CO<sub>2</sub>. Os programas BIM representam um novo caminho para a construção do Edifício Virtual, onde objetos digitais são codificados para descrever e representar componentes do ciclo de vida da edificação. A ferramenta BIM - ArchiCAD da Graphisoft, foi uma das primeiras, comercialmente disponível no mercado de softwares (IBRAHIM; KRAWCZYK; SCHIPPOREIT, 2004) e também a que será utilizada nessa pesquisa. BIM, além de ser um modelo para visualização do espaço projetado, é um modelo digital composto por um banco de dados que permite agregar informações para diversas finalidades, além de aumento de produtividade e racionalização do processo. Agora é comumente conhecido como Modelagem da Informação da Construção ou Modelo Paramétrico da Construção Virtual.

## **2.1 CONCEITO GERAL DE HABITAÇÃO E HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL**

### **2.1.1 CONCEITO GERAL DE HABITAÇÃO**

A habitação representa mais que uma simples ordenação espacial e um núcleo territorial, significa uma entidade complexa que é definida por um conjunto de fatores arquitetônicos, culturais, econômicos, sócio-demográficos, psicológicos e políticos que sofrem alterações durante o curso do tempo (BRANDÃO, 2006).

Abiko (1995) define habitação como sinônimo de abrigo, pois desde os primórdios da civilização o homem tem necessidade de se abrigar. Os povos primitivos utilizavam como habitação os espaços naturais: as cavernas e as árvores. Com o desenvolvimento das habilidades humanas, o homem começa a utilizar diversos materiais na construção de moradias, que serviam como abrigos, dentre eles: pedra, peles, madeira crua ou queimada e a cerâmica. A partir de então, surgiram os agrupamentos de moradias denominados de aldeias, que possuíam ao seu redor, áreas para cultivo de alimentos, construções de defesas e atividades religiosas. A habitação passa a ser o espaço ocupado antes e após as jornadas de trabalho, acomodando as tarefas de alimentação, descanso, atividades fisiológicas e convívio social, devendo atender os princípios básicos de habitabilidade, segurança e salubridade.

De acordo com as definições de Rapoport (1984), a definição de habitação não é somente a de abrigo. O autor observa que existe uma variedade nas formas de construção dentro de um mesmo local ou sociedade, demonstrada através das características humanas: transmitir significados e traduzir as aspirações de diferenciação e territorialidade dos habitantes em relação aos vizinhos e outros grupos.

Segundo Fernandes (2003), a habitação se divide em três funções: social, ambiental e econômica. A principal função social é a de abrigo, sendo que, na função ambiental têm-se os princípios básicos de infra-estrutura, saúde, educação, transportes, trabalho e lazer, confrontando o impacto dessas atividades com os recursos naturais disponíveis. A função econômica da moradia é relevante: sua construção oferece oportunidades de emprego e renda, mobiliza setores da economia local e influencia os mercados imobiliários e de bens e serviços.

Além de ser o cenário das tarefas domésticas, a habitação é o espaço destinado, muitas vezes, às atividades de trabalho e pequenos negócios (ABIKO, 1995).

Os significados básicos do morar definidos por Brandão (2006) são extraídos das definições de Cabrita (1995). Para ambos os autores, a habitação significa a delimitação de um espaço que proporciona ao homem:

- Privacidade, intimidade,
- Inserção cosmogênica,
- Relação entre sujeito e objeto (ser e ter),
- Realizar a imagem desejada de si, no espaço territorial,
- Expressar uma territorialidade bem definida,
- Apropriar-se dos objetos da moradia e afirmar-se no território,
- Estabelecer relações com a família,
- Definir uma interioridade,
- Desempenhar atividades em grupo ou individuais.

A construção das habitações responde por parcela significativa da atividade do setor de construção civil: em 2002, o subsetor de construção de edifícios, que envolve a construção habitacional, foi responsável por 25,29% na riqueza gerada pelo macrossetor da construção no país. Em 2003, o macrossetor da Construção Civil gerou R\$ 96,8 bilhões, correspondendo a 6,4% do PIB. Esses valores se estendem também ao aspecto social: a construção foi responsável, em dezembro de 2004, por 1,28 milhões de empregos com carteira assinada no país (FGV/SINDUSCON, 2004).

### **2.1.2 CONCEITO GERAL DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL**

De acordo com Fischer (2003), a habitação de interesse social, destinada à população de baixa renda, não deve ser tratada como um simples produto, mas como um processo complexo de produção, que possui uma dimensão física, com determinantes políticos, sociais, econômicos, jurídicos, ecológicos e tecnológicos.

A satisfação do indivíduo com a sua residência variam conforme a importância relativa dada pelo seu morador às qualidades específicas de cada item avaliado. Nota-se, que a evolução social e econômica da família pode alterar as suas necessidades e o nível de satisfação, depois de um tempo de uso.

Os atributos citados acima complementam os conceitos de habitabilidade que, segundo ONIBOKUN (1974), é retratada como um conceito humano que envolve quatro subsistemas integrados:

- subsistema de moradia: que envolve os atributos físicos do imóvel, tais como qualidade do forro, pintura, piso, adequação e uso do espaço (número de cômodos, áreas, disponibilidade de equipamentos dentro do imóvel) e instalações;

- subsistema ambiental: relacionado aos atributos ligados à localização, tais como distância do comércio, posto de saúde, escola, trabalho, transporte, e outros;

- subsistema gerencial: diz respeito a questões de compra e locação do imóvel, aspectos de limpeza pública e proteção do bairro onde se situa a habitação;

- subsistema do usuário: que é o foco central deste modelo conceitual de habitabilidade, pois constitui as respostas (feedbacks) do usuário a todos os outros subsistemas.

A habitação é um bem de consumo com características únicas, sendo um produto durável com vida útil estimada de 50 anos. (ORNSTEIN, 1992). Por ser um produto caro, as classes menos privilegiadas constituem a maior demanda por habitação no Brasil (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2001).

O termo Habitação de Interesse Social (HIS) define soluções de moradia destinadas à população de baixa renda, com rendimento mensal de até três salários mínimos. Abiko (1995) apresenta outras definições equivalentes para Habitação de Interesse Social:

- Habitação de Baixo Custo (*low-cost housing*): significa habitação barata, não necessariamente para a população de baixa renda;

- Habitação para População de Baixa Renda (*housing for low-income people*): significa habitação de interesse social, com o intuito de atender famílias com renda mensal pré-definida.
- Habitação Popular: termo genérico que envolve soluções destinadas ao atendimento de necessidades habitacionais.

O problema da habitação de interesse social vai além da sua simples construção. A solução está ligada a fatores como a de renda das classes sociais mais pobres, dificuldades de acesso aos financiamentos concedidos pelos programas oficiais e a deficiência na implantação das políticas habitacionais (BRANDÃO, 2006). Depende, também, da vontade coletiva de toda uma comunidade, ciclo de vida da família, cultura, história, entre outros fatores (Fundação João Pinheiro, 2004).

Segundo Abiko (1995), a habitação popular não deve ser entendida apenas como um produto e sim como um processo complexo de produção afetado por fatores políticos, sociais, econômicos, jurídicos, ecológicos e tecnológicos. A habitação deve conter um espaço confortável, seguro e salubre, abrangendo alguns fatores como:

- Serviços urbanos: as atividades desenvolvidas no âmbito urbano que atendam às necessidades coletivas de abastecimento de água, coleta de esgotos, distribuição de energia elétrica, transporte coletivo, entre outros;
- Estrutura urbana: incluindo as redes de: distribuição de água e coleta de esgotos, drenagem, distribuição de energia elétrica, comunicações e sistema viário;
- Equipamentos sociais: compreendendo as edificações e instalações destinadas às atividades relacionadas com educação, saúde e lazer.

A habitação de interesse social e suas variáveis interagem com fatores sociais, econômicos e ambientais e é garantida constitucionalmente como direito e condição de cidadania.

Entretanto, para cumprir estas garantias no Brasil, observam-se desafios a serem superados, sobretudo nos fatores que se impõem como obstáculos ao desenvolvimento da sociedade como um todo. Além disso, a questão habitacional

é fruto de uma cadeia de fatos históricos que modelaram sua situação atual. Assim, o conhecimento aprofundado dos fatores sócio-econômicos e históricos que moldam as necessidades habitacionais do país permite a compreensão atual e a projeção futura da habitação.

### **2.1.3 HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL – BREVE HISTÓRICO**

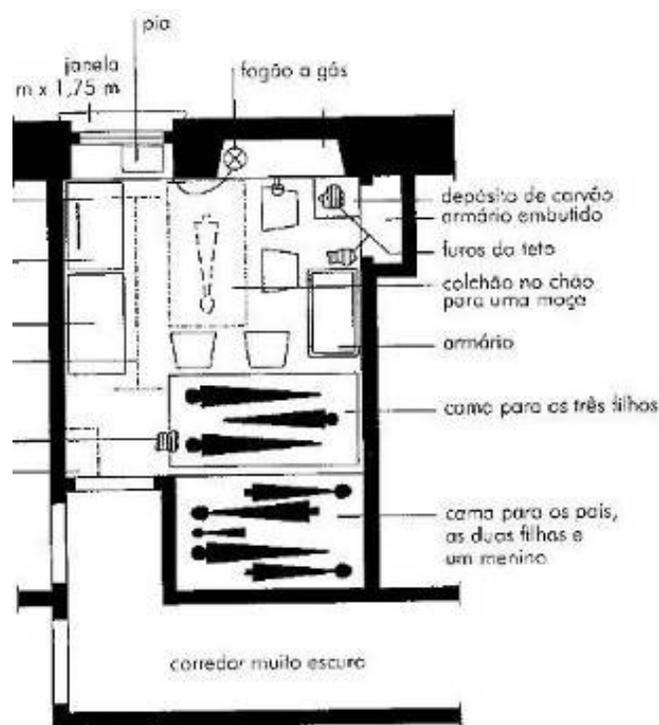
No século XVIII, a Inglaterra tornou-se o berço da indústria. Em aproximadamente meio século, entre 1760 e 1790, consumaram os processos técnicos que incrementaram a produção industrial, o aumento do número de indústrias e sua concentração em grandes instalações. Esse processo se inicia com a invenção da máquina de fiar por Richard Arkwright em 1771, da máquina de tear por Edmund Cartwright em 1784 e da máquina a vapor por James Watt em 1769. Com isso começa o surgimento das indústrias nas proximidades de rios e, conseqüentemente as cidades. Com o advento da Revolução Industrial os principais centros europeus cresceram em número de habitantes havendo assim, transformações no modo de vida e nas moradias.

A questão da habitação popular começa a ser discutida no início do século XIX, na Europa, e no final deste mesmo século e início do século XX no Brasil, onde, mais tarde aconteceu o crescimento urbano-industrial. Nas primeiras décadas do século XX, arquitetos e engenheiros apresentaram propostas de como projetar o micro-espço.

Com o decorrer do tempo surgiram alterações nos projetos dessas habitações de acordo com evoluções técnicas, mudanças sociais e infra-estrutura urbana. Mas, ao longo de dois séculos as mudanças foram pequenas e se fixou um padrão de projeto. Diferentes discussões ocorreram no início do século passado que foram expostas em congressos internacionais como: CIAMs (Congressos Internacionais da Arquitetura Moderna) e nacional como o Congresso de Habitação realizado em 1931 em São Paulo. Percebe-se com isso, uma preocupação social diante dos problemas surgidos com o crescimento desordenado das cidades que influenciaram na carência habitacional (FOLZ, 2003).

Em virtude de diferentes realidades nacionais, houve o surgimento de propostas para habitação destinada aos trabalhadores. O surgimento da necessidade de moradias mínimas ocorreu através da implantação de indústrias

nos centros urbanos. A primeira crise habitacional ocorreu no final do século XVIII nos países pioneiros da revolução industrial, Inglaterra e França, quando grandes levas da população rural foram atraídas para as cidades formando as novas camadas do proletariado urbano. Grande parte dessa leva da população foi dizimada, em virtude das péssimas condições de higiene e grande adensamento nos pequenos cômodos, o que levou a epidemias como cólera, peste e tifo. A Figura 2, é exemplificada uma casa operária para nove pessoas em Glasgow, na Escócia (FOLZ, 2003).



**FIGURA 1– Casa operária na Escócia**

FONTE: Folz (2003)

Os primeiros apartamentos operários surgem em Londres em 1844, com o projeto do arquiteto Henry Roberts, que projeta um prédio operário de dois andares e quatro apartamentos. Esse modelo de projeto influenciou o planejamento de habitações operárias durante o resto do século.

Na segunda metade do século XIX começaram a surgir as vilas operárias, localizadas próximas às indústrias. Mesmo assim, muitas famílias continuaram

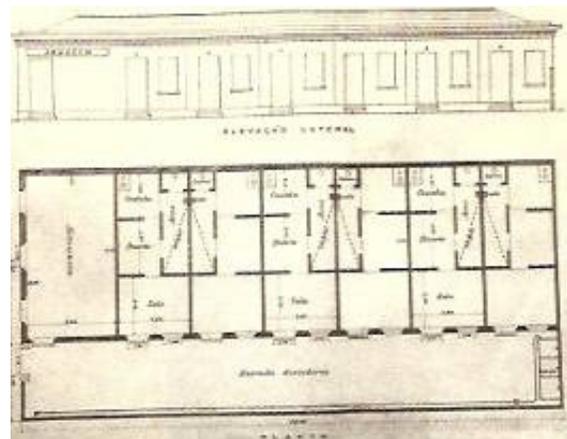
vivendo em habitações precárias, por terem liberdade de uso de suas casas, portanto o cortiço continuou sendo a forma de habitar mais comum nas cidades industriais. No Brasil, no final do século XIX, principalmente no Rio de Janeiro e São Paulo, se repetiam os mesmos problemas enfrentados pelas grandes metrópoles industriais européias (FOLZ, 2003).

De acordo com Fischer (2003), no final do século XIX surge, no Brasil, o conceito de habitação popular planejada, destinada à classe de operários, através da criação das “Vilas Operárias”. Essas vilas situavam-se nas áreas circundantes aos grandes centros urbanos, como São Paulo e Rio de Janeiro, junto às indústrias. Além das “Vilas Operárias”, existiam como forma de moradia alternativa, os cortiços, que eram habitações coletivas localizadas em regiões depreciadas no centro da cidade, habitados por trabalhadores menos qualificados. A forma predominante de morar da população trabalhadora era a casa de aluguel, pois não existia financiamento da casa própria. As moradias de aluguel (cortiços ou pequenas casas enfileiradas) eram oferecidas no mercado, isto é, constituíam um atraente investimento privado e o custo do aluguel estava presente na cesta de consumo do trabalhador (FOLZ, 2003). A seguir são exemplificados, nas Figuras 3 e 4, modelos de moradias operárias, como o cortiço.



**FIGURA 2– Cortiço**

FONTE: Folz (2003)



**FIGURA 4– Modelo de moradia operária**

FONTE: Folz (2003)

Após 1930, o governo começa a intervir na criação de “Carteiras Prediais dos Institutos de Aposentadoria e Pensão” (IAPs). Com os novos parâmetros para empréstimo e pagamento dos imóveis financiados

por estes institutos, a partir de 1937, houve um aumento da produção de unidades habitacionais populares.

Na década de 40 ocorrem as principais intervenções do Governo Federal, com a Lei do Inquilinato, produção em massa de moradias por intermédio dos IAPs e criação da Fundação da Casa Popular (FCP). No mesmo período, consolidou-se a aceitação, pelo Estado e pela população, de alternativas habitacionais precárias, ilegais e excluídas do âmbito capitalista, como a favela e a casa própria em loteamentos periféricos, incentivando a autoconstrução (FOLZ, 2003).

Em 1964, com o golpe militar, foi criado o Banco Nacional de Habitação (BNH). O objetivo do governo era demonstrar preocupação com a população carente, amenizando a tensão social e diminuir o potencial de conflito existente. Era o órgão central que coordenaria o Sistema Financeiro da Habitação (SFH), criando as condições necessárias para a produção, e para a aquisição das moradias populares financiadas pelo poder público. Os recursos viriam do salário dos trabalhadores, sendo substituído mais tarde pelo Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS) e pelas Cadernetas de Poupança/SBPE – Sistema Brasileiro de Poupança e Empréstimo (MARICATO, 1995).

O BNH tinha a característica de ser um agente financiador, mas não produtor das habitações. Esta função ficou delegada às Companhias Habitacionais Municipais (COHAB) e à iniciativa privada. O BNH, aliado à correção monetária, assumiu um modelo empresarial, prevendo um sistema de reajuste para compensar as perdas inflacionárias e evitar a descapitalização. Na Figura 5, são mostrados modelo de construção do BNH do tipo casas isoladas e edifícios, como moradia de interesse social.

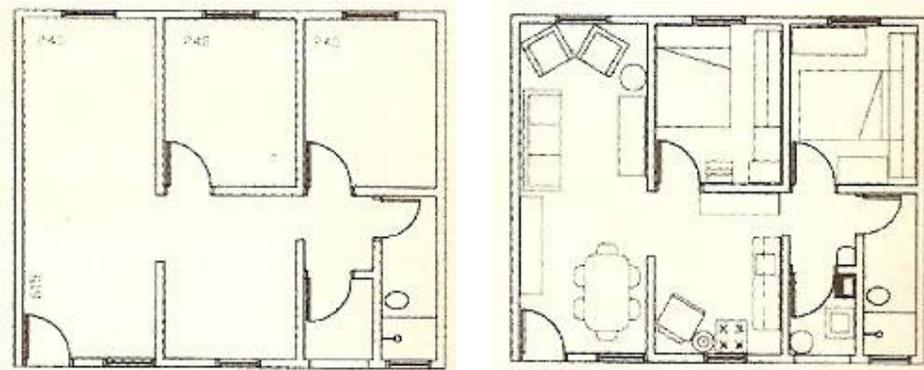


**FIGURA 5 – Modelo de construção BNH – Casas isoladas e edifícios**

FONTE: Folz (2003)

De acordo com Folz (2003), As tipologias básicas do padrão BNH eram os blocos repetitivos de apartamentos ou casas unifamiliares ou casas unifamiliares isoladas, mostradas na Figura 5. Os blocos apresentavam as seguintes características:

- Não ultrapassavam 4 pavimentos,
- Sem elevadores,
- Equipamentos recreativos,
- Identificadas numericamente,
- Apartamentos em torno de 50m<sup>2</sup>,
- Construção em alvenaria.



**FIGURA 6– Unidade habitacional BNH**

FONTE: Folz (2003)

Em 1966 continuava a crise habitacional então o BNH assumiu a função de gestor financeiro do Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS), o qual passou a ser sua principal fonte de recursos.

A atuação do BNH na provisão de moradias estava dividida em segmentos de mercado, para os quais existiam agentes específicos que se encarregariam da execução dessas moradias. As Companhias Habitacionais ficaram responsáveis pela construção de moradias para famílias carentes (mercado popular), ou seja, àquelas que tinham renda de até três salários mínimos, posteriormente ampliados para cinco salários (IMAI, 2000).

No final da década de 70 e início da década de 80, houve a tendência das Companhias concederem financiamento para faixas de maior poder aquisitivo do mercado (3 a 5 salários mínimos). Além disso, a moradia financiada pelo BNH

passou a ter um valor de mercado maior, ao mesmo tempo em que uma parcela significativa da classe média passou a ter, nas moradias da COHAB, uma alternativa habitacional (FISCHER, 2003).

Em 1986 a Caixa Econômica Federal incorpora o BNH, que é extinto. Este fato contribuiu para o aumento das favelas e a expansão da periferia nas médias e grandes cidades brasileiras (MARICATO, 1995). A partir de então, os programas implantados para a produção de habitações populares são pontuais, com a participação das administrações municipais e estaduais, que incluíram em sua política a preocupação urbano-social (FOLZ, 2003).

Os anos 90 foram marcados por conturbados acontecimentos, onde as medidas tomadas pelo governo não conseguiram modificar o quadro apresentado anteriormente. Porém, algumas medidas foram executadas para facilitar a quitação de imóveis financiados e implementar programas de construção de moradias, como o Plano de Ação Imediata para a Habitação, cujo resultado não foi satisfatório. Em 1993 o Governo Federal implantou algumas medidas e programas que visavam à retomada do controle social do sistema habitacional, baseado em programas alternativos: “Habitar Brasil” e o “Morar Município”, com recursos orçamentários e parceria municipal (MARICATO, 1995).

O desempenho negativo ocorrido neste período deveu-se ao fraco apoio do governo a novas construções de moradias e à queda no número de financiamentos via SFH, como conseqüência da depressão econômica do período, o que provocou o aumento do desemprego e dos resgates dos recursos do FGTS.

Em 1994, iniciou-se a reformulação do SFH, visando solucionar os graves problemas estruturais do sistema, assim como possibilitar maior número de financiamentos para as populações de baixa renda. As ações do governo para reverter o atual quadro do SFH, incluíram os financiamentos destinados aos estados e municípios para urbanização, melhorias ou construção de novas moradias, principalmente à população com renda inferior a três salários mínimos mensais. O governo também incrementou o sistema Carta de Crédito – FGTS, destinado a imóveis novos ou já construídos para a população de baixa renda.

Em 1997, houve a implantação do Sistema de Financiamento Imobiliário, com a possibilidade de financiamentos com fins habitacionais ou não, garantindo maior flexibilidade na aplicação de recursos.

O programa para habitação popular do governo atual é o Plano Nacional de Habitação (PLANHAB). De acordo com o Ministério das Cidades (2009), o Governo Federal, por meio da Secretaria Nacional de Habitação iniciou, em agosto de 2007, a elaboração do Plano Nacional de Habitação. O PLANHAB serve como plano orientador ao planejamento das ações públicas e privadas e tem como objetivo, direcionar os recursos existentes e aqueles a serem mobilizados para o enfrentamento das necessidades habitacionais do país.

Esse programa habitacional é parte de um processo de planejamento de longo prazo, até 2023, e pressupõe revisões periódicas e articulação com outros instrumentos de planejamento e orçamento, como o Plano Plurianual (PPA). A elaboração do Plano Nacional de Habitação envolve três etapas: a contextualização, a elaboração de cenários e metas, e a definição do plano de ação, estratégias e implementação.

Existe uma preocupação do governo em implantar políticas de qualidade no setor de construção, como, por exemplo, o desenvolvimento de produtos dentro de normas técnicas mais rigorosas, padronização de materiais, treinamento de mão-de-obra e apoio à autoconstrução, visando com isso reduzir os custos de materiais e serviços. Os programas para habitação popular implantados no Brasil geram até hoje um impacto político negativo, pois os mutuários pagam seus financiamentos com taxa de juros altos, gerando inadimplência e aumentando o déficit habitacional do país (FISCHER, 2003).

Assim, continuam a surgir pelo país diversas propostas para amenizar o problema da carência habitacional para a população de baixa renda. Infelizmente, todas essas propostas continuarão funcionando apenas como paliativo enquanto não houver uma mudança mais profunda na sociedade (FOLZ, 2003).

### **2.1.3 MODALIDADES ALTERNATIVAS PARA A CONSTRUÇÃO DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL**

A seguir, apresentam-se duas modalidades alternativas de construção que vêm contribuindo para a diminuição do déficit habitacional no Brasil: mutirão e autoconstrução.

### 2.1.3.1 MUTIRÃO

O mutirão também conhecido como um sistema de ajuda mútua, é a alternativa habitacional baseada no esforço coletivo e organizado pela comunidade para a construção de suas próprias moradias.

Um dos problemas ocasionados pelas obras em mutirões é o prazo muito longo de duração. Isto ocorre, pois o mutirão não funciona em tempo integral, durante toda a semana, funcionando basicamente nos fins de semana. Outro motivo se dá pela baixa produtividade, já que a mão-de-obra mutirante não tem habilidade, nem é qualificada para a construção civil. A participação do mutirante na construção de suas moradias visa diminuir os custos do empreendimento, a melhoria da qualidade das unidades habitacionais e a identificação do morador com o produto de seu trabalho. (CARDOSO, ABIKO, 1993). De acordo com esses dois autores, existem três tipos básicos de mutirão:

a) mutirão por gestão institucional ou administração direta:

O agente público gera o empreendimento, elabora os projetos, fornece a equipe técnica que gerencia a obra e administra todos os recursos financeiros e não financeiros aportados;

b) mutirão por co-gestão:

Empreendimentos nos quais o Poder Público repassa recursos às comunidades, representadas e organizadas em associações comunitárias, as quais contratam escritórios, técnicos ou autônomos para assessorá-las na administração desses recursos. Tais escritórios, também conhecidos como Assessorias Técnicas, elaboram os projetos e exercem a direção técnica das obras, responsabilizando- tecnicamente por sua execução;

c) mutirão por autogestão:

É a modalidade na qual a comunidade, por meio das associações de moradores, é a responsável pela administração geral do empreendimento, bem como pela gerência de todos os recursos.

Existe a possibilidade dos mutirões serem desenvolvidos com a participação de mão-de-obra contratada, que soma à mão-de-obra dos mutirantes. Assim, há

um aumento da produtividade nos canteiros, devido à ajuda deste pessoal encarregado dos serviços especializados (ABIKO, 1995).

A participação dos proprietários, seja na elaboração do projeto arquitetônico, ou na construção da sua própria moradia, faz com que os proprietários se identifiquem com a casa, com a vizinhança, se integrando na comunidade inserida em um bairro.

### **2.1.3.2 AUTOCONSTRUÇÃO**

Segundo Fischer (2003), a autoconstrução é aquela que realiza a construção social individual, não cooperada, podendo ser assistida ou não, realizada pelo próprio usuário. Os mesmos autores apresentam como benefícios da autoconstrução o aumento da produtividade, bem-estar e satisfação.

O apoio à autoconstrução pode se dar de diversas formas, entre elas o fornecimento de projetos, padrão ou personalizados, a elaboração e distribuição de manuais para a execução das construções, a assistência à construção e a assessoria técnica (ABIKO, 1995).

- fornecimento de projetos personalizados ou padrão: usado para melhorar as construções executadas por auto-construção e facilitar a regularização da obra. O projeto padronizado é limitado, os projetos que seguem um padrão são mais elaborados, prevendo algumas situações de implantação, assim como admitindo a sua construção por etapas.
- elaboração e distribuição de manuais: como forma de apoiar a melhoria da construção. Os manuais apresentam linguagem acessível, os diversos passos para a execução de uma unidade habitacional, envolvendo projeto, escolha de materiais e componentes, detalhes de execução assistida, ferramentas necessárias, entre outros;
- assessoria técnica ao projeto: a assessoria técnica é uma forma integrada de apoio à auto-construção, que contempla desde o início do projeto até o término da obra. Permite ao usuário a construção de uma unidade habitacional personalizada, atendendo às suas

necessidades, possibilidades e expectativas, com um projeto adequado. Composta por arquitetos, tecnólogos e engenheiros, com acompanhamento em todas as etapas da obra.

- assistência técnica à construção: a assistência à **construção é gerenciada** tanto pelo Poder Público quanto por engenheiros, arquitetos e tecnólogos.

### 2.1.3.3 CONFIGURAÇÃO DE TIPOLOGIAS DE PROCESSOS CONSTRUTIVOS

Ao longo da história, tipologias distintas de construção foram identificadas como um reflexo dos objetivos da sociedade. A complexidade da tecnologia utilizada na construção civil atualmente traz grandes problemas para o meio ambiente, como os elevados gastos energéticos e a produção de resíduos. (BROWN, 2003).

De acordo com Sabbatini (1989), quanto à classificação, os processos construtivos se definem como:

- Tradicionais: uso intensivo de mão-de-obra, material e tempo. Baseados na produção artesanal;
- Racionalizados: tem como objetivo eliminar o desperdício, aumentar a produtividade, planejar o fluxo de produção, simplificar as etapas construtivas e melhorar a qualidade do sistema;
- Industrializados: uso intensivo de componentes e elementos produzidos em instalações fixas.

### 2.1.3.4 PROCESSO TRADICIONAL

A construção, devido a sua antiguidade, apresenta métodos e cultura anteriores ao desenvolvimento das abordagens científicas da produção. Em contraste com outras indústrias, a produção artesanal prevaleceu na primeira metade do século XX (KOSKELA, 1922).

Nos métodos tradicionais de construção, os projetos indicam apenas a forma final do edifício, através dos projetos arquitetônicos e estruturais. Não apresentam os detalhes da execução como o modo e as etapas da execução (FARAH, 1992).

E, na maioria das vezes, cabe aos operários a tarefa de decidir de qual maneira o projeto será executado. Para entender essa situação, Koskela (1992) analisa historicamente o modo de produção das edificações. Antes da disseminação dos processos produtivos industriais, os mestres de obras eram os responsáveis desde as etapas de projeto até a execução da construção. A partir do século XIX, a figura do arquiteto projetista estabelece a separação entre as atividades de projeto e a execução da obra.

Atualmente a construção civil brasileira, em geral, segue esse processo de construção, incluindo as construções de habitações de interesse social. Adiante, nessa pesquisa, será exemplificado esse método de construção como um dos modelos de estudo de caso adotado, tendo como exemplo uma construção da COHABCT (Companhia de Habitação de Curitiba).

#### **2.1.3.5 PROCESSO RACIONALIZADO**

A racionalização construtiva prevê a otimização de recursos humanos, materiais, organizacionais, tecnológicos ou financeiros e o aumento da produtividade. Quanto aos sistemas construtivos, no processo racionalizado, os projetos são elaborados com maiores definições técnicas do que no processo tradicional, como a pré-fabricação de elementos e produtos que simplifiquem as atividades na obra (PEREIRA, 2005).

Além do citado anteriormente, outro exemplo será mostrado a seguir como estudo de caso, que exemplifica um modelo de construção racionalizada. O modelo utiliza processos construtivos rápidos e com pouca geração de resíduos, representado pela casa construída com painéis de madeira.

#### **2.1.3.6 PROCESSO INDUSTRIALIZADO**

De acordo com as definições de Oliveira (2001), para se alcançar a industrialização de um processo, é necessário que ele passe por um amadurecimento, do qual as ações evolutivas voltadas à racionalização e qualidade são partes integrantes. A industrialização é um método produtivo que tem por base a mecanização.

#### **2.1.4 A HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL E O MERCADO**

Desde a crise do início dos anos 80, o setor habitacional não recebia prioridade em nível nacional, portanto, de acordo com o Ministério das Cidades (2008), o atual governo abriu uma nova era para a construção civil, cumprindo o Projeto Moradia que defendia a potencialidade deste setor como um vetor de desenvolvimento social e crescimento econômico. Medidas para estimular o crédito imobiliário dinamizaram o setor. A resolução de 2005 do Conselho Monetário Nacional obrigou os bancos cumprirem a exigência legal de investir em habitação os recursos da poupança então, como consequência destas medidas, 25 empresas imobiliárias abriram seus capitais na bolsa, absorvendo mais de 20 bilhões de dólares no mercado de capitais. Com as alterações, as aplicações com recursos de poupança passaram de menos de R\$ 2 bilhões em 2002 para cerca de R\$ 18 bilhões em 2007.

Iniciativas como a criação de empresas especializadas no mercado popular são importantes, mas os resultados ainda são pequenos: em 2007, apenas 2% dos lançamentos imobiliários em São Paulo foram destinados para habitações com valor inferior a R\$ 60 mil, enquanto 53% estão na faixa superior a 180 mil (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008).

Os recursos públicos, destinados à baixa renda, também estão crescendo desde 2004. O orçamento do FGTS (Fundo de Garantia por Tempo de Serviço) para habitação atingiu R\$ 7 bilhões em 2007 e a novidade foi a Resolução 460/2005 do FGTS, que ampliou os subsídios, chegando a R\$ 1,8 bilhão anuais. Os recursos fiscais cresceram com a implantação, em 2006, do Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social, atingindo cerca de R\$ 1,3 bilhão por ano. Assim, o subsídio total atingiu R\$ 3,1 bilhões em 2007, sem contar as contrapartidas estaduais, permitindo uma significativa ampliação do atendimento na faixa de renda onde se concentra o déficit.

As perspectivas são excelentes para um enfrentamento em larga escala do problema habitacional, inclusive para a baixa renda. Cabe ao Plano Nacional de Habitação, atualmente em desenvolvimento, estruturar uma estratégia para equacionar o enfrentamento das necessidades habitacionais do País.

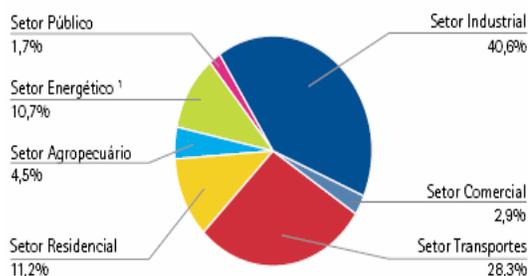
## 2.2 AS EDIFICAÇÕES E OS IMPACTOS AMBIENTAIS

### 2.2.1 A GERAÇÃO DE CO<sub>2</sub> POR SETORES DA CONSTRUÇÃO CIVIL

De acordo com o Balanço Energético Nacional (2008), em 2007, a oferta interna de energia no Brasil cresceu 5,9%, taxa ligeiramente superior ao crescimento da economia (de 5,4%, conforme dados do IBGE). Esse resultado sugere que importantes mudanças estruturais podem estar em curso na economia nacional, com aumento da eficiência no uso da energia. Com efeito, a intensidade energética (quantidade de energia por unidade do PIB), apesar de ligeiramente maior do que a de 2006, é a mesma que se registrou em 1990 - 0,182 tep/103 US\$. A oferta interna de energia atingiu 239,4 milhões de tep, com destaque para o crescimento dos produtos da cana-de-açúcar, cuja oferta cresceu 17,1%. A cana-de-açúcar passa, assim, a ser a segunda fonte de energia mais importante na Matriz Energética Brasileira (MEB), atrás somente do petróleo.

O consumo final de energia cresceu em todos os setores de atividade, em especial na indústria, nos transportes, no setor agropecuário e no setor comercial. Em todos esses casos, as taxas de crescimento superaram 6% sobre 2006. Assim, pode-se afirmar que as emissões de CO<sub>2</sub> decorrentes da produção e do uso da energia no Brasil mantiveram-se em 2007 em níveis baixos quando comparados com outros países do mundo. Estes são os principais resultados preliminares do Balanço Energético Nacional – BEN 2008 – ano base 2007 (BEN, 2008) O BEN é um documento anualmente publicado pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética) e que compreende extensa pesquisa e a contabilidade relativa à oferta e ao consumo de energia no Brasil, contemplando as atividades de extração de recursos energéticos primários, sua conversão em formas secundárias, a importação, distribuição e o uso final da energia.

	100 tep		
	2007	2006	Δ %
Setor Industrial	81.752	76.757	6,5
Setor Transportes	56.894	53.270	6,8
Setor Residencial	22.601	22.090	2,3
Setor Energético <sup>1</sup>	21.478	18.823	14,1
Setor Agropecuário	9.104	8.550	6,5
Setor Comercial	5.893	5.545	6,3
Setor Público	3.494	3.453	1,2
<b>Total</b>	<b>201.216</b>	<b>188.574</b>	<b>6,7</b>



**GRÁFICO 2– Consumo final energético por setor**

FONTE: Balanço Energético Nacional (BEN, 2008)

No cenário industrial brasileiro, a construção civil é de grande relevância, não só pela quantidade de recursos financeiros que movimenta e os empregos gerados, mas também pela quantidade de energia e recursos naturais que utiliza. Atualmente são discutidos, a nível mundial, ações para minimizar a poluição ambiental e promover a redução dos níveis de emissões de gases que provocam o efeito estufa que resulta no aquecimento global.

A indústria da construção civil brasileira tem grande parcela de contribuição na situação atual, apontada como um dos setores da economia que maior impacto gera sobre o ambiente natural (CASAGRANDE, 2007).

As principais conclusões do relatório apresentado em Paris no início de Fevereiro de 2007, pelos 500 delegados do Painel Intergovernamental das Alterações Climáticas (IPCC, 2006) é que o planeta vai aquecer entre 1,8 e quatro graus até ao final do século e o nível dos mares subirá até 58 centímetros, fazendo multiplicar as secas e as ondas de calor. O relatório conclui que o aquecimento global continuará durante séculos.

De acordo com o IPCC (2006), os sistemas energéticos, para a maioria das economias em larga escala, são impulsionados pela queima de combustíveis fósseis. Durante a combustão, carbono e hidrogênio são convertidos em dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e água, liberando a energia química do combustível em forma de calor. Este calor é geralmente utilizado para produzir energia mecânica, para a geração de eletricidade ou para o transporte. A queima de combustíveis fósseis é um dos causadores do efeito estufa e, normalmente contribui com 90% das emissões de  $\text{CO}_2$  e 75% do total das emissões de gases que causam o efeito estufa nos países desenvolvidos. Cerca de metade destas emissões são associados com a combustão no setor da energia, principalmente usinas e refinarias.

Entre os gases do efeito estufa, inclui-se: vapor d'água, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), ozônio troposférico ( $\text{O}_3$ ) e clorofluocarbonetos (CFC's). Destes, o  $\text{CO}_2$  é o mais importante em termos de efeito radioativo, com aproximadamente 55% das emissões e também o mais significativo no que diz respeito à produção dos materiais de construção. O acúmulo destes gases na atmosfera retém parte do calor do sol pela absorção de radiação infravermelha que, de outra forma, seria refletida de volta ao espaço sideral (BUCHANAN, HONEY, 1994).

Stachera apud Goltemberg e Villanueva (2006), apresentam em seus estudos os principais sistemas que causam grande impacto ao meio ambiente e, dentre eles, verifica-se que as atividades que proporcionam maiores impactos ambientais estão relacionadas à mineração, obtenção de energia e à produção industrial. Analisando as informações relacionadas no Quadro 1, nota-se que a indústria da construção tem grande parcela de contribuição na degradação ambiental.

<b>Atividade de maior impacto ambiental</b>	<b>Tipo de degradação</b>
<b>Garimpo de ouro</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assoreamento e erosão nos cursos d'água</li> <li>- Poluição das águas</li> <li>- Formação de núcleos habitacionais com problemas sociais</li> <li>- Degradação da paisagem</li> <li>- Degradação da vida aquática</li> </ul>
<b>Mineração industrial, ferro, manganês, cassiterita, Cobre, bauxita, etc.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Degradação da paisagem</li> <li>- Poluição e assoreamento dos cursos d'água</li> <li>- Esterilização de grandes áreas</li> <li>- Impactos sócio-econômicos</li> </ul>
<b>Agricultura e pecuária extensivas ( grandes projetos agropecuários)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incêndios florestais, destruição da fauna e flora</li> <li>- Contaminação da água por agrotóxicos</li> <li>- Erosão e assoreamento dos cursos d'água</li> <li>- Destruição de áreas de produtividade natural</li> </ul>
<b>Usinas Hidrelétricas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Impacto cultural</li> <li>- Impacto sócio-econômico</li> <li>- Inundações</li> <li>- Impacto sobre a flora, fauna e ecossistemas</li> </ul>
<b>Pólos industriais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poluição do ar, água e solo</li> <li>- Geração de resíduos tóxicos</li> <li>- Conflitos com o meio ambiente</li> </ul>
<b>Caça e pesca predatória</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Extinção de mamíferos aquáticos e diminuição de peixes</li> <li>- Redução de animais</li> </ul>
<b>Crescimento populacional</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Problemas sociais graves,</li> <li>- Ocupação desordenada do solo</li> </ul>
<b>Indústrias de alumínio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poluição atmosférica</li> <li>- Poluição marinha</li> <li>- Impactos indiretos pela demanda de energia elétrica</li> </ul>

#### **QUADRO 1 – Atividades e seus impactos ambientais**

FONTE: Adaptado de Goldemberg (2003) e Villanueva, *apud Stachera* (2005)

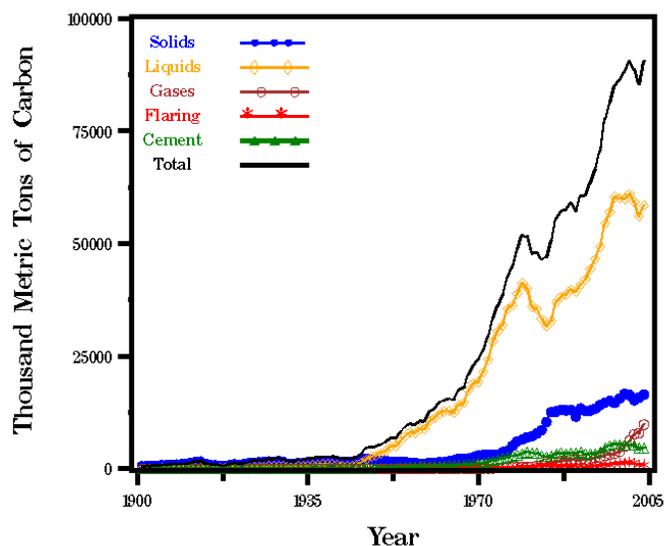
A presente pesquisa analisa como a construção de habitações de interesse social contribuiu para a emissão de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) ao meio ambiente, através da análise dos materiais de construção que, em seu processo produtivo,

apresentam altos índices de emissões. Serão analisados dois modelos de habitação, a primeira construída de maneira convencional e a segunda utilizando processo construtivo alternativo em madeira.

## 2.2.2 ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS ATRAVÉS DO ESTUDO DO CICLO DE VIDA DAS EDIFICAÇÕES

### 2.2.2.1 ENERGIA EMBUTIDA RELACIONADA À EMISSÃO DE CO<sub>2</sub>

Desde 1751, aproximadamente 315 bilhões de toneladas de carbono têm poluído a atmosfera através da queima de combustíveis fósseis e da produção de cimento. Metade dessa produção tem ocorrido desde meados dos anos 70, como é mostrado no Gráfico 3:



**GRÁFICO 3 - Estimativa global total da emissão de CO<sub>2</sub>**

FONTE: Marland (2007). Disponível em: <http://cdiac.ornl.gov>

De acordo com Marland (2007), a região da América Central e América do Sul, possui aproximadamente 50 entidades políticas. A emissão de combustíveis fósseis advindos dessas regiões aumentou nove vezes desde 1950, atingindo 350 milhões de toneladas em 2004. Somente dois países, México e Brasil, contam com

53,8% do total, mas apenas o México emite mais de 100 milhões de toneladas de carbono e o Brasil, 90 milhões de toneladas. Esses dois países estão na lista dos vinte países do mundo que mais poluem o meio ambiente através da queima de combustíveis fósseis. O México se encontra em décimo primeiro colocado e o Brasil em décimo sexto. Em primeiro lugar está os Estados Unidos, seguido pela China. As emissões de CO<sub>2</sub> provenientes do Brasil têm crescido rapidamente desde o início dos anos 90, com exceção de uma breve acalmada durante o início de 1980. As emissões têm aumentado constantemente desde 1983 e agora totaliza 90 milhões de toneladas métricas de carbono em 2004.

Como mostra no Quadro 2 abaixo, o ranking mundial dos países que mais emitem CO<sub>2</sub> através da queima de combustíveis fósseis, produção de cimento e queima de gás, está demonstrado na lista abaixo, que foi desenvolvida pelo Laboratório Nacional *Oak Ridge*, nos Estados Unidos, em 2004. A emissão de CO<sub>2</sub> está expressa em mil toneladas de carbono.

País	Emissão de CO <sub>2</sub>	País	Emissão de CO <sub>2</sub>
1-Estados Unidos	1650020	9-Koréia	127007
2-China	1366554	10-Itália	122726
3-Rússia	415951	11-México	119473
4-Índia	366301	12-Africa do Sul	119203
5-Japão	343117	13-Irã	118259
6-Alemanha	220596	14-Indonésia	103170
7-Canadá	174401	15-França	101927
8-Reino Unido	160179	<b>16-Brasil</b>	<b>90499</b>

**QUADRO 2– Ranking Mundial de emissão de CO<sub>2</sub>**

FONTE: Laboratório Nacional ‘*Oak Ridge*’, EUA (2004)

Uma das principais fontes de gases poluentes, no âmbito da construção civil, é a fabricação de materiais de construção pois, a indústria do cimento é a maior emissora de CO<sub>2</sub> sendo que, além do uso de combustíveis fósseis para a geração de energia térmica, ocorrem emissões adicionais pela calcinação durante a produção do clínquer. Portanto, a fabricação do cimento acaba sendo responsável por 4 a 5% de todo o CO<sub>2</sub> despejado na atmosfera por atividades humanas

(MARLAND, 2007). Na Figura 4, têm-se os compostos usados na fabricação do cimento.



**FIGURA 3 – Composição do cimento**

FONTE: Adaptado de Laroca (2001)

A construção de uma habitação consome recursos naturais e gera resíduos em toda a cadeia produtiva dos materiais utilizados na obra, desde a extração e beneficiamento até a demolição dos mesmos. Entretanto, existem alguns impactos que não são explícitos, como a mineração que geralmente, requer o uso de água, energia, solo e produz quantidades significativas de ácidos e gases contaminados de metais pesados. A madeira ocupa grandes extensões de terra, uso de fertilizantes e consumo de energia em equipamentos para preparo do solo e derrubada das árvores. O uso da madeira em edificações necessita de tratamento contra pragas e outros para preservação da superfície. Além disso, o mau planejamento do replantio das árvores danifica a biodiversidade original da região (LAROCA, 2001).

A fim de reduzir as emissões de poluentes, pesquisas científicas estão sendo realizadas para medir a participação da construção civil no aumento da poluição do meio ambiente (TAVARES, 2006).

O tamanho da magnitude dos impactos ambientais causados pela indústria da construção civil é desproporcional quando comparado com outros setores da indústria. O Quadro 3 mostra os impactos que a construção civil causa nas pessoas e no meio ambiente em uma pesquisa realizada nos Estados Unidos (BROWN, 2003).

<b>Problemas</b>	<b>Edifício como parte do problema</b>	<b>Efeitos</b>
Uso de matérias primas virgens	40 % das matérias primas como: pedra, cascalho e areia	Destruição da paisagem, desmatamentos, poluição das águas e do ar e enxurradas tóxicas de águas das minas.
Uso de madeiras virgens	25% para construção	Desmatamento, inundação e perda da diversidade biológica.
Uso de recursos energéticos	40% do uso total de energia	Poluição atmosférica, chuva ácida, represamento dos rios, resíduos nucleares e aquecimento global.
Uso de água	16% do uso de água	Poluição das águas e alteração nos ecossistemas das águas e da agricultura.
Produção de resíduos	Comparáveis com outros países industrializados	Problemas de aterro, tais como: lixiviação de metais pesados e poluição das águas.
Poluição do ar	Queda em 30% na qualidade interna do ar	Maior incidência de enfermidades que atinge muitas pessoas anualmente.

**QUADRO 3 – Impacto da construção civil ao meio ambiente**

FONTE: Brown (2003)

O processo de fabricação de materiais usados na construção civil contribui para o aumento da emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Existe uma grande preocupação em controlar o efeito estufa e, conseqüentemente a emissão de CO<sub>2</sub>, a fim de minimizar os impactos ambientais adversos. Estudos sobre o gasto energético para a produção e transformação de diferentes materiais de construção e a emissão de dióxido de carbono para o meio ambiente, estão sendo realizados na Nova Zelândia, Japão e Índia, entre outros países. A seleção de materiais e a escolha da tecnologia usada na construção da edificação devem satisfazer tanto às necessidades do usuário quanto às da sociedade, proporcionando desenvolvimento sem causar impactos negativos ao meio ambiente. Atualmente a conscientização sobre aspectos ligados ao meio ambiente tem aumentado no setor da construção civil (VENKATARAMA, JAGADISH, 2003).

A preservação do meio ambiente é um dos maiores motivos de preocupação a nível mundial e estão aumentando nos países desenvolvidos e em desenvolvimento. O aquecimento global, a redução da camada de ozônio, a destruição dos habitats naturais e a perda da biodiversidade são a causa de muita discussão nos foros internacionais. O aquecimento global e seus efeitos sobre a terra, é uma consequência a longo prazo e um dos maiores problemas é o acúmulo dos chamados gases de efeito estufa ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , etc) nas camadas superiores da atmosfera. A emissão desses gases é o resultado de intensas atividades humanas tais como a queima de combustíveis fósseis, o desmatamento e mudanças de uso da terra.

Para atingir os objetivos de sustentabilidade é necessário que seja adotado uma abordagem multi-disciplinar que abrange uma série de características, tais como: economia de energia, utilizar corretamente os materiais, reutilização e reciclagem e de controle das emissões (ASIF; KELLEY 2007).

## **2.3 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV)**

### **2.3.1 INTRODUÇÃO**

A Califórnia (EUA), no início dos anos 90, foi escolhida para ser o primeiro estado americano a receber veículos elétricos, como forma de combater a poluição causada por motores tradicionais a combustão. Considerando que, atualmente, a energia elétrica consumida por aquele estado provém essencialmente de combustíveis fósseis, o aumento da demanda de eletricidade poderia tornar o balanço de poluição negativo, comparado com a situação inicial, ou simplesmente deslocar o foco do problema. Da mesma maneira, o uso de embalagens descartáveis apresenta consequências mais negativas ao meio ambiente do que embalagens retornáveis? Para fazer esta análise, é necessário considerar todas as atividades conexas ao processo, como a coleta, o transporte, a lavagem e a desinfecção, o tratamento dos efluentes gerados, etc. A partir dessa contabilidade ambiental é que a comparação poderá ser feita com o ciclo de vida de uma embalagem virgem (SOARES; SOUZA; PEREIRA, 2000).

O princípio da análise do ciclo de vida consiste em analisar as repercussões ambientais de um produto ou atividade, a partir de um inventário de entradas e

saídas (matérias-primas e energia, produto, subprodutos e resíduos) do sistema considerado.

De acordo com a (GME) Guia Metodológica de Estudo do Ciclo de Vida do Chile (GME, 2001), com o propósito de fortalecer a prevenção da geração de resíduos, inicia-se o desenvolvimento de uma ferramenta chamada Análise do Ciclo de Vida (ACV), que em inglês denomina-se “Life Cycle Assessment” (LCA). Essa ferramenta permite estabelecer um inventário dos impactos ambientais associados a produtos e serviços.

As ACVs são uma ferramenta de gestão ambiental que tem como propósito comparar os impactos ambientais de um produto desde o “nascimento até a morte”. Essa técnica examina cada etapa do ciclo de vida desde a extração da matéria prima, seguido da extração, uso e manutenção, reuso e demolição. Para cada etapa se calculam as entradas (matérias primas e energia) e saídas (emissão ao ar, água e resíduos sólidos), que traduzem os impactos ambientais. A somatória desses impactos representa o efeito total ao ambiente do ciclo de vida do produto ou serviço. Realizar análises de ciclo de vida para produtos ou serviços não significa necessariamente que uma opção é ambientalmente superior à outra, e sim permite avaliar os intercâmbios associados para cada opção e oferece informação quantitativa para a tomada de decisões (GME, 2001).

A International Standardization for Organization (ISO) em sua norma 14040 define Análise de Ciclo de Vida como “compilação e avaliação de entradas e saídas (de matérias primas e recursos energéticos) e impactos ambientais potenciais de um produto através de seu ciclo de vida (TAVARES, 2006).

Uma razão fundamental para a realização de uma abordagem desta natureza está relacionada ao fato de que o consumo de matérias-primas e recursos energéticos, são considerados parâmetros para a condução de políticas econômicas nacionais e internacionais (EEA, 2002).

Pesquisas sobre desenvolvimento de métodos e estudos de ferramentas que auxiliem a compreensão, o controle e a redução de impactos ambientais indesejáveis, são estimuladas por interesses econômicos e sociais. A International Standardization for Organization (ISO) em sua norma 14040 define Análise de Ciclo de Vida como “compilação e avaliação de entradas e saídas (de matérias primas e recursos energéticos) e impactos ambientais potenciais de um produto através de seu ciclo de vida”. Como descreve Tavares (2006), as aplicações de

uma Análise do Ciclo de Vida (ACV) de um produto, dependem da interpretação dos resultados e da amplitude dos dados levantados, por esse motivo, as análises devem ser amplas e significativas. Podem ser relacionadas aos seguintes dados:

- Análise da origem de um problema relacionado a um produto ou serviço específico
- levantamento detalhado dos limites do processo de um produto incluindo insumos, transporte e descarte;
- orientação do design de novos produtos;
- determinação da energia embutida em um produto
- identificação das oportunidades de melhoria dos aspectos ambientais globais do produto;
- comparação de características ambientais e econômicas das variantes para um determinado produto;
- orientação à tomada de decisões e prioridades para desenvolvimento de produtos e, ou, políticas ambientais;
- avaliação do desempenho ambiental.

A análise do ciclo de vida pode ser aplicada em todo o processo de construção, tanto para aumentar os indicadores de sustentabilidade, quanto para minimizar os indicadores ambientais (ORTIZ, 2008). Sobre os indicadores ambientais, relaciona-se os Selos Verdes (europeus) e os Rótulos Ambientais (brasileiros), que são freqüentemente baseados em ACVs, fazendo com que empresas concentrem esforços para melhorar o gerenciamento do ciclo de vida de seus produtos. Em muitos países a indústria da construção civil é a grande causadora do aumento dos índices de poluição ambiental (TAVARES, 2006).

O conhecimento de como realizar uma Análise do Ciclo de Vida está se desenvolvendo rápida e amplamente, sobretudo na Europa e América do Norte.

### 2.3.2 HISTÓRICO

De acordo com European Environment Agency (2009), os primeiros estudos a analisar os aspectos do ciclo de vida de produtos e materiais são datados no final dos anos sessenta e início dos anos setenta e baseados em questões como a eficiência energética, consumo de matérias primas e a eliminação de resíduos. Em 1969, a Coca-Cola financiou um estudo para estimar os efeitos ambientais do uso de dois diferentes tipos de embalagens para refrigerantes. Contudo, na Europa, foi desenvolvida uma abordagem semelhante conhecida como “*Ecobalance*” (equilíbrio ecológico), que a partir de 1985 tornou-se uma referência obrigatória para o monitoramento de consumo de matérias primas e energia e da geração de resíduos na fabricação dos produtos. Em 1972, no Reino Unido, Ian Boustead<sup>1</sup>, calculou o total de energia utilizada na produção de vários tipos de recipientes para bebidas, incluindo vidro, plástico, aço e alumínio. Em 1979 publicou o manual “*Industry Energy Analysis*”.

Mas, foi a partir dos anos oitenta quando houve um incremento na aplicação da ACV, quando se desenvolveram as mudanças importantes dentre elas: os métodos para quantificar o impacto do produto em diferentes categorias de problemas ambientais como o aquecimento global e esgotamento de recursos.

A “*Society of Environment Toxicology and Chemistry*” (SETAC), é a principal organização que desenvolve as pesquisas científicas a respeito da ACV. Em 1993, formulou o primeiro código internacional: Código de práticas para ACV, a fim de homogeneizar os estudos realizados para que seguissem uma mesma metodologia. Isto impulsionou o início de estudos maciços de ACV em diversas áreas de interesse mundial. Posteriormente, a ISO apoiou este desenvolvimento estabelecer uma estrutura de trabalho, uniformizar métodos, procedimentos e terminologias. Após trinta anos a ACV teve um grande avanço em vários setores da indústria como: embalagens, química, materiais de construção e sistemas energéticos (RODRIGUEZ, 2003).

---

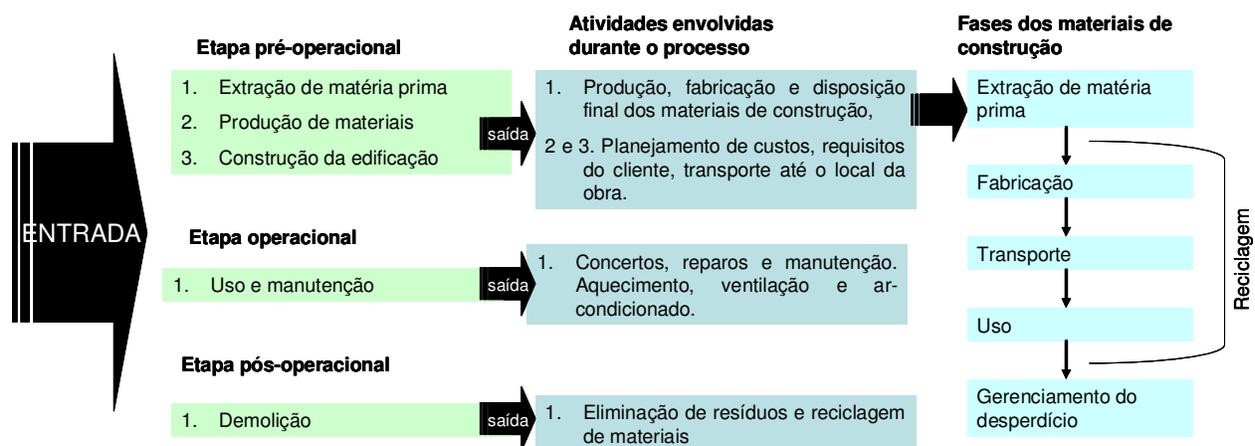
<sup>1</sup> LCA – How it Came About, The beginning in the UK, Ian Boustead in the Internacional Journal of Life cycle Assessment, 1996.

### 2.3.3 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DA EDIFICAÇÃO

Por um lado, o setor da construção civil é altamente industrializado e ativo e pode causar flutuações na macroeconomia, como alteração nos indicadores do produto interno bruto (PIB), devido às altas taxas de investimento e de contribuição para o crescimento em empregos. Mundialmente, em 2001, este setor representou 10% do PIB mundial com uma produção anual de três milhões de euros, dos quais 30% na Europa, 22% nos Estados Unidos, 21% no Japão e 23% nos países em desenvolvimento, gerando 111 milhões de empregos. Na Espanha, em 2005, a indústria da construção civil fez crescer a economia em 17,8%.

Por outro lado, este setor é responsável por impactos ambientais adversos, de alto consumo de energia, geração de resíduos sólidos, emissão de gases para o efeito estufa e o esgotamento dos recursos naturais (ORTIZ, 2008). De acordo com o mesmo autor, a análise do ciclo de vida, no setor da construção civil, é um importante método para se avaliar as edificações durante todo o processo, desde a extração de matérias primas, construção, operação e manutenção, até a eliminação final ou a demolição.

A partir disso, está ilustrado na Figura 5, a construção esquemática da análise do ciclo de vida de uma edificação, com a descrição das atividades de cada fase e seus devidos limites.



**FIGURA 4– Representação esquemática de uma ACV em uma edificação**

FONTE: Adaptado de Ortiz (2008)

Nas últimas décadas, a análise do ciclo de vida vem ganhando atenção de pesquisadores como uma maneira de avaliar os materiais de construção, especialmente em edificações residenciais. A construção civil é o setor da atividade humana que mais demanda energia e recursos naturais, em torno de 40 a 50% (LIPPIATT, 1989). Essa colocação se apóia no conceito do ciclo de vida da edificação, que se dá início na fabricação dos materiais de construção, passando pelo transporte dos mesmos até o local da construção. O ciclo de vida continua sua fase prolongando-se pela vida útil da edificação até a demolição e deposição final dos materiais (TAVARES, LAMBERTS, 2005).

A demanda de energia do mundo está projetada para ter um acréscimo de 71% entre o período de 2003 a 2030. Atualmente, a maioria do consumo energético está relacionado com os combustíveis fósseis e, apesar dos notáveis avanços na tecnologia de energias renováveis, é questionável se a demanda das novas tecnologias é suficiente. Qualquer avaliação global do consumo de energia em uma edificação deve considerar a totalidade do ciclo de vida da construção, que pode ser dividido em três fases: pré-operacional (energia embutida inicial), operacional (energia operacional) e pós operacional (demolição, reciclagem ou reutilização). A industrialização fez aumentar dramaticamente a intensidade do consumo de energia na fase pré-operacional, com o crescimento da construção civil e a produção de seus componentes como aço, alumínio, cimento, vidro e espuma de isolamento (HUBERMAN, PEARLMUTTER, 2007).

A Figura 6 representa essas etapas consideradas no ciclo de vida das edificações.



**FIGURA 5 – Ciclo de vida de uma edificação**

FONTE: Tavares (2005)

Neste contexto a expressão “o ciclo de vida das edificações” refere-se a todas as fases e estágios, desde o local de onde os materiais de construção são produzidos até a demolição da edificação.

Segundo Adalbert (1997), estudos sobre o total de energia utilizado durante o ciclo de vida da construção é relevante, considerando a urgente necessidade de economizar energia. A energia usada nas edificações durante o período de uso se tornou o foco principal de pesquisas, incluindo: aquecimento interno do ambiente, aquecimento da água e a energia elétrica, além de ser um importante instrumento de avaliação dos materiais e componentes da construção.

### 2.3.4 NORMALIZAÇÃO

A preocupação ambiental nas atividades industriais vem se tornando cada vez mais importante, aumentando a necessidade de uma política ambiental envolvendo atores externos e internos da atividade industrial. Cada vez mais as empresas deverão se adaptar dinamicamente, sendo de fundamental importância fatores como pessoal capacitado, estratégias e táticas, estruturas e procedimento, ferramentas e metodologias e, acima de tudo, o gerenciamento de seu processo produtivo.

As questões ambientais assumiram nos últimos anos um papel primordial no comércio internacional, tendo como consequência o surgimento de Normas e Certificações Ambientais, em âmbito nacional, regional e internacional. Surgem no final da década de 70 os rótulos ecológicos, os quais constituem a certificação ambiental de produtos que, muitas vezes, utilizados para fins puramente comerciais, já contribuíam para alertar os consumidores sobre a estreita relação existente entre as atividades econômicas e a natureza. Com o passar dos anos, esses rótulos ou selos ecológicos passaram a ter um significado nacionalista, constituindo barreiras técnicas e comerciais (BUSATO, 1996).

Em 1991, por ocasião da Segunda Conferência Mundial da Indústria sobre a gestão do Meio Ambiente, foi formulada pela Câmara de Comércio Internacional a Carta Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável, reunindo 16 princípios de gestão ambiental, que indicam os compromissos a serem assumidos pelas empresas e constituem a referência internacional de estratégia ambiental. É a partir desse documento que a gestão ambiental é identificada, por várias empresas, como um importante fator de sucesso, assegurando a aceitação dos produtos interna e externamente, sendo muitas vezes um fator decisivo para a sobrevivência de muitas delas. É nesse mesmo ano que se cria a Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, com aproximadamente 20 empresas, cujo objetivo é conscientizar os empresários para a necessidade de incluir a questão ambiental no gerenciamento de suas atividades (BUSATO, 1996). Organizações de todo o mundo passaram a ser cobradas, inclusive pelos seus clientes, por suas responsabilidades em impactos ambientais gerados por seus processos e produtos. De forma a criar um padrão que pudesse ser referência em todo o mundo, a ISO implanta em 1990 um comitê, TC 207, para estudos e

desenvolvimento de normas de gerenciamento ambiental, a série 14000. A primeira a ser editada em 1996 é a Norma ISO 14001, que a exemplo da ISO 9000 apresenta uma série de requisitos auditáveis de um sistema de gestão, neste caso, ambiental.

A importância adquirida pela ACV nos contextos da Gestão Ambiental e da Prevenção da Poluição fez com que a estrutura metodológica que a constitui acabasse por ser padronizada pela International Organization for Standardization (ISO), respectivamente na família 14040 da série ISO 14000. Foram lançadas até o ano de 2005 as normas técnicas dessa coleção, descritas no Quadro 4. (SEO; KULAY, 2006).

#### **2.3.4.1 SÉRIE ISO 14040 – GESTÃO AMBIENTAL**

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) estuda a complexa interação entre um produto e o ambiente, utilizando para tanto a avaliação de aspectos ambientais e dos impactos potenciais associados ao ciclo de vida do produto. Com o início de estudos de ciclo de vida sem métodos específicos, tornou-se necessária a padronização da metodologia e o estabelecimento de critérios rígidos para disciplinar a forma como estes estudos devem ser conduzidos (Mourad, 2002). Por esta necessidade, surgiram as normas da série ISO 14040, relativas a Avaliação do Ciclo de Vida, onde de acordo com Valt (2004), a maior contribuição para padronização desta técnica foi dada pela Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), que orientou os trabalhos de normatização internacional da ISO.

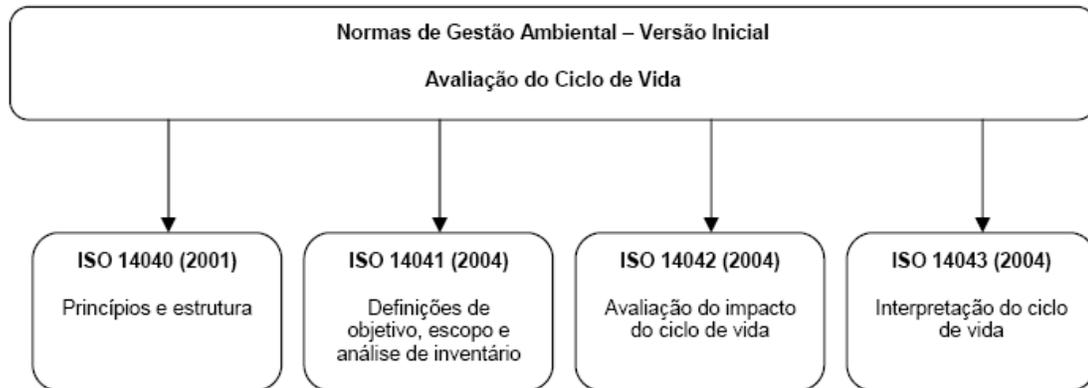
A série de normas ISO 14000 foi desenvolvida pela Comissão Técnica 207 da ISO (TC 207), como resposta à demanda mundial por uma gestão ambiental mais confiável, pois organizações de todo o mundo passaram a ser cobradas por suas responsabilidades em impactos ambientais gerados por seus processos e produtos e onde o meio ambiente foi introduzido como uma variável importante na estratégia dos negócios, e foi estruturada basicamente em duas grandes áreas: nas organizações empresariais e na gestão ambiental.

No plano internacional, às quatro normas citadas, são acrescentadas a ISO/TR 14047 (ISO/TR, 2003), que apresenta exemplos de aplicação, a ISO/TS 14048 (ISO/TS, 2002), que considera o formato de apresentação de dados, e,

finalmente, a ISO/TR 14049 (ISO/TR, 2000), que fornece exemplos de aplicação especificamente à definição de objetivos (ORTIZ, 2008).

Até o ano de 2006, a série das normas ISO 14040, era composta por quatro normas (Figura 7):

- ISO 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida - Princípios e Estrutura. Norma que especificava a estrutura geral, princípios e requisitos para conduzir e relatar estudos de avaliação do ciclo de vida, não incluindo as técnicas de avaliação do ciclo de vida em detalhes.
- ISO 14041: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida - Definições de objetivo e escopo e análise do inventário. Norma que orientava como o escopo deve ser suficientemente bem definido para assegurar que a extensão, a profundidade e o grau de detalhe do estudo sejam compatíveis e suficientes para atender ao objetivo estabelecido. Da mesma forma, esta norma orienta como realizar a análise de inventário, que envolve a coleta de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto.
- ISO 14042: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida - Avaliação do impacto do ciclo de vida. Norma que apresentava os princípios gerais para realização de avaliações de impacto, os componentes obrigatórios nestas avaliações, a seleção das categorias de impacto a serem estudadas e descreve as etapas de classificação e de caracterização.
- ISO 14043: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida - Interpretação do ciclo de vida. Norma que definia um procedimento sistemático para identificar, qualificar, conferir e avaliar as informações dos resultados do inventário do ciclo de vida ou avaliação do inventário do ciclo de vida, facilitando a interpretação do ciclo de vida para criar uma base onde às conclusões e recomendações serão materializadas no Relatório Final.

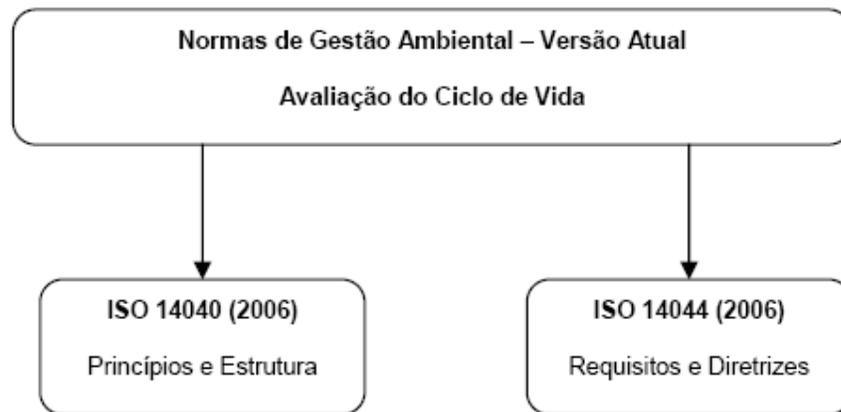


**FIGURA 7 – Normas de Gestão Ambiental. Avaliação do Ciclo de Vida. 1ª Edição**

FONTE: Hinz (2007)

Em 2006 estas normas foram analisadas e revisadas pelo TC-207, tornando-se apenas duas (sem alterações significativas em relação à versão anterior)

- **ISO 14040** - *'Life Cycle Assessment. Principles and Framework'* - Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e Estrutura. Norma que descreve os princípios e estrutura para Avaliação de Ciclo de Vida, incluindo: definição do objetivo e a extensão da ACV, a análise do inventário do ciclo de vida, a avaliação do impacto do ciclo de vida e a fase de interpretação (que informa e revisão crítica do estudo da avaliação do ciclo de vida). Porém não descreve em detalhes a técnica da ACV, nem especifica metodologias para as fases individuais do estudo.
- **ISO 14044** - *'Life Cycle Assessment. Requirements and Guidelines'* - Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e Diretrizes. Norma que especifica exigências e provê diretrizes para avaliação de ciclo de vida incluindo: definição da meta e extensão da avaliação do ciclo de vida, a fase de análise do inventário do ciclo de vida (ICV), a fase de avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV), a fase de interpretação do ciclo de vida, informando ainda a necessidade de uma revisão crítica da avaliação do ciclo de vida, suas limitações e a relação entre suas fases (Figura 8).



**FIGURA 8 – Normas de Gestão Ambiental. Avaliação do Ciclo de Vida. 2ª Edição**

FONTE: Hinz (2007).

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) surgiu da necessidade de se estabelecer uma metodologia que facilitasse a análise e a comparação dos impactos ambientais entre as atividades de uma empresa, incluindo seus produtos e processos. A partir dessa metodologia pode-se verificar que a prevenção à poluição se torna mais racional, econômica e efetiva do que uma ação na direção dos efeitos gerados. Um dos objetivos da ACV é estabelecer uma metodologia confiável que possa ser reproduzida com o objetivo de possibilitar a decisão da opção de menor impacto ambiental.

Segundo Pereira (2004), os resultados esperados de uma ACV são termos de uma comparação de desempenho ambiental entre processos. Por isso, necessita-se definir uma unidade funcional, de modo que as análises avaliem elementos que possam se intercambiar. Para exemplificar, o autor analisa uma ACV de material cerâmico onde, devido às dificuldades de se padronizar os blocos, define-se a unidade funcional como m<sup>2</sup> de parede construída.

Essa pesquisa quantifica a emissão de Dióxido de Carbono, através da análise do ciclo de vida, na fase pré-operacional, dos materiais utilizados na construção de dois modelos de habitação de interesse social.

### 2.3.4.2 FASES DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Para definição de estudos referentes à avaliação do ciclo de vida, detalhes e etapas devem ser estabelecidos e seguidos a fim de obter uma visão geral do processo. A norma ISO 14040:2006 apresenta a ACV estruturada em quatro fases:

- Objetivo e Escopo
- Análise do Inventário
- Avaliação de Impacto
- Interpretação

- a) Escopo: consiste na análise de alternativas disponíveis como a escolha de materiais, as unidades funcionais e o quantitativo de materiais necessários para um determinado uso. Este sistema seria subdividido em unidades de processo, etapas significativas de entrada de recursos e saídas de resíduos ou emissões. O objetivo deve declarar a aplicação pretendida, as razões para conduzir o estudo e o público alvo – para quem os resultados do estudo devem ser comunicados (EUROPEAN COMMISSION, 1997).
- b) Análise do Inventário: visa a quantificação do uso de recursos primários e secundários e as respectivas emissões geradas ao longo do ciclo de vida e fornece um quantitativo de entradas e saídas de acordo com o produto ou sistema, ou seja, matérias primas, material, emissões atmosféricas, efluentes e resíduos sólidos são examinados e avaliados (ASIF e KELLEY, 2005).
- c) Avaliação do Impacto Ambiental: De acordo com Tavares (2006), essa etapa é considerada a mais polêmica de uma ACV. Após os fluxos detectados na análise de inventário, são desenvolvidos critérios de valoração para riscos e impactos ambientais. A análise do impacto tem por objetivo, vincular a análise do inventário com os impactos ambientais associados, incluindo os seguintes elementos de estudo (GME, 2001):

- d) Interpretação dos Resultados: é a última etapa da ACV e busca responder as questões colocadas no escopo, estabelecendo os resultados obtidos nos estudos das etapas anteriores e nos problemas ambientais identificados. Os resultados de uma ACV são apresentados em relatórios, em função do objetivo e do solicitante da análise. Pelo menos um relatório deve ser completo e conter, além das etapas e fases descritas acima, todo o inventário com os dados levantados e a validação destes. Outros relatórios são elaborados apenas com os resultados, a interpretação e um resumo da metodologia utilizada. O propósito dessa etapa é formalizar as conclusões e recomendações com o objetivo de facilitar à tomada de decisões.

## **2.4 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO (ACVE) DAS EDIFICAÇÕES**

A qualidade ambiental tem sido afetada pelo ambiente construído, sendo a construção civil responsável pela maior parte do consumo de energia e das emissões atmosféricas em muitos países. Em função disso, pesquisas relacionadas à eficiência energética nas edificações têm focado principalmente sobre a quantidade de energia necessária para o funcionamento do edifício, enquanto a energia embutida na sua produção está muitas vezes esquecida. A demanda de energia mundial está projetada para aumentar em 71% até 2030. Atualmente a grande maioria desse consumo energético é baseada no consumo de combustíveis fósseis e, apesar dos avanços tecnológicos em energias renováveis, é questionável se essa trajetória satisfaz um ambiente sustentável (HUBERMAN E PEARLMUTTER, 2007).

A Análise do Ciclo de Vida Energético é uma forma simplificada para a condução de uma análise de impactos ambientais. Baseada na ACV preconizada na norma ISO 14040 esta análise prioriza o inventário de dados de consumo energético, diretos e indiretos. A ACVE fornece condições para avaliação de impactos ambientais importantes como a emissão de gases do efeito estufa. Além disso, por ter uma estrutura mais simples do que uma ACV completa, demanda menos custos e tempo na sua execução. Entretanto a proposta de uma ACVE não

é substituir um método de análise ambiental amplo como uma ACV, mas preferencialmente facilitar uma tomada de decisão a cerca de eficiência energética e dos impactos associados como, por exemplo, a geração de CO<sub>2</sub> (FAY, 2000).

Assim o conjunto dos requisitos energéticos, segundo a terminologia da norma ISO 14040 (ISO, 1997), é chamado Energia Total no ciclo de vida energético.

O ciclo de vida energético e outros impactos ambientais estão todos inclusos a fase da produção, uso, manutenção e descarte, deposição ou reciclagem das edificações. Existem quatro categorias distintas em um ciclo de vida energético:

**a) Energia embutida inicial**

Conjunto dos insumos energéticos, diretos e indiretos, utilizados para erguer a edificação. Os consumos diretos: são os realizados dentro dos limites da fábrica para a obtenção dos materiais de construção utilizados. Os consumos indiretos: extração e beneficiamento das matérias-primas dos materiais de construção, o transporte destas para as fábricas e dos produtos acabados para os canteiros de obras, e finalmente a energia despendida na obra propriamente dita.

**b) Energia operacional**

Uso de equipamentos, durante a vida útil da edificação, para suprir as necessidades de cocção, iluminação, entretenimento, climatização e profissionais.

**c) Energia embutida de manutenção**

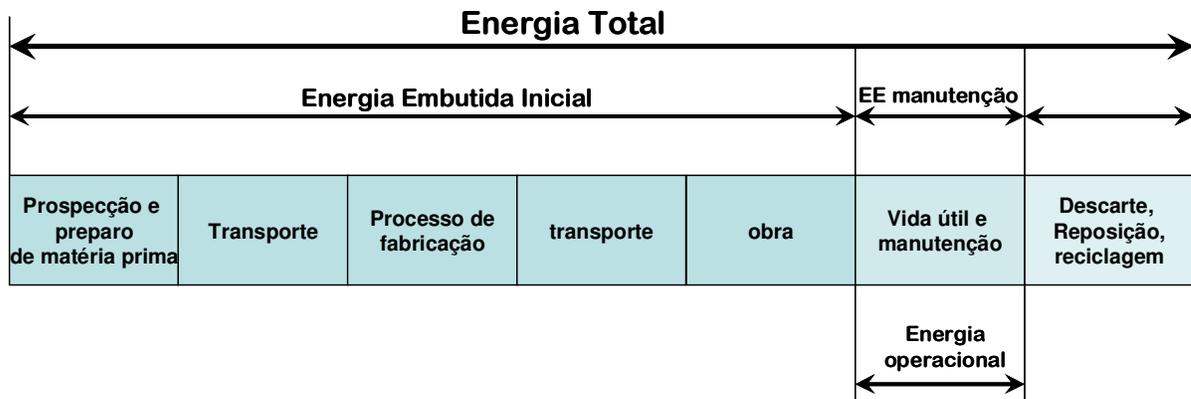
Durante esta etapa são executadas reformas e com isso, uso de materiais de construção e transporte. O conjunto dos insumos pode ser denominado Energia Embutida de Manutenção ou Energia recorrente.

**d) Energia de desconstrução**

Energia consumida na etapa final do ciclo por descarte, deposição ou reciclagem.

De acordo com os parâmetros descritos, numa Análise do Ciclo de Vida Energético em edificações, as unidades funcionais são GJ/domicílio ou GJ/m<sup>2</sup> e também KWh/m<sup>2</sup> para considerações específicas de energia elétrica (TAVARES, 2006).

Na Figura 9 , está ilustrado o ciclo de vida energético de uma edificação.



**FIGURA 6 - Ciclo de vida energético de uma edificação**

FONTE: Tavares (2006)

O conceito de Energia Embutida – EE é aceito e difundido no sentido de se otimizar e viabilizar as análises energéticas. Utiliza-se a terminologia de Energia Embutida para a determinação dos Requisitos de Energia nos materiais de construção e Edificações analisadas.

A energia utilizada durante a vida útil da edificação é dividida em: energia embutida, energia de operação e energia de demolição, sendo que a energia embutida pode se subdividir em: inicial e recorrente. A energia embutida inicial é a energia usada na produção do edifício enquanto a energia embutida recorrente é usada na manutenção e reparação de sua vida útil. O total de energia despendida inclui a energia usada na produção, transporte dos materiais e componentes da construção e a energia usada para os vários processos durante a produção e demolição (CHEN, BURNETT E CHAU, 2000).

## **2.4.1 MÉTODOS DE ANÁLISE DA ENERGIA EMBUTIDA**

A energia embutida, usada para definir o somatório dos requisitos energéticos de um produto ou serviço, é definida como o total de insumos energéticos diretos e indiretos, necessários para a fabricação e distribuição de um produto nas etapas pré-operacionais do ciclo de vida. A Energia Embutida (EE), em um bem ou serviço é obtida por quatro principais métodos: Análise de processo, Análise Estatística, Análise por matrizes Insumo x Produto e Análise Híbrida. (TRELOAR, 2001).

### **2.4.1.2 ANÁLISE DE PROCESSO**

De acordo com as definições de Treolar (2001), a análise de processo é baseada no estudo detalhado de todas as etapas de um processo de fabricação, discriminando os eventos de consumos energéticos diretos e indiretos em cada etapa. O principal inconveniente desse método é o tempo necessário para realizar uma análise detalhada mas, apesar disso, é bastante utilizada por produzir dados de boa precisão, com variações de 10%.

A pesquisa dessa dissertação é baseada na análise de processo, tendo como base os quantitativos de materiais de construção utilizados nos dois modelos de residências analisadas.

### **2.4.1.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA**

Realizada a partir de estatísticas de setores industriais, fábricas e órgãos do governo sobre os consumos energéticos de produtos ou categorias. Representa um método rápido e prático que necessita de dados confiáveis e consistentes (TAVARES, 2006)

#### **2.4.1.4 ANÁLISE POR MATRIZES INSUMO X PRODUTO**

Segundo Treloar (2001), as matrizes insumo x produto, relacionam os resultados financeiros de setores da economia definindo o fluxo da moeda entre eles. Após destacar os fluxos entre os setores produtores e consumidores de energia faz-se a relação de cada unidade de energia com a unidade de moeda correspondente. Assim são determinadas as tabelas com índices de consumo de energia em cada setor da economia para cada unidade de moeda produzida. Este método permite rastrear com mais precisão os vários níveis de consumo energético.

#### **2.4.1.5 ANÁLISE HÍBRIDA**

A análise híbrida envolve a combinação de duas análises: a análise de processo e a estatística ou insumo x produto e processo. A intenção do método da análise híbrida é reduzir os erros associados aos dois métodos que engloba essa análise (TRELOAR, 2001).

#### **2.4.2 APLICAÇÕES**

Estudos sobre o total de energia utilizado durante o ciclo de vida da construção é relevante, considerando a urgente necessidade de economizar energia. Pesquisas têm o foco principal na energia usada nas edificações durante o período de uso: aquecimento interno do ambiente, aquecimento da água e a energia elétrica.

Neste contexto a expressão "o ciclo de vida das edificações" refere-se a todas as fases e estágios, desde o local de onde os materiais de construção são produzidos até a demolição da edificação. A energia é necessária durante todos esses estágios. As fases envolvidas no processo da construção são apresentadas a seguir:

- a) Produção:
  - Fabricação
  - Transporte
  - Construção

- b) Gerenciamento
  - Ocupação
  - Renovação
  - ocupação
- c) Destruição
  - Demolição
  - Remoção

### 2.4.3 EXPERIÊNCIA SUECA

O propósito do estudo, realizado na Suécia, por Adalbert (1997) exemplificado a seguir, é demonstrar uma metodologia desenvolvida de como estimar o total de energia despendida durante o ciclo de vida da habitação.

A fim de poder calcular a energia utilizada durante o ciclo de vida da edificação, algumas definições e restrições devem ser feitas. Quando se calcula o montante dos materiais de construção, todas as quantidades devem ser incluídas: desde a escavação para a fundação até a chaminé do telhado.

Neste estudo a fase de gerenciamento é dada para 50 anos, pois a vida útil de um edifício na Suécia está em torno de 40 – 50 anos. A energia usada durante o período de gerenciamento é baseada em que nenhuma reforma ou expansão na edificação seja realizada nesse período. A energia é necessária sempre quando um material de construção começa a ser fabricado. O desperdício é expresso através de:  $w(\%)$ .

$Q_{manuf}$  – fabricação dos materiais de construção;

$Q_{transp.prod}$  – transportes de matérias primas e materiais acabados;

$Q_{rect}$  – consumo relativo à obra.

Os requisitos energéticos para a fabricação dos materiais de construção e sua aplicação em edificações são calculados pela fórmula abaixo:

$$Q_{manuf} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot (1 + w_i / 100) \cdot M_i$$

Onde:

$n$  = número de materiais,

$i$  = o material considerado,

$m_i$  = o total de material  $i$  utilizado na edificação (ton),

$w_i$  = o fator de desperdício do material  $i$  durante a obra (%) e

$M_i$  = requisitos energéticos de fabricação do material de construção  $i$  (GJ/ton).

A fim de poder calcular a energia usada durante a fase de renovação, algumas hipóteses relativas ao ciclo de vida dos vários materiais de construção existentes devem ser consideradas:

- Ciclo de vida da edificação: 50 anos
- Estrutura: 50 anos
- Piso parquet: 50 anos
- Canalização de água e fios elétricos: 50 anos
- Canais de ventilação: 50 anos
- Painéis de madeira: 30 anos
- Armários e guarda-roupas: 30 anos
- Telhas e calhas: 30 anos
- Carpete de plástico: 17 anos
- Aquecedor de água: 16 anos
- Pintura e papel de parede: 10 anos.

Esses ciclos de vida são coletados da norma da Organização Municipal “Housing Companies” em Estocolmo, Suécia.

Os principais materiais de construção são substituídos conforme a fórmula abaixo:

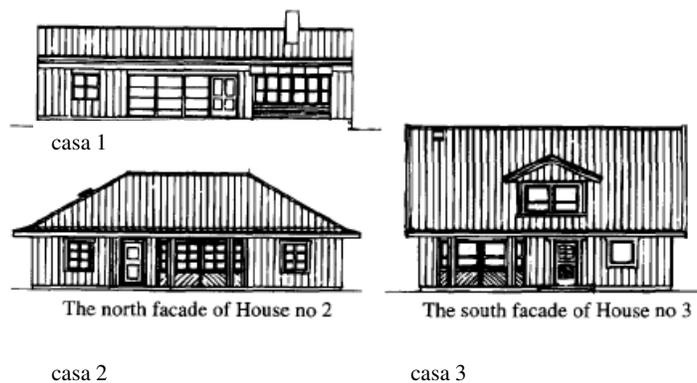
$$\frac{\text{Ciclo de vida da edificação}}{\text{Ciclo de vida do material}} - 1$$

Por exemplo: o carpete de plástico possui ciclo de vida de 17 anos. Utilizando a fórmula acima, tem-se que, o carpete de plástico será substituído 1,9 vezes pois  $50/17 - 1 = 1,9$ .

A energia usada para produzir os materiais durante a reposição/renovação:  $Q_{manuf/renov}$  (kWh), é determinada da seguinte maneira:

$$Q_{manuf} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot (1 + w_i / 100) \cdot M_i \cdot \frac{\text{Ciclo de vida da edificação}}{\text{Ciclo de vida do material}} - 1$$

Três unidades de habitações simples foram estudadas com relação à energia usada em todo o ciclo de vida. As habitações foram construídas na Suécia em 1991- 1992. As figuras abaixo mostram as fachadas das respectivas construções:



**FIGURA 7** - Fachadas das construções analisadas

Fonte: ADALBERT (1997)

As casas são unifamiliares e pré fabricadas. A indústria fabrica as paredes externas e o vigamento de madeira os quais são transportados para o local da obra. As fachadas das casas são revestidas com painéis de madeira e a estrutura é feita em madeira. O material isolante usado nas paredes e cobertura consiste em lã de vidro. Os telhados são revestidos com telhas de concreto.

As edificações analisadas estão equipadas com equipamentos mecânicos de exaustão de ar e ventilação. Para economizar no uso das instalações e

componentes de aquecimento, o sistema de calor está integrado com o sistema de ventilação. Paredes externas, pisos e coberturas são bem isolados termicamente, mas não o usual para as condições climáticas da Suécia.

Além de estimar a energia usada na fabricação dos materiais de construção, as quantidades de materiais de construção devem ser calculadas. Neste caso, entretanto, a quantidade de massa de construção, macadame e cola comum bem como equipamentos de ventilação e dispositivos de fornecimento de ar não foram incluídos.

No Quadro 6, mostrado abaixo estão representadas as características das habitações:

<b>Unidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>Casa 1</b>	<b>Casa 2</b>	<b>Casa 3</b>
Área de piso	m <sup>2</sup>	130	129	138
Volume	m <sup>3</sup>	347	310	315
Moradores		5	5	5
Nº pavimentos		1	1	2
Entrada e saída de ar Pressão=50Pa	m <sup>3</sup> /	3.8	2.4	2.1
Temperatura interna	C	20	20	20
<b>MUDANÇA DE AR - CATEGORIAS</b>				
• Telhado	W/(m <sup>2</sup> K)	0.09	0.09	0.09
• paredes externas	W/(m <sup>2</sup> K)	0.15	0.17	0.17
• fundação	W/(m <sup>2</sup> K)	0.26	0.27	0.29
• portas	W/(m <sup>2</sup> K)	0.69	0.69	0.69
• janelas	W/(m <sup>2</sup> K)	1.63	1.36	1.36
<b>ÁREA DAS JANELAS</b>				
• norte	m <sup>2</sup>	4.6	6.8	6.0
• leste	m <sup>2</sup>	3.4	---	5.5
• sul	m <sup>2</sup>	15.6	8.4	10.0
• oeste	m <sup>2</sup>	1.1	1.4	2.8

**QUADRO 4 - Características das habitações analisadas**

Fonte: ADALBERT (1997)

O concreto compõe a maior parte do material de construção utilizado nas três unidades de habitação analisadas sendo, no total, 65-75% da quantidade do peso. Em seguida tem-se a madeira, com 12-21% do peso e depois o gesso variando de 6-7% do peso total. A razão para a grande proporção de madeira é que as casas possuem painéis e estruturas de madeira. É interessante observar que a proporção de plástico está entre 1-2%, considerando que a energia gasta para a fabricação do plástico soma não menos que 18-23% .

O total da energia usada na fabricação dos materiais de construção utilizados nas moradias 1, 2 e 3 mede respectivamente, 900, 870 e 730 kWh/m<sup>2</sup> considerando área útil do piso. A razão para o baixo uso da energia na moradia 3 é em função de possuir 2 andares.

Baseado em hipóteses no ciclo de vida dos vários materiais, a quantidade de materiais renováveis pode ser calculada. As principais quantidades as quais demonstram a energia usada na fabricação de materiais renováveis. Uma grande proporção dos materiais renováveis é composta de concreto. A razão da preponderância do concreto é que as telhas das casas são feitas de concreto.

Os materiais são transportados da fábrica até as obras durante a construção da obra e também durante o uso da mesma. No caso de demolição ou renovação dos materiais de construção, os materiais devem ser removidos. Este estudo assume que há uma eliminação de resíduos vegetais aonde essas casas foram construídas. A distância da transportação é de 20 km.

Grande parte da energia gasta durante a construção foi utilizada para aquecimento do local da obra e para escavação e remoção do solo. A principal razão para a diferença no processo de uso da energia se dá em função da grande quantidade de solo que foi escavado. A casa 1 necessitou de mais energia para a escavação e remoção do solo do que as outras, em função do tipo de fundação.

Durante os anos, a energia gasta nas residências é utilizada para o aquecimento interno, aquecimento da água e eletricidade. A energia usada durante esse período foi calculada através de um programa de computação sueco. O valor estimado dos gastos energéticos foram definidos:

- aquecimento da água:  $5 \times n^{\circ}$  de cômodos +  $0,05 \times$  área útil do piso (KWh/24hs),

- eletricidade doméstica:  $4,5 \times n^{\circ}$  de cômodos -  $0,045 \times$  área útil do piso (KWh/24hs)

Concluindo esse estudo acima descrito, três importantes recomendações podem ser articuladas com base nas análises: as casas necessitam de pouca energia na fase da ocupação, deve se fazer um acompanhamento e monitoramento na fase da construção, os materiais de construção selecionados devem requerer pouca energia.

## **2.5 UTILIZAÇÃO DE CAD (Computer Aided Design) BIM (Building Information Modelling) NO DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS**

Ferramentas Building Information Modeling (BIM) representam uma nova geração de ferramentas CAD orientadas ao objeto que gerenciam a informação da construção no ciclo de vida do projeto. Inicia-se um novo caminho a ser explorado pelos profissionais que atuam na área de Arquitetura, Engenharia e Construção em direção à colaboração, interoperabilidade e reutilização da informação. Esta abordagem visa à competitividade e melhoria contínua no processo de desenvolvimento do projeto.

BIM requer de seus usuários habilidade de domínio específico para que os objetos modelados mostrem o comportamento inteligente, impondo uma prática que vai mais além do que as questões operacionais do trabalho. A linguagem passa a ser vista não apenas no seu aspecto descritivo, mas como uma forma de ação dirigida para uma orientação mútua, com geração do conhecimento e troca mútua das informações para a melhoria da qualidade final do projeto. Neste sentido, o presente trabalho propõe apresentar os resultados da pesquisa através do uso de uma ferramenta BIM.

### **2.5.1 CONSIDERAÇÕES**

Tanto os sistemas CAD que utilizam objetos paramétricos quanto os baseados em primitivos geométricos surgiram no início da década de 1980. Contudo, a capacidade de processamento necessária para a representação de primitivos geométricos é muito menor, e por isso o CAD geométrico se adaptou melhor aos equipamentos disponíveis na época, dominando o mercado de

softwares de projeto pelas duas décadas seguintes (TSE et al., 2005). No final da década de 1990, pressões por maior produtividade e qualidade nos processos projetuais e construtivos, além da popularização dos computadores com maior capacidade de processamento, fizeram ressurgir a discussão iniciada nos anos 80 a respeito das duas abordagens empregadas pelos CADs. A abordagem por objetos paramétricos nos CADs é agora denominada BIM (Building Information Modeling) que, em português significa – Modelo do Edifício Integrado (TSE et al., 2005). Enquanto nos CADs geométricos o objetivo principal é a produção de desenhos, o princípio da abordagem BIM é auxiliar no processo de criação e gerenciamento de informações relacionadas à construção, de modo integrado, reutilizável e automatizado, gerando um modelo digital do edifício ao invés de uma série de desenhos. (LEE et al., 2006).

Dentro das inovações da Tecnologia da Informação, a tecnologia CAD é considerada uma das mais importantes das últimas quatro décadas. As tecnologias CAD oferecem recursos como: ferramentas de automação de desenho e projeto, ferramentas de comunicação e compartilhamento de projeto e banco de dados. Um histórico da evolução dessas tecnologias revela três gerações distintas: A primeira geração é composta pelo desenho auxiliado por computador; a segunda pela modelagem geométrica; e a terceira pela modelagem de produto. A terceira geração da tecnologia CAD teve o seu início no final da década de 80 e o principal objetivo foi a integração de informações geométricas com dados não geométricos através do estabelecimento de relacionamentos associativos e paramétricos. As informações geométricas abrangem as características espaciais do objeto como a forma, a posição, e as dimensões. Dados não geométricos incluem características como custo, material, peso, resistência, entre outros (KALE & ARDITI, 2005).

Segundo as definições de Sperling (2002), o termo BIM (*Building Information Modelling*) é modelagem de produto no projeto de edificações e o impacto mais visível dessa tecnologia sobre o processo de projeto é a forma pela qual ocorre a geração das informações.

No processo utilizando a tecnologia BIM, os modelos virtuais podem ser entendidos como bases de dados onde são armazenados tanto os dados geométricos, como os textuais de cada elemento construtivo utilizado no projeto. A combinação desses dados permite a extração automática de documentos como plantas, cortes, perspectivas ou quantitativos. A atenção do projetista é, portanto,

destinada primordialmente às soluções projetuais e não aos desenhos técnicos, que são em boa parte gerados automaticamente pelo computador (BIRX, 2006).

Em alguns casos interpreta-se o BIM como uma aplicação computacional, uma ferramenta que, como tal, deve ser usada mas não deve influenciar as grandes diretrizes de gerenciamento do trabalho de projeto e construção. No entanto, o arranjo de informações para construção é uma tarefa da qual dependem diversos conceitos altamente elaborados. Essa tarefa só pode ser conduzida graças às novas ferramentas computacionais. No entanto, formular e utilizar um BIM corretamente influencia a maneira de trabalhar nos empreendimentos de construção.

As vantagens do uso da modelagem vão muito além da criação de maquetes eletrônicas e agilização do processo de produção de documentações projetuais. Assim como nas indústrias metal-mecânica, manufatureira e aeroespacial, a visualização tridimensional do modelo permite verificar as inadequações e incompatibilidades instantaneamente, auxiliando nos processos de decisão de maneira intuitiva, em todas as etapas do projeto. Outro ponto importante é a consolidação das informações que constituem o projeto. Uma vez que se utiliza uma base de dados unificada para todo o conteúdo de informação, as modificações em um determinado documento (por exemplo, uma planta baixa do projeto arquitetônico), propagam-se para os demais documentos envolvidos automaticamente, garantindo assim a agilidade nas atualizações, modificações e confiabilidade no acesso às informações.

Algumas ferramentas informatizadas disponíveis no mercado, como, por exemplo, Sima-pro (<http://www.simapro.com>), Gabi IV (<http://www.pe-europe.com>), Team ([www.ecobalance.com/uk\\_team.php](http://www.ecobalance.com/uk_team.php)) e Umberto (<http://www.umberto.de/>), pode facilitar a operação. Elas normalmente contêm bancos de dados tão atualizados quanto possível de fluxos elementares de produtos (Ecoinvent (<http://www.ecoinvent.ch/>)), Buwal (<http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/eng/index.html>), Franklin (<http://www.fal.com/>), etc.) e gerenciam modelos de avaliação de impacto. Todos os sistemas citados permitem a incorporação e a atualização de dados. Ou seja, pode-se realizar uma ACV a partir de dados estocados nos bancos pré-existentes ou então executá-la a partir de dados de campo, específicos a uma situação de interesse. Estudos realizados em diferentes setores da indústria da construção civil indicam a grande variedade de campos de aplicação da Avaliação

do Ciclo de Vida em edificações e sistemas e elementos construtivos. De forma similar, a ACV também foi aplicada a outros elementos construtivos, tais como janelas, emolduradas em PVC ou outros materiais, tais como alumínio (EUROPEAN COMMISSION, 2004), e em diferentes sistemas estruturais, de madeira, aço ou concreto (BUCHANAN; HONEY, 1994 apud GLOVER, 2001), para os quais o consumo energético e de matéria-prima é analisado juntamente com os impactos ambientais resultantes dos processos de produção desses elementos, componentes ou sistemas.

As ferramentas BIM representam um novo caminho para a representação do Edifício Virtual, onde objetos digitais são codificados para descrever e representar componentes do ciclo de vida da edificação. A ferramenta BIM - ArchiCAD da Graphisoft, foi uma das primeiras, comercialmente disponível no mercado de softwares (IBRAHIM, 2004).

A ferramenta citada acima, ArchiCAD, foi a utilizada nessa pesquisa como método de análise de emissão de CO<sub>2</sub>, através do quantitativo dos materiais de construção utilizados para edificar os dois modelos de casas analisadas. Para isso foram projetadas as duas residências distintas, uma em madeira e outra em alvenaria (COHAB-CT) e, ao final, através da análise do quantitativo de materiais de construção, o sistema fornece um relatório de emissão para cada projeto.

## **2.5.2 OBJETOS PARAMÉTRICOS E MODELAGEM DO PRODUTO**

De acordo com Scheer; Ayres (2007), a visualização em três dimensões (3D) acrescentada pelo uso de um CAD 3D aumenta a quantidade de informações do projeto. Entretanto, os CADs 3D apresentam a mesma característica de fragmentação da informação dos CADs geométricos, tornando difícil a produção de informações estruturadas, que normalmente constituem o núcleo da documentação de um projeto (plantas, cortes, elevações, etc.). Faltam mecanismos que permitam a seleção e visualização parcial das informações, que são essenciais ao projeto arquitetônico. Enquanto em um CAD geométrico a informação pode ser compartimentada em arquivos diferentes, a representação tridimensional de um edifício só faz sentido se o elemento representado for o mesmo tanto no arquivo quanto no edifício construído. Apesar de ser uma vantagem em relação ao CAD geométrico, a presença de todos os elementos geométricos em um mesmo local

não garante a estruturação e a possibilidade de extração de informações, principalmente na forma de documentação projetual.

Cada elemento construtivo tem características e representações próprias, e o CAD considera essas distinções na representação, melhora a qualidade da informação e facilita a geração dos desenhos. Essa distinção auxilia o usuário a perceber o tipo do elemento que está sendo apresentado, tornando as informações mais precisas e confiáveis. Por exemplo, ao invés de representar paredes através de linhas paralelas, utiliza-se o elemento parede, que além de ser armazenado e interpretado pelo computador como a representação de uma parede, possui um comportamento específico que inclui: se estender apenas longitudinalmente (a extensão transversal é a espessura), possuir determinada altura, a capacidade de receber aberturas (portas e janelas), se associar corretamente a outros elementos parede (eliminando arestas desnecessárias nos encontros de elementos), etc. Além disso, o elemento parede possui informações relativas à sua composição e aparência: material de acabamento, de revestimento, do núcleo; e também informações utilizadas na representação bidimensional do elemento: cor, espessura do traço, hachura, etc. (IBRAHIM et al., 2004). Essas características específicas de cada objeto são chamadas de parâmetros, de onde surge o nome da representação virtual do elemento construtivo: objeto paramétrico. A riqueza de informações proporcionada pelo uso de objetos paramétricos possibilita a extração automática de diversos tipos de representações de determinado elemento construtivo, sem que haja a necessidade de redesenhá-lo. Como existem parâmetros que determinam a representação em cada situação (planta, corte, elevação e perspectiva, etc.), a visualização passa a ser função de uma escolha do usuário, e não da geração manual de um desenho adicional.

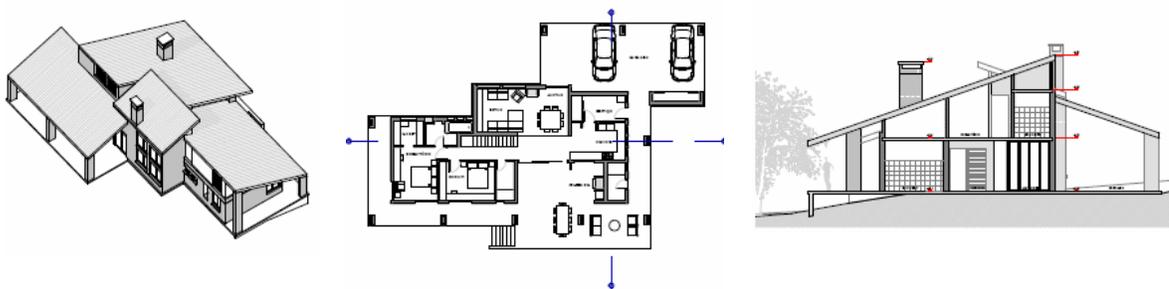
Uma detalhada representação tridimensional é essencial para qualquer sistema CAD BIM (LEE et al., 2006). Porém em projetos arquitetônicos, a visualização faz parte de um processo conjunto de modificações e verificações sucessivas, que leva ao produto final (BOUCHLAGHEM et al., 2005)

As ferramentas CAD BIM vão muito além da confecção de perspectivas ou maquetes eletrônicas. A geração de elementos tridimensionais pretende auxiliar a antever o resultado espacial das escolhas de projeto e eliminar as possíveis interferências entre os elementos construtivos e erros antes do início da construção. Esse processo de análise prévia, baseada em modelos ou protótipos

virtuais, já é prática comum nas indústrias manufatureira, metal-mecânica e aeroespacial, sendo conhecido como modelagem do produto (HUANG et al., 2007).

De acordo com (IBRAHIM et al., 2004), nos CADs BIM, a modelagem do produto inclui o conceito de “edifício virtual”: um conjunto de objetos paramétricos representando a edificação em ambiente virtual. Desse conjunto de objetos são extraídas automaticamente as representações, documentações, relatórios quantitativos, especificações dos materiais, análises físicas, etc. Isso é possível porque os CAD's BIM estruturam o modelo como bases de dados contendo as informações de cada objeto paramétrico e a partir do acesso centralizado à elas realizam-se processamentos complexos e a geração de documentações estruturadas automaticamente. A centralização da informação permite que as atualizações sejam facilmente registradas e modificações em uma parte do projeto propagam automaticamente atualizações em outras.

O mesmo autor acima citado acredita que o nível de informação pode ser controlado, de acordo com a necessidade, desde o layout do projeto até detalhamentos construtivos ou análises de desempenho ao final. Os objetos paramétricos podem também ser referências diretas a produtos desenvolvidos por fabricantes, como janelas, peças pré-fabricadas, acessórios, etc. Estes objetos e suas atualizações podem ser obtidos diretamente via internet e futuramente ajustarem de modo automático o seu comportamento aos aspectos do projeto. Por exemplo, objetos representando peças estruturais, que se configuram automaticamente de acordo com os vãos e tipos de apoios definidos. Na figura 11, é demonstrado como uma ferramenta BIM, nesse caso, o Archicad, facilita a visualização do projeto.



**FIGURA 8- Exemplo de projeto realizado no ArchiCad. Modelo virtual, planta baixa e corte.**

FONTE: Scheer; Ayres (2007)

Para Birx (2006), BIM deve ser considerada uma evolução do processo de projeto, tendo em vista as novas possibilidades de visualização e processamento da informação. Entre as principais vantagens têm-se uma melhor coordenação dos elementos construtivos e suas interferências, redução das horas de trabalho, aumento da produtividade, desenhos e detalhamentos de melhor qualidade, controle centralizado do conteúdo e das versões dos documentos do projeto. Uma desvantagem dos CADs BIM, é que ainda ocupam uma parcela reduzida do mercado de softwares para projeto o que isola o profissional em relação ao restante da cadeia produtiva que utiliza outros tipos de CAD (BIRX, 2006).

Outros desafios a serem superados pela tecnologia incluem o custo dos equipamentos e treinamento, escassez de profissionais treinados, o estado ainda incipiente de alguns CADs BIM, e a definição de protocolos de interoperabilidade entre os diferentes sistemas.

### **2.5.3 FERRAMENTA CAD BIM, ARCHICAD**

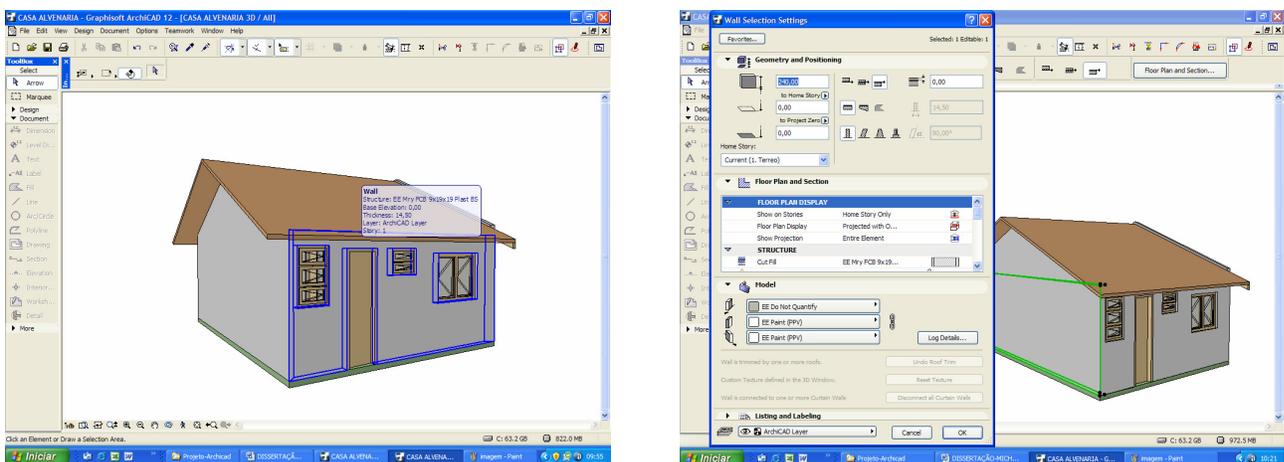
O ArchiCAD é uma ferramenta BIM desenvolvido pela *Graphisoft Virtual Building Explorer* (VBE), a qual é utilizada nessa pesquisa. Os usuários podem navegar através dos modelos virtuais usando diferentes renderizações que concilia a facilidade de utilização com funcionalidades únicas como:

- a) Edifício Virtual: a informação sobre o edifício fica concentrada em um banco de dados central e qualquer alteração feita é visível em todo o tipo de vistas, planos e modelos 3D do edifício.
- b) Objetos Inteligentes: os elementos de construção como portas, janelas, colunas entendem e reagem ao ambiente em que estão, acelerando o trabalho e facilitando a gestão do projeto.
- c) Trabalhar em 3 Dimensões: possibilidade de pensar e editar em modo 3D em tempo real.

- d) Visualização Instantânea: as ferramentas de renderização são muito simples de utilizar, havendo a possibilidade de criar animações de realidade virtual (VR) dentro do ArchiCAD.
- e) Documentação eficiente: os documentos e dados necessários à construção do edifício (materiais, dimensões, custos, etc.) podem ser gerados a partir do modelo projetado.
- f) Trabalho em grupo: o ArchiCAD permite partilhar o projeto por vários colegas, distribuí-lo a clientes ou consultores ou ainda visualizá-lo via web.

O ArchiCAD fornece controle sobre o projeto mantendo a precisão e a eficiência na documentação. O banco de dados centralizado é vinculado às construções de cada projeto como paredes, andares, portas, janelas e coberturas. Os projetos em geral: cortes, plantas, listas de componentes, tabelas de esquadrias, maquetes eletrônicas, animações e cenas em realidade virtual, são gerados automaticamente.

Para ilustrar o uso dessa ferramenta, encontra-se a seguir, na Figura 12, duas imagens geradas através do ArchiCAD. O projeto renderizado faz parte do estudo de caso e demonstra um dos modos de visualização e como as especificações são mostradas.



**FIGURA 9 – Protótipo teste realizado para demonstração no ArchiCad.**

As informações relativas ao que é selecionado são mostradas como, por exemplo, seleciona-se o elemento parede, então as informações como altura, largura, profundidade, especificação de material, acabamento e outras informações que se pode agregar ao banco de dados, aparecem no visor. No caso dessa pesquisa, informações relativas à energia embutida referente a cada material de construção utilizado para construir as casas estudadas, são agregadas ao banco de dados. Através disso, tem-se os dados de emissão de CO<sub>2</sub>.

O uso de ferramentas para avaliar impactos ambientais que agregam informações ao projeto desenvolvido facilita as análises de gastos energéticos, emissão de poluentes ao meio ambiente, entre outros fatores. Com isso, tem-se a possibilidade de atenuar problemas ambientais a partir do projeto, antes mesmo de se iniciar a obra propriamente dita.

### **3 MÉTODOS DE PESQUISA**

Este capítulo apresenta uma descrição do método de pesquisa utilizado para a realização deste trabalho. O capítulo inicia com a descrição da escolha da filosofia e estratégia de pesquisa utilizada no seu desenvolvimento. Posteriormente são apresentados o delineamento do processo de pesquisa e a descrição das etapas e dos métodos e técnicas para a coleta de dados empregados.

#### **3.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA**

No campo da pesquisa, existe ampla literatura dedicada a buscar melhorias na concepção dos projetos para a população de baixa renda. Porém, há um volume de literatura bem menor quando se trata especificamente das análises energéticas e de emissão de poluentes ao meio ambiente referente aos materiais e componentes da construção. Em virtude da implantação de alguns programas habitacionais de interesse social no Brasil, há a necessidade de formalizar e desenvolver conhecimento sobre este tema. Além disso, de acordo com o Jornal Folha Online (2009), o Presidente da República, Luis Inácio Lula da Silva, diz que o mercado deve atingir a meta de financiamentos de 500 mil unidades de habitação de interesse social neste ano de 2009 e 500 mil até o final de 2010. Os maiores benefícios do plano serão direcionados para os trabalhadores com renda de até dez salários mínimos (R\$ 4.650,00). Segundo estimativa do governo é nessa camada da população que estará a maior parte da demanda por imóveis nos próximos 15 anos (mais de 70%). Deve existir uma conscientização dos construtores sobre a problemática da poluição ambiental causada pelo processo de construção das edificações, assim um dos problemas causadores do efeito estufa poderia ser amenizado.

É importante discutir os problemas e as soluções implementadas com profissionais e acadêmicos que desenvolvem pesquisas na área de construção de habitações de interesse social. Assim, as novas gerações de arquitetos, engenheiros e tecnólogos poderão melhorar a prática profissional, incluindo soluções que diminuam as emissões de gases poluidores na cadeia da construção civil.

Esta pesquisa contribui para o estudo, projeto e aplicação de técnicas construtivas em que as condições ecológicas e bioclimáticas sejam prioridades, voltado para a construção de habitações de interesse social as quais emitam menos quantidade de poluentes ao meio ambiente. A pesquisa permite investigar e preservar as características significativas dos eventos da vida real, tais como ciclos de vida individuais e mudanças ocorridas em regiões urbanas.

O presente trabalho pretende fazer uma análise em dois modelos de habitação de interesse social, uma construída nos métodos convencionais e outra construída em madeira e responder ao seguinte problema de pesquisa: “**Como avaliar os índices de emissão de CO<sub>2</sub>, na fase pré-operacional da construção de habitações de interesse social através do uso de uma ferramenta CAD-BIM?**”

Pode-se dizer que a classificação dessa pesquisa quanto à natureza:

- Pesquisa Aplicada: objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigida à solução de problemas específicos. (GIL, 2002).

Do ponto de vista da forma de abordagem do problema:

- Pesquisa Quantitativa: Requer o uso de métodos e técnicas estatísticas e segue um plano previamente estabelecido (GIL, 2002).

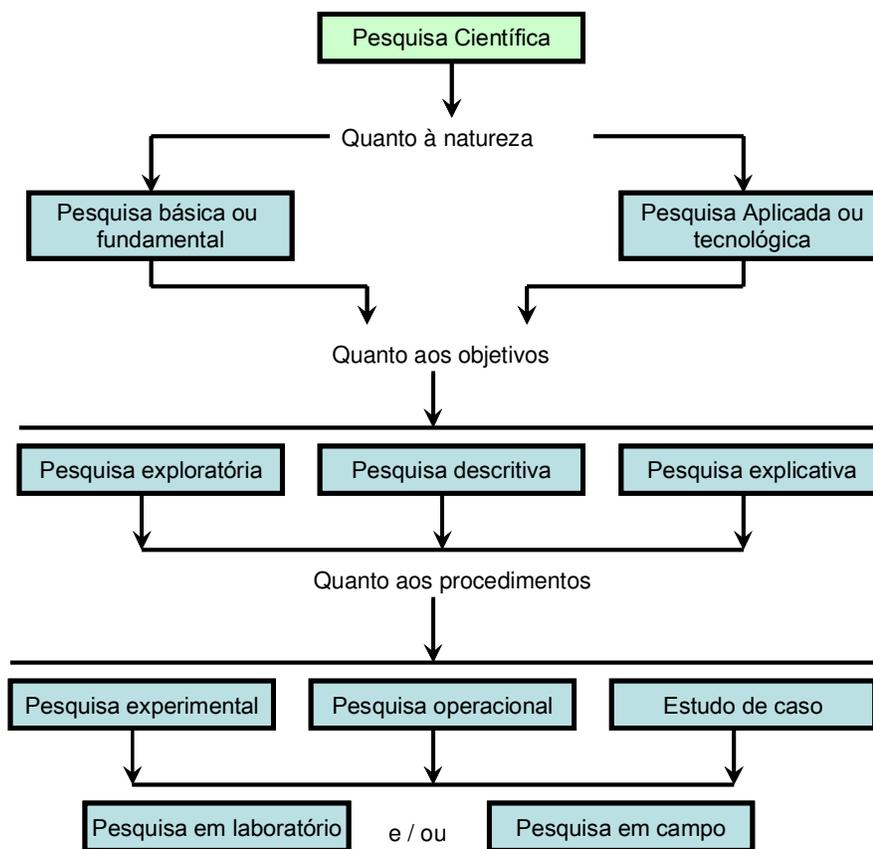
Do ponto de vista de seus objetivos:

- Pesquisa Exploratória: visa proporcionar maior familiaridade com o problema, procurar novas introspecções, avaliar fenômenos em uma nova visão, descobrir o que está acontecendo, fazer perguntas. Envolve levantamento bibliográfico: entrevistas e análise de exemplos. Assume, em geral, as formas de Pesquisas Bibliográficas e Estudo de caso (Gil 2002).

Outra justificativa para caracterizar a pesquisa como exploratória é que o foco do trabalho é o estabelecimento de diretrizes, o que implica em entender a dinâmica do fenômeno sob análise muito mais do que estabelecer uma relação causal. As generalizações de um estudo com esta natureza são de natureza analítica e não estatística (YIN, 2005). Segundo Marconi e Lakatos (2003), estudos exploratórios contribuem para desenvolver hipóteses, aumentar a familiaridade do

pesquisador com o problema de pesquisa em seu ambiente real e, também, apontar outros problemas para pesquisas futuras, além de clarificar conceitos.

De acordo com a estrutura teórica proposta por Jung (2004), relativa à classificação dos métodos de pesquisa, conforme representado na Figura 13 a seguir, pode-se afirmar que a presente pesquisa não é do tipo descritiva, pois o objetivo desta não é expor minuciosamente as características conhecidas, componentes do fato ou fenômeno (GIL, 2002). Também não pode ser considerada como explicativa, visto que não busca estabelecer relações de causa e efeito, o que implicaria em utilizar o experimento como método de pesquisa.



**FIGURA 10 - Classificação dos métodos de pesquisa**

FONTE: Adaptado de Jung (2004)

Através dessas análises, confirma-se que a presente pesquisa se caracteriza como sendo aplicada, quantitativa e exploratória.

### 3.2 SELEÇÃO DO MÉTODO DE PESQUISA ADOTADO

A seleção do método de pesquisa utilizou como parâmetro principal a caracterização do problema apresentado na seção anterior. Segundo Yin (2005) existe três condições que devem ser avaliadas para a definição do método de pesquisa. A primeira é o tipo de questão de pesquisa, a segunda é a extensão de controle que o pesquisador tem sobre os eventos comportamentais efetivos, e a terceira é o grau de enfoque nos acontecimentos históricos em oposição aos acontecimentos contemporâneos. Um esquema básico para a escolha do método a ser utilizado, é demonstrado no Quadro 5 abaixo, utilizado como parâmetro para essa pesquisa, baseado em dados de Yin (2005).

<b>ESTRATÉGIA</b>	<b>FORMA DE QUESTÃO E PESQUISA</b>	<b>EXIGE CONTROLE SOBRE EVENTOS COMPORTAMENTAIS?</b>	<b>FOCALIZA ACONTECIMENTOS CONTEMPORÂNEOS?</b>
<b>Experimento</b>	Como, por que	Sim	Sim
<b>Levantamento</b>	Quem, onde, quantos e quando	Não	Sim
<b>Pesquisa histórica</b>	Como, por que	Não	Não
<b>Análise de arquivos</b>	Quem, o que, onde, quantos, quando	Não	Sim/não
<b>Estudo de caso</b>	Como, porque	Não	Sim

**QUADRO 5 – Situações para diferentes estratégias de pesquisa**

FONTE: Yin (2005)

Considerando as questões acima, o presente trabalho utiliza-se do método – Estudo de caso – como o método de pesquisa adotado. Segundo Yin (2005), o estudo de caso como técnica de pesquisa é útil para explicar relações causais em situações da vida real que são complexas demais para utilizar estratégias experimentais ou de levantamento de dados. Também possibilita descrever um contexto da vida real no qual ocorreu uma intervenção ou explorar intervenções onde não existe clareza no conjunto de resultados. Além disso, a pesquisa se ocupa de um fato contemporâneo que faz parte da vida real presente nos conjuntos

habitacionais, órgãos públicos, governo federal, estadual e prefeituras, construtoras e o usuário e, para concluir, o pesquisador tem pouco controle sobre os eventos pesquisados. Assim, por meio deste método de estudo de caso, os objetivos e as questões do problema estabelecido podem ser atendidos de forma satisfatória, dentro das limitações impostas. Nessa pesquisa foi utilizado o estudo de caso múltiplo, sendo analisados dois eventos distintos.

### 3.3 ESTRATÉGIAS DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Essa pesquisa tem o propósito de analisar a emissão de CO<sub>2</sub> no processo construtivo de habitações de interesse social, utilizando um sistema CAD-BIM. Na seqüência do trabalho foi realizada uma análise geral sob as duas abordagens citadas: abordagem sob o enfoque construção e do sistema CAD-BIM. A estratégia de desenvolvimento da pesquisa está representada na Figura 14.

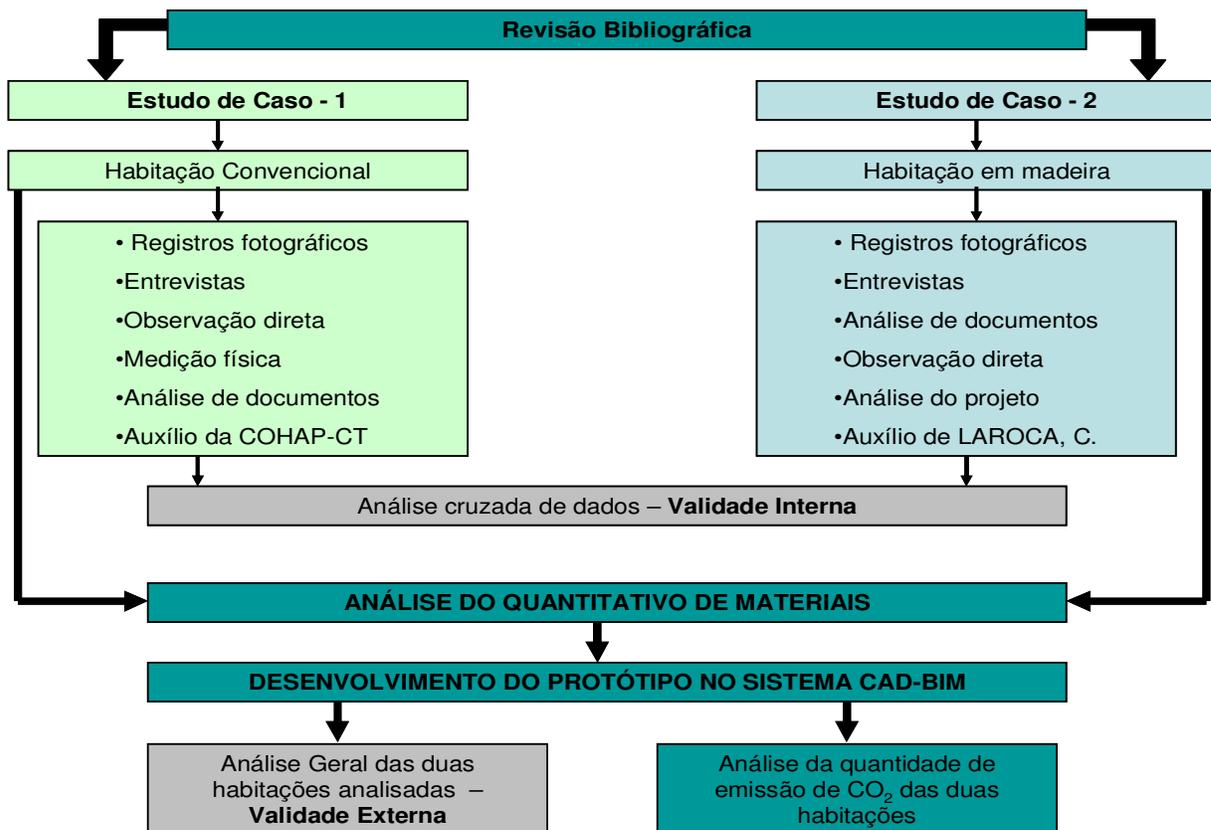


FIGURA 11 – Protocolo de coleta de dados.

### **3.3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Em fase anterior a coleta de dados foi realizada a pesquisa bibliográfica, pois, segundo Yin (2005), antes da realização de um estudo de caso é necessário realizá-la, pois a coleta de campo depende da compreensão do que está sendo pesquisado. Outro fator importante na preparação da revisão bibliográfica, é que esta contribui para a interpretação dos resultados obtidos pelo autor e na comparação com aqueles constantes em outros estudos (GIL, 2002). Assim, a revisão bibliográfica se desenvolveu a partir de materiais já elaborados, constituídos de livros, publicações periódicas e impressos diversos (GIL, 2002).

A literatura revisada foi referente a habitações de interesse social, análise do ciclo de vida da edificação, energia embutida, emissão de CO<sub>2</sub> e sistemas CAD-BIM. A finalidade da revisão bibliográfica é dar o suporte para a análise dos dados coletados, entender e aprofundar sobre o tema proposto e concretizar a importância de se avaliar os índices de poluição ambiental através das construções de habitação de interesse social. Além disso, a revisão da literatura comprovou a importância desse modelo de construção no Brasil e a grande demanda atual.

### **3.3.2 ESCOLHA DO ESTUDO DE CASO**

Para a seleção do estudo de caso, foram adotados critérios relacionados ao projeto e ao material de construção. O critério principal é que as habitações possuam características físicas típicas de habitações de interesse social.

Para a escolha do estudo de caso, foram necessárias as ajudas de um órgão público e uma pesquisadora. Como órgão público, a COHAB-CT (Companhia de Habitação de Curitiba), forneceu apoio e todos os dados necessários para desenvolvimento da pesquisa, além de oferecer um Conjunto Habitacional como estudo de caso. A pesquisadora Christine Laroca (CEFET-PR) ofereceu auxílio e todos os dados referentes ao segundo estudo de caso, uma habitação de interesse social construída em madeira, que foi fonte de pesquisa de sua Tese de Doutorado, referenciada nesse trabalho. Após esses contatos, foi realizada uma visita ao conjunto habitacional cedido pela COHAB-CT, denominado Moradias Sambaqui, no Bairro Sítio Cercado, onde foi feita uma investigação preliminar, para selecionar uma casa para o estudo de caso. Os critérios para a

casa da COHAB eram os seguintes: habitação com até 40m<sup>2</sup> de área, construída em alvenaria comum e com modelo padrão. Os critérios para o segundo estudo de caso foram os seguintes: habitação de interesse social construída em madeira, com área de até 40m<sup>2</sup> e com projeto similar à casa de alvenaria.

### 3.3.3 ANÁLISE DO QUANTITATIVO DE MATERIAIS E O PROJETO NO CAD-BIM

Após escolhidas as habitações como estudo de caso, analisa-se o quantitativo de materiais das duas residências. Através desses materiais, o banco de dados do CAD-BIM, será alimentado com resultados equivalentes ao total de quilos de materiais por m<sup>2</sup> de construção. Assim sendo, cada material terá seu próprio índice de emissão, através de cálculos da energia embutida. Ao final, cada habitação será projetada no ARCHICAD o que irá gerar o índice total de emissão, por habitação, na fase pré-operacional da construção. Na Figura 15, está esquematizado o processo de informação do ArchiCAD. Primeiramente o elemento (nesse caso, parede) é desenhado, em seguida aplicam-se os materiais e acabamentos relativos a essa parede. A base de dados está alimentada com ferramentas de associação automáticas que indicam os parâmetros de carbono emitido, em quilos, gerando uma lista de resultados.

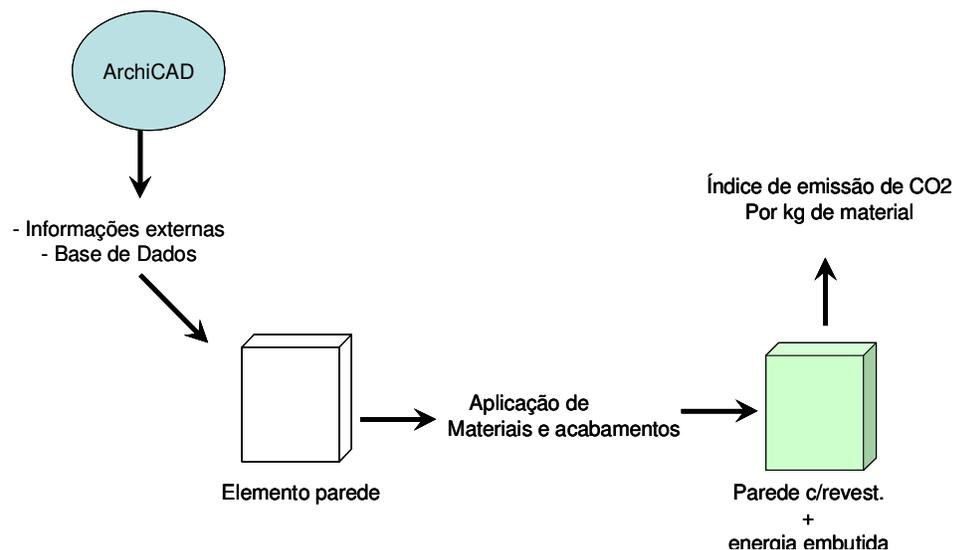


FIGURA 12-Processo de geração da informação no ArchiCad

### **3.4 PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS**

Segundo Yin, 2005 existem três princípios para a coleta de dados: utilizar várias fontes de evidências, criar um banco de dados para o estudo de caso e manter o encadeamento de evidências (utilizar um observador externo ao estudo de caso para perceber evidências que ocorrem do começo ao final do estudo).

O protocolo de coleta de dados possui grande importância, pois representa uma das técnicas principais para aumentar a confiabilidade da pesquisa de estudo de caso. Orienta o pesquisador a realizar a coleta de dados. O uso do protocolo antecipa alguns problemas que possam surgir ao longo da pesquisa. A coleta de dados para a pesquisa a qual se refere essa dissertação consiste em uma seqüência de fatores que propiciarão o resultado final esperado. Foi elaborado um protocolo de coleta de dados que contemplasse as seguintes etapas: revisão da literatura sobre o tema de estudo, estabelecimento de parcerias e contatos com informantes chaves, realização de entrevistas, observação em campo e condução aos estudos de caso.

#### **3.4.1 PREPARAÇÃO DO PROTOCOLO DA COLETA DE DADOS**

Segundo Jung (2004), um projeto de pesquisa que utiliza como método o estudo de caso, necessita da formulação de um instrumento para coletar dados. Este protocolo tem como objetivo principal diminuir a possibilidade de esquecer de coletar dados importantes à pesquisa. Nesta fase foram definidos os critérios de seleção da amostra e os instrumentos a serem utilizados na efetiva coleta de dados. Os dados para o estudo de caso consistiram de evidências destinadas à verificação dos conceitos propostos. O método utilizado na análise da coleta de dados dos conjuntos do estudo de caso foi desenvolvido segundo uma abordagem qualitativa e quantitativa. Segundo Silva; Menezes (2000), a pesquisa qualitativa considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito. Pode-se entender esta afirmação como um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito. O ambiente natural é a fonte direta para a coleta de dados

e o pesquisador é o instrumento-chave. De acordo com os mesmos autores, a pesquisa quantitativa considera tudo o que pode ser quantificável.

### **3.4.2 COLETA DE DADOS**

As técnicas ou instrumentos de coleta de dados referentes a essa pesquisa foram divididos em grupos, conforme descritos a seguir.

#### **3.4.2.1 COLETA DE DOCUMENTOS**

A coleta de dados iniciou-se pela busca de documentos e levantamentos nos registros de arquivos da empresa parceira do projeto, de maneira a obter subsídios para realização da pesquisa. As principais informações obtidas foram os projetos e as especificações das unidades habitacionais construídas pela COHAB-CT. A presente empresa disponibilizou os projetos arquitetônicos e os complementares como: fundações, estrutural, cobertura, elétrico, além das especificações e quantitativo de materiais. Após a coleta desses documentos na COHAB, iniciou-se a segunda etapa da coleta desses dados.

A segunda etapa da coleta de documentos foi em busca de uma habitação de interesse social construída com a utilização da madeira para fechamento das paredes. Foram contactadas algumas empresas no ramo, mas que não demonstraram interesse em ajudar na pesquisa. Então, para obter dados de uma habitação com esses parâmetros, foi solicitado ajuda de uma pesquisadora e arquiteta Christine Laroca que, em sua Tese de Doutorado, desenvolveu um protótipo de uma habitação de interesse social com utilização da madeira. Então foi obtida a coleta de documentos para essa segunda etapa que se baseia nos mesmos dados da primeira: projeto arquitetônico, estrutural, quantitativo de materiais e especificações.

#### **3.4.2.2 MEDIÇÕES FÍSICAS**

As medições físicas investigam o ambiente construído diretamente quanto ao seu desempenho, incluindo ou não o uso de aparelhos (REIS e LAY, 1994). Para confirmar o projeto arquitetônico da casa da COHAB, foram realizadas

medidas no local, em um conjunto habitacional cedido para a pesquisa chamado, Moradias Sambaqui, em Curitiba.

### **3.4.2.3 OBSERVAÇÕES DIRETAS**

Na presente pesquisa, o foco das observações diretas concentrou-se em observar o sistema construtivo e materiais de construção utilizados na obra das duas edificações. Estes registros foram anotados e gravados em arquivos de imagens fotográficas.

### **3.4.2.4 ENTREVISTAS**

Foram feitas entrevistas com os responsáveis pelas obras. No primeiro estudo de caso, realizado com o apoio da COHAB-CT, foi realizada entrevista com o Engenheiro responsável pelas obras no conjunto Moradias Sambaqui. No segundo estudo de caso, a entrevista foi com a responsável pela elaboração do projeto da casa de madeira.

### **3.4.2.5 REGISTRO FOTOGRÁFICO**

Com relação aos registros fotográficos, foram feitas imagens fotográficas do conjunto habitacional analisado, seu entorno, assim como o interior das casas. Os registros fotográficos contribuem para a compreensão e análise dos resultados extraídos, assim como a verificação de problemas e soluções.

## **3.5 ESTRATÉGIAS DE VALIDAÇÃO**

De acordo com Yin (2005), para demonstrar a qualidade da pesquisa, devem ser seguidos os seguintes critérios: validade do constructo ou interna, validade externa e confiabilidade. Para que isso ocorra, é necessário estabelecer medidas operacionais corretas para os conceitos que estão sendo estudados.

### **3.5.1 VALIDADE DE CONSTRUCTO**

A validade do constructo refere-se à validação de uma teoria, sendo que um constructo pode ser considerado como uma explicação de algum tipo de comportamento ou uma hipótese (RICHARDSON, 1999). Sendo assim, foram adotadas as seguintes estratégias para a validação de constructo:

- a) Revisão da literatura para envolvimento prolongado com o tema, com o propósito de obter as questões relacionadas ao problema de pesquisa.
- b) Utilização de várias fontes de pesquisas: pesquisa de campo, entrevistas, registros fotográficos, informações documentais, além de dados obtidos da revisão bibliográfica. Assim, com várias fontes de evidências, aumentam a validade do constructo, pois aumenta a possibilidade de desenvolver linhas convergentes de investigação (YIN,2005).

### **3.5.2 VALIDADE EXTERNA**

A validade externa estabelece se as descobertas de uma pesquisa podem ser levadas além do estudo de caso realizado, podendo se estender a outros estudos e projetos (YIN, 2005). Assim, a revisão bibliográfica foca sua análise em conceitos sobre a relação em que a construção civil possui com a emissão de CO<sub>2</sub> para o meio ambiente através da análise do ciclo de vida, exemplificando modelos de construções e análises em vários países. Com o desenvolvimento de uma ferramenta CAD-BIM que auxilia nas análises energéticas, pode-se difundir com mais facilidade o estudo das interferências que a construção civil gera ao meio ambiente.

### **3.5.3 CONFIABILIDADE**

O objetivo da confiabilidade da pesquisa é certificar-se de que outro pesquisador seja capaz de atingir os mesmos resultados seguindo os procedimentos utilizados na pesquisa anterior (YIN, 2005). Para seguir essa

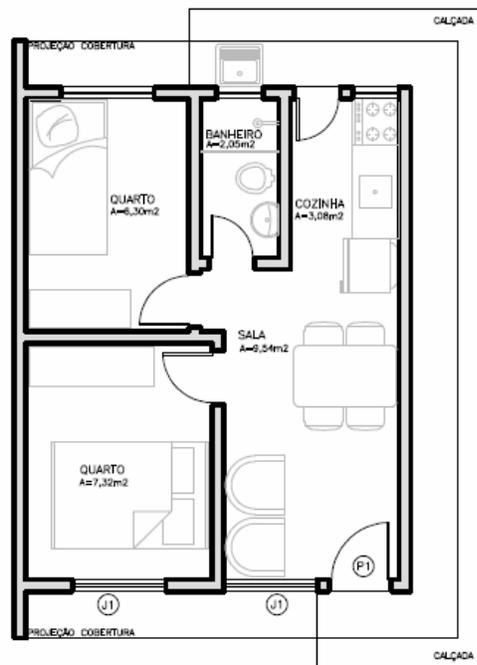
estratégia, os documentos utilizados nessa pesquisa são de domínio público, qualquer pesquisador pode ter acesso a essas informações.

O próximo capítulo apresenta os resultados e análises obtidos através da realização dessa pesquisa, mostra os estudos desenvolvidos nas edificações analisadas, bem como as conclusões oriundas destes.

### **3.6 CARACTERIZAÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO**

#### **3.6.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO 1 (CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL)**

Como modelo de construção convencional, considera-se uma edificação construída com alvenaria de tijolos e concreto armado. Como o propósito desse trabalho é analisar habitações de interesse social, o estudo de caso foi realizado em um conjunto habitacional construído pela COHABCT (Companhia de Habitação de Curitiba) denominado “Moradias Sambaqui”. O conjunto habitacional Moradias Sambaqui localiza-se no bairro Sítio Cercado, região que abrange o Bairro Novo e sua construção foi iniciada no ano de 2006 em um local onde antes, existiam apenas moradias provisórias. O conjunto possui 21 quadras e 523 unidades unifamiliares, as quais estão sendo construídas com recursos do FGTS (Fundo de Garantia por Tempo de Serviço) através da resolução 460/224 que estabelece a construção de casas de 33m<sup>2</sup> para famílias com renda mensal de até um salário mínimo. Contemplando esse programa, a COHAB desenvolveu o seguinte modelo de moradia, sendo constituída por sala/cozinha, dois quartos e um banheiro com lavanderia externa, como mostra a Figura 16. O conjunto habitacional Moradias Sambaqui foi implantado com infra-estrutura básica, que significa esgotamento sanitário, drenagem pluvial, abastecimento de água, energia elétrica, iluminação pública, pavimentação inexistente (até o dia da visita) e transporte coletivo.



**FIGURA 13 - Modelo de residência padrão COHAB-CT, 34m<sup>2</sup>**

FONTE: COHAB-CT(2007)

O financiamento dessas residências é realizado parte por subsídios imobiliários do governo federal e outra parte pelos próprios moradores. Assim, o morador se torna mutuário da Prefeitura Municipal e terá um prazo de vinte anos para quitar a dívida da casa própria. Este loteamento foi implantado com recursos do programa Morar Melhor, do Instituto Pró Cidadania de Curitiba, da COHAB-CT.

As casas são entregues ao morador sem o reboco, apenas no emboço e sem revestimento de piso, direto no contrapiso, sendo o próprio morador responsável pela colocação do revestimento. O forro é de PVC, as portas são de madeira e as esquadrias em ferro. Quanto aos aspectos referentes à ventilação, iluminação, isolamento térmico e acústico, os moradores se mostram satisfeitos. Durante a fase da pesquisa em campo, em 2007, o entorno não apresentava infraestrutura, como asfalto e iluminação pública, mas hoje, as ruas se encontram asfaltadas e a iluminação pública instalada, juntamente com equipamentos urbanos.

Na maioria das casas vivem famílias de quatro a seis pessoas, sendo que, geralmente faltam espaços adequados, a sala é usada como quarto, assim como os outros cômodos assumem funções distintas durante as etapas do dia. Por

exemplo, para as crianças fazerem as tarefas escolares, em alguns casos, improvisa-se um banco ou sofá. A Figura 17 mostra as fotos do entorno e do interior das casas do conjunto habitacional Moradias Sambaqui.



**FIGURA 14 - Entorno do loteamento, ainda sem pavimentação**

Geralmente as casas são construídas pelos próprios moradores e, mesmo aquelas que são construídas pela COHAB-CT, existe atuação de mão de obra local já que a comunidade possui muitos profissionais da construção civil, como pedreiros, encanadores, eletricitas e mestres de obra. As residências são entregues sem acabamentos nos pisos e paredes e a lavanderia é projetada nos fundos da habitação e sem proteção contra intempéries. Na Figura 18, nota-se a falta desses acabamentos nas paredes do banheiro e o revestimento do forro, feito em PVC.



**FIGURA 15 - Imagens da casa internamente**

Dando continuidade às definições dos acabamentos das casas padrões da COHAB-CT, que foram analisadas para essa pesquisa, têm-se as imagens abaixo, Figura 19, que mostra na seqüência, a sala sem acabamento do piso, direto no contrapiso e a fachada da residência sem acabamento nas calçadas e acesso.



**FIGURA 16 - Sala sem acabamento do piso e fachada da residência analisada**

As construções de habitações de interesse social analisadas como modelo convencional de construção, mostradas na figura 20, se referem às construções feitas com materiais comuns como: tijolos, argamassa e concreto. Esse modelo de construção é facilmente assimilado pelos moradores que geralmente necessitam ampliar suas residências por falta de espaços adequados.



**FIGURA 17 - Moradia em construção à esquerda. Casa provisória à direita**

Antes dos moradores receberem suas casas da COHAB, alguns possuem uma casa provisória, como mostrado na figura acima à direita.

Para buscar a resposta ao problema de pesquisa, é necessário que seja feita a análise do quantitativo de materiais utilizados na construção da moradia. Esse quantitativo foi fornecido pela COHAB e, através dele se faz a análise de

emissão de CO<sub>2</sub> no ArchiCAD. A tabela do quantitativo de materiais encontra-se no Apêndice desse trabalho.

### **3.6.2 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO 2 (CONSTRUÇÃO EM MADEIRA)**

A habitação de madeira analisada foi uma proposta realizada para a Tese de Doutorado de Laroca (2007). A referida Tese trata da concepção, execução e avaliação de um protótipo de habitação de interesse social construída em madeira através do sistema construtivo de painéis portantes de pequenas dimensões, fabricados a partir de chapas de compensado e madeira de reflorestamento. O protótipo dessa habitação foi construído no município de canoinhas, em Santa Catarina, para atender ao Programa de Subsídio à Habitação de Interesse Social. O estudo foi desenvolvido com os seguintes propósitos:

- a) Desenvolver o projeto baseado nos padrões exigidos pela Caixa Econômica Federal e outros órgãos financiadores para possibilitar o financiamento de futuras unidades habitacionais.
- b) Monitoramento da qualidade do processo de construção.
- c) Avaliação do desempenho dos requisitos do conforto térmico.
- d) Avaliação do desempenho dos requisitos de conforto acústico.

No ano de 2006 o governo do estado de Santa Catarina recebeu 40 milhões de reais através do Programa de Subsídio à Habitação de Interesse Social (PSH). O estado optou por programas de auto – construção em que as famílias inscrevem-se em seus municípios.

A autora da referida Tese, Christine Laroca, juntamente com a Universidade Federal do Paraná e a diretoria da COHAB-SC, estabeleceram as características da unidade habitacional a ser construída em madeira:

- a) A casa de madeira deve oferecer uma vantagem com relação à de alvenaria: três dormitórios com possibilidades de expansão,
- b) Sistema construtivo simples e de auto-construção ( deve conter um manual),

- c) De acordo com as características acima citadas, foram estabelecidas as diretrizes projetuais:
- Todos os componentes devem ser industrializados para evitar o desperdício e agilizar a obra,
  - Utilização de chapas de compensado,
  - Utilização de um sistema leve (*light frame*) com paredes duplas,
  - Uso de esquadrias comuns existentes no mercado (redução de custo),
  - Projeto com possibilidade de ampliação pelo próprio morador,
  - Projeto modular com múltiplo de 122x122 para melhor aproveitamento das chapas de vedação,
  - Os componentes de ligação, como pregos, parafusos e encaixes, devem ser de uso popular.

O projeto foi desenvolvido a partir do sistema construtivo (*wood light frame*), que tem como características principais o uso de peças de pequenas dimensões de madeira de reflorestamento e de paredes duplas para melhorar as condições de segurança e habitabilidade ( LAROCCA, 2007).

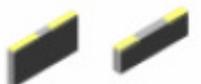
Como modelo de projeto, foi adotado um exemplo utilizado pela COHAB-SC na construção das casas em madeira de um programa existente, que utiliza madeira serrada apreendida pelo IBAMA. Em virtude das limitações do material utilizado, o projeto foi adaptado e modulado para múltiplos de 122cmx244cm. A seguir têm-se, na seqüência, as figuras da planta baixa da casa.



**FIGURA 18 - Projeto da casa construída com painéis em madeira. Área = 42m<sup>2</sup>.**

FONTE: Laroca (2007)

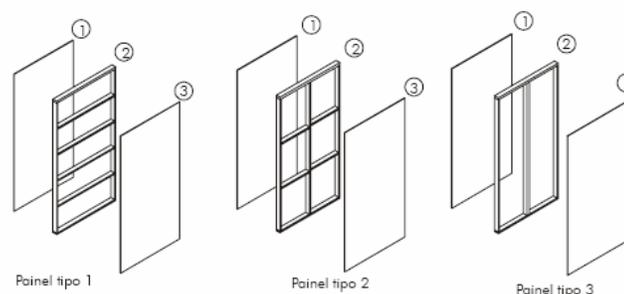
Os sistemas construtivos são pré-fabricados e divididos em subsistemas: fundações, super - estruturas (paredes + estrutura) e cobertura. Para cada subsistemas foram criados elementos pré fabricados como mostra o Quadro 6.

	Subsistema	Componente	Descrição
Pré-moldados em concreto	Fundação		Sapata pré moldada de canto Sapata pré moldada de meio
			Vigas pré moldadas externas Vigas pré moldadas internas
Pré-fabricados em madeira e painéis	Super - estrutura		Painéis estruturais internos e externos, Caixilhos pré fabricados (com janela), Caixilhos pré fabricados para a montagem de portas
	Cobertura		Tesoura pré fabricada Oitões pré fabricados

**QUADRO 6 – Elementos pré-fabricados**

FONTE: Adaptado de Laroca (2007)

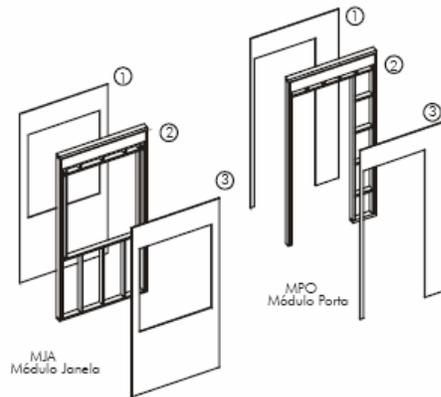
Para o projeto foram criados três tipos de painéis: Módulo Parede (MPA), Módulo Janela (MJA) e Módulo Porta (MPO e MPO1). Os painéis MPA são compostos por: chapa externa, ossatura (estrutura leve de madeira de pinus serrado) e chapa interna. Entre a chapa interna e externa existe uma câmara de ar, não ventilada, que pode ser preenchida com material térmico e acústico. Os painéis de vedação internos e externos têm função estrutural e de contraventamento, como mostra a Figura 22.



**FIGURA 19 - Módulo parede (MPA) 1- chapa interna, 2- Estrutura de pinus, 3- chapa externa**

FONTE: Laroca (2007)

O módulo janela (MJA) e o módulo porta (MPA), assim como o módulo parede, também são compostos por chapa interna, ossatura e chapa externa.



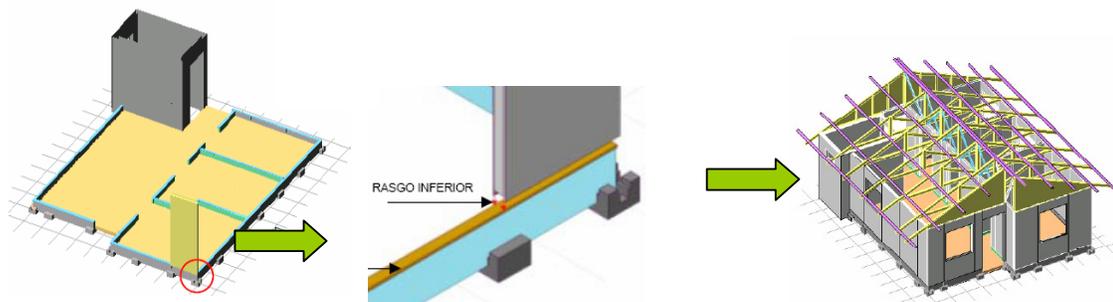
**FIGURA 20 – Estrutura do módulo porta (MPO) e módulo janela (MJA)**

FONTE: Laroca (2007)

Com o propósito de permitir maior flexibilidade ao sistema de módulos, os módulos de parede de 122 cm foram subdivididos em meio painel parede (MP) ou 2/3 painel parede (2/3MPA), como mostra a figura abaixo:

Os painéis das paredes externas diferenciam-se das paredes internas. Os módulos externos utilizam chapas de 9mm e 12mm. Os painéis internos, por não terem função estrutural utilizam chapas menores. Assim, cada painel tem sua identificação de uso (externo e interno) conforme projeto:

Os painéis são colocados dispostos conforme figura a seguir. As paredes que envolvem o banheiro são construídas em alvenaria comum, as outras paredes são painéis.



**FIGURA 21 – Fases da construção**

FONTE: Laroca (2007)

Na seqüência mostrada acima, têm-se a parede do banheiro em alvenaria, a fixação dos painéis e um modelo estruturado com a cobertura pronto para a instalação das telhas de fibrocimento.

Na Figura 25 são mostradas as etapas da construção da casa, desde a fundação até a instalação dos painéis e cobertura. O banheiro foi construído em alvenaria comum e o restante da casa com painéis em madeira.



**Etapa 1 – Detalhe do banheiro em alvenaria e das vigas em concreto**



**Etapa 2 – montagem dos painéis externos**



**Etapa 3 – Montagem das tesouras**



**Etapa 4 – Preparação para colocação das telhas de fibrocimento**



**Etapa 5 – Construção finalizada**



**Etapa 6 – Parte interna da residência**

**FIGURA 22 – Etapas da Construção da Casa**

FONTE: Laroca (2007)

## **4 DIAGNÓSTICO E ANÁLISE DOS DADOS**

### **4.1 CONTEXTO DO CAPÍTULO**

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos e as análises com respeito à emissão de CO<sub>2</sub> dos dois projetos de habitação de interesse social que serviram como estudo de caso.

#### **4.1.2 RESULTADOS OBTIDOS E PROJETO DAS CASAS NO ARCHICAD**

As duas casas analisadas foram projetadas no ArchiCad e com isso, obtiveram-se as tabelas de resultados referentes aos dados de emissão de CO<sub>2</sub> por m<sup>3</sup> de material, na fase pré – operacional da construção.

Esses dados de emissão são referentes aos materiais de construção utilizados assim como o acabamento, por exemplo, a parede de alvenaria é constituída de tijolos, argamassa, massa corrida e o revestimento.

Os índices utilizados para os cálculos de emissão encontram-se no Apêndice 3, e de acordo com a devida planilha, foram analisadas as seguintes informações de cada material de construção, necessárias para se obter o total de emissão de CO<sub>2</sub>:

- Densidade, energia de fabricação, distância média de fabricação, energia de transporte, emissão de CO<sub>2</sub> na fabricação e emissão de CO<sub>2</sub> no transporte. E os seguintes combustíveis: combustível a diesel, gás natural, gás liquefeito de petróleo (LP), coque de petróleo, outros derivados de petróleo, carvão, coque, eletricidade, carvão vegetal e lenha (Matriz energética). A seguir estão especificados os respectivos valores que foram utilizados para os cálculos finais de emissão.

## a) Densidade:

As densidades dos principais materiais de construção foram extraídos de Tavares (2006), conforme mostrado no Quadro 7 abaixo:

<b>Materiais</b>	<b>Massa específica (t/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Aço</b>	7,85
<b>Alumínio anodizado</b>	2,70
<b>Alumínio reciclado</b>	2,70
<b>Areia</b>	1,6
<b>Argamassa</b>	1,86
<b>Vidro</b>	2,5
<b>Cerâmica- telha</b>	2,05
<b>Cimento Portland</b>	1,95
<b>Concreto</b>	2,3
<b>Madeira- seca ao forno</b>	0,6
<b>Madeira – seca ao ar livre</b>	0,6
<b>Tinta acrílica</b>	0,208
<b>Tinta óleo</b>	0,208
<b>Tinta PVA latex</b>	0,234
<b>PVC</b>	0,65

**QUADRO 7** Densidade dos principais materiais de construção

FONTE: Tavares (2005)

## b) Energia de fabricação:

De acordo com a pesquisa de Tavares (2006), o Quadro 8, informa os valores de Energia Embutida por MJ/kg com as respectivas fontes, além dos valores de EE por volume de material.

<b>Materiais</b>	<b>EE (MJ/m³)</b>
<b>Aço</b>	235.500
<b>Alumínio anodizado</b>	567.000
<b>Alumínio reciclado</b>	46.710
<b>Areia</b>	80
<b>Argamassa</b>	3.906
<b>Borracha natural - Latex</b>	63.480
<b>Borracha sintética</b>	160.650
<b>Brita</b>	247,50
<b>Cal virgem</b>	4.500
<b>Cerâmica- 8 furos</b>	4.060
<b>Cerâmica branca</b>	52.075
<b>Cerâmica- telha</b>	10.260
<b>Cimento Portland</b>	8.190
<b>Cobre</b>	669.975
<b>Concreto</b>	2.760
<b>Fibrocimento - telha</b>	9.600
<b>Madeira- seca ao forno</b>	2.100
<b>Madeira – seca ao ar livre</b>	300
<b>Madeira – lamin. colada</b>	4.875
<b>Madeira - MDF</b>	5.850
<b>Solo – cimento- bloco</b>	1.020
<b>Solvente - tolueno</b>	74.690
<b>Tinta acrílica</b>	79.300
<b>Tinta óleo</b>	127.530
<b>Tinta PVA latex</b>	84.500
<b>Tube - PVC</b>	104.000
<b>Vidro plano</b>	46.250

**QUADRO 8 Energia Embutida em materiais de construção brasileiros**

FONTE: Tavares (2005)

c) Matriz energética

A discriminação dos insumos energéticos em fontes específicas e destas para a geração de CO<sub>2</sub> correspondentes, são pontos importantes de interpretação em uma análise energética. Assim, é possível estabelecer um parâmetro de sustentabilidade a partir do CO<sub>2</sub> embutido na edificação.

A partir do consumo de materiais nas edificações, e conseqüentemente, energia embutida, pode ser feita a desagregação dos valores de consumo de energia em fontes primárias. O Quadro 9 apresenta a relação de consumo de fontes específicas de energia por materiais de construção fabricados no Brasil (Tavares, 2006).

Fontes	Fósseis não renováveis							Renováveis				
	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
Materiais												
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 revest.	15	68	5					12				
Cerâmica verm.	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				
Impermeabilizantes	10	30			34			26				
Madeira	83							17				
Pedra	85							15				
Plásticos	10	30			34			26				
Tintas	90							10				

**QUADRO 9 - Consumo primário de energia por fontes em materiais de construção (% MJ)**

FONTE: Tavares (2006)

#### d) Transporte

Com relação ao transporte dos materiais da indústria até o local da obra, os itens relacionados tiveram como referência uma distância média de 50km e o consumo energético do tipo de material utilizado é de 1,62 MJ/km/t. O combustível considerado foi o óleo diesel e o caminhão como meio de transporte. De acordo

com Tavares (2006), para o transporte de 4m<sup>3</sup> de argila, equivalentes a 7200 kg, é consumido 1 litro de óleo diesel por 3 km. Sendo de 35 GJ/ m<sup>3</sup> o poder calorífico desse combustível, é obtida a relação de **1,62 MJ/km/t**.

e) Geração de CO<sub>2</sub> por fontes de energia

A quantidade de CO<sub>2</sub> liberado por fonte para geração de energia é apresentada no Quadro 10 abaixo.

<b>FONTE</b>	<b>CO2 (kg/GJ)</b>
Eletricidade	18,1
Óleo Combustível	79,8
Gás Natural	50,6
GLP	63,3
Fontes secundárias de petróleo	72,6
Coque de carvão mineral	91,5
Coque de petróleo	72,6
Carvão mineral	91,5
Carvão vegetal	51,0
Lenha	81,6

**QUADRO 10 - Geração de CO<sub>2</sub> por fontes de energia**

FONTE: Tavares (2005), baseada em IPCC (1995)

Para exemplificar o resultado da emissão de CO<sub>2</sub> emitido pelo ArchiCad, foi realizado o cálculo de emissão do aço, baseado nos índices dos quadros listados acima.

Primeiramente utilizam-se os dados do consumo primário de energia por fontes em materiais de construção listados no Quadro 9, onde é especificado o consumo para o aço: óleo combustível (0,01), gás natural (0,06) e coque de carvão mineral (0,71), em números decimais ( no quadro têm-se os valores em porcentagem).

### 1. Óleo Combustível:

Índice 1 : 0,0798 kg CO<sub>2</sub>/MJ ( Quadro 10)

Índice 2: 0,01 ( Quadro 9)

$0,0798 \times 0,01 = \mathbf{0,000798}$  kg CO<sub>2</sub>/MJ de óleo combustível

### 2. Gás natural

Índice 1: 0,0506 kg CO<sub>2</sub>/MJ ( Quadro 10)

Índice 2: 0,06 ( Quadro 9)

$0,0506 \times 0,06 = \mathbf{0,00303}$  kg CO<sub>2</sub>/MJ de gás natural

### 3. Coque de carvão mineral

Índice 1: 0,0915 kg CO<sub>2</sub>/MJ ( Quadro 10)

Índice 2: 0,71 ( Quadro 9)

$0,0915 \times 0,71 = \mathbf{0,0649}$  kg CO<sub>2</sub>/ MJ de coque de carvão mineral

### 4. Eletricidade

Índice 1: 0,0181 kg CO<sub>2</sub>/MJ ( Quadro 10)

Índice 2: 0,10 ( Quadro 9)

$0,0181 \times 0,10 = \mathbf{0,00181}$  kg CO<sub>2</sub>/ MJ

Sendo assim, o valor total de CO<sub>2</sub>/MJ emitido pelo aço é a soma dos resultados obtidos acima, totalizando **0,071** kg CO<sub>2</sub>/ MJ. Com a obtenção desse resultado, calcula-se a emissão de CO<sub>2</sub>/ m<sup>3</sup> do aço, que é o índice fornecido pelo ArquiCad, que está alimentado em sua base de dados.

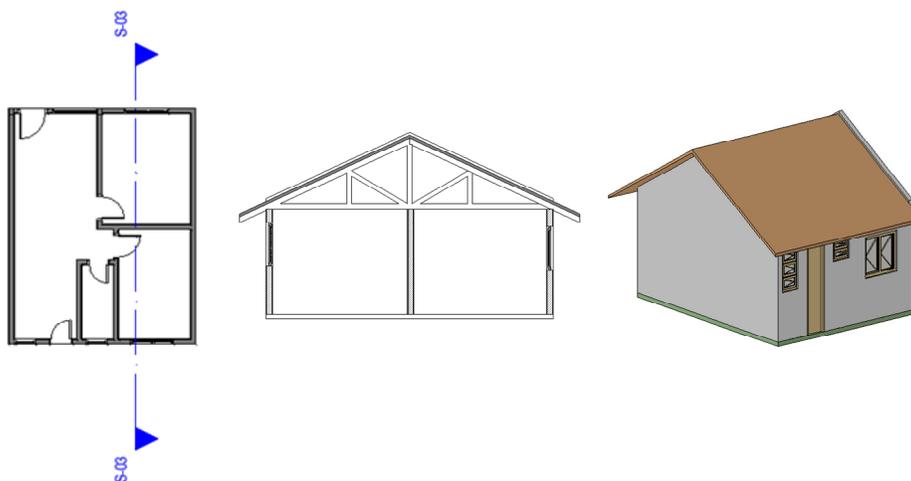
Cada MJ na produção do aço emite **0,071** kg CO<sub>2</sub>/MJ. Sendo que, 1m<sup>3</sup> necessita de **235.500** MJ (Quadro 8). Então,  $235.500 \times 0,071 = \mathbf{16.628,42}$  kg/m<sup>3</sup> de CO<sub>2</sub>.

Esses procedimentos de cálculos foram realizados para todos os materiais de construção utilizados no projeto das residências, obtendo assim, o valor total de emissão emitido pela ferramenta.

#### 4.1.3 CASA MODELO CONVENCIONAL – COHAB-CT

A análise de resultados teve início com o projeto da casa modelo COHAB. Primeiro foi obtido o projeto da habitação, em seguida foram feitas medições no local para conferência do desenho fornecido pela empresa construtora. Em seguida, esses dados foram inseridos no ArchiCad para extração dos índices de emissão.

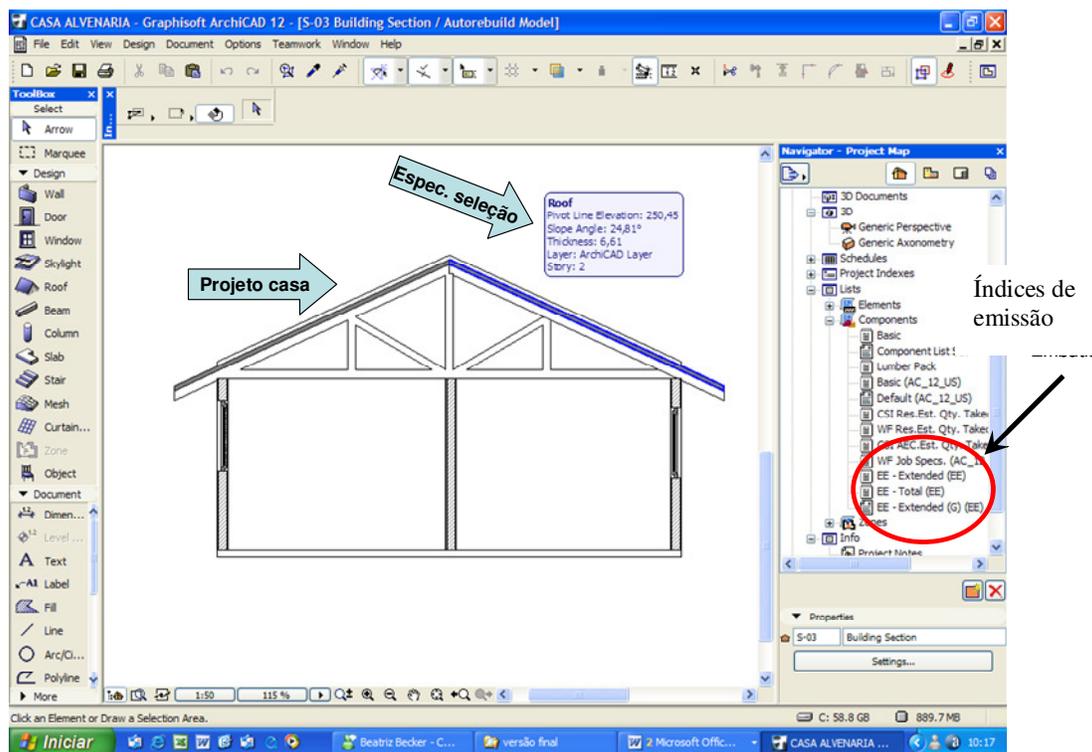
Na imagem abaixo, Figura 26, está demonstrado o projeto da casa em três vistas:



**FIGURA 23 – Casa modelo convencional em três vistas (planta baixa, corte e perspectiva)**

FONTE: A Autora (2009)

Na seqüência mostra o projeto inserido na ferramenta, uma breve explicação de como funciona o sistema, assim como os devidos índices de emissão. A utilização de uma ferramenta BIM, como é o caso do ArchiCad, passa a ser um facilitador para o profissional projetista que, com um único desenho consegue obter informações importantes. Na figura 27 ,é visualizado a interface do ArchiCad e como as informações aparecem para o usuário dessa ferramenta.



**FIGURA 24 - Casa modelo convencional inserida no ArchiCad**

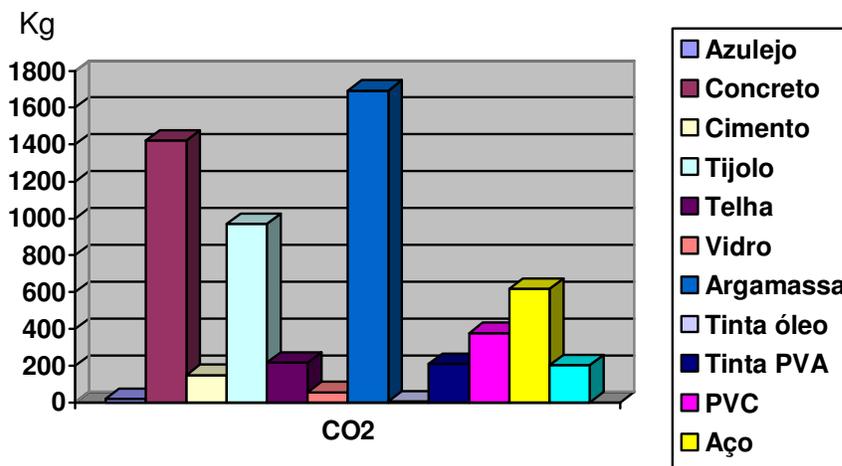
Na imagem central da Figura 27, mostra o modelo de um corte gerado através da planta baixa que foi projetada, acima é mostrado uma especificação do objeto selecionado, que se encontra em azul, no caso, parte do telhado. Logo à direita aparece uma janela com um mapa do projeto e as especificações desejadas. No círculo vermelho são mostrados os índices de emissão, como o índice total geral e os índices específicos de cada material. A partir desse local se extrai a planilha do quantitativo de CO<sub>2</sub> emitido na fase pré-operacional da construção da edificação, que inclui a fabricação e o transporte dos materiais até a obra. No apêndice 01 dessa pesquisa se encontra a tabela com os dados totais de emissão separados por distintos materiais de construção. A seguir, no Quadro 11, é mostrado um resumo do total de emissão de CO<sub>2</sub>, por material utilizado na obra e também um modelo representado no gráfico 4.

<b>Material</b>	<b>CO<sub>2</sub> (fabricação e transporte)</b>
Azulejo	24,06 kg
Concreto	1423,18 kg
Cimento	149,72 kg
Tijolo de barro	968,28 kg
Telha de barro	215,5 kg
Vidro	54,97 kg
Argamassa	1693,13 kg
Tinta óleo	5,31 kg
Tinta PVA	211,5 kg
PVC	377,22 kg
Aço	618,69 kg
Madeira	202,84 kg
<b>TOTAL</b>	<b>5944,4 kg</b>

**QUADRO 11 – Índices de emissão de CO<sub>2</sub> por material extraído do ArchiCad**

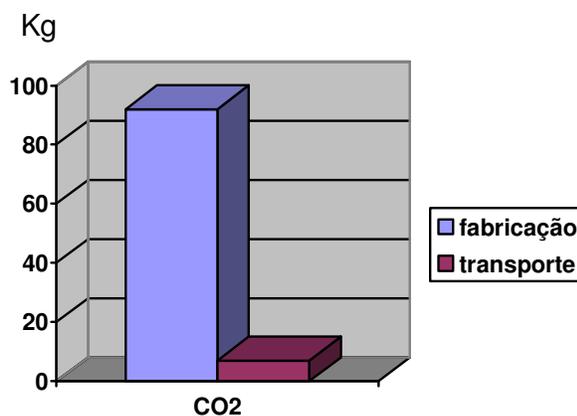
FONTE: A Autora (2009)

Os resultados acima mostram que, para fabricação e transporte dos materiais de construção de uma habitação de interesse social feita pela COHAB-CT, há uma emissão de 5944,4 kg de CO<sub>2</sub> ao meio ambiente. Dentre esses materiais, a telha somada com o tijolo de barro possui valores altos de emissão em virtude do processo de queima para sua fabricação. A grande quantidade de argamassa que é necessária para revestir as paredes da edificação, além de sua constituição, faz com que esse material tenha um elevado índice de emissão. A diferença entre a emissão da tinta à base de óleo e a tinta PVA é devido à quantidade utilizada. Enquanto a tinta PVA reveste toda a casa externamente, a tinta à base de óleo reveste os componentes em aço, que são em menor quantidade.



**GRÁFICO 4 - Índices de emissão de CO<sub>2</sub> com relação aos materiais**

Acima está representado graficamente o total de emissão de cada material com relação à casa de alvenaria analisada e mostrada no QUADRO 13. Com relação à fabricação e ao transporte desses materiais, são mostrados a seguir, os valores de emissão de cada uma dessas fases.



**GRÁFICO 5 - Índices de emissão de CO<sub>2</sub> com relação à fabricação e transporte**

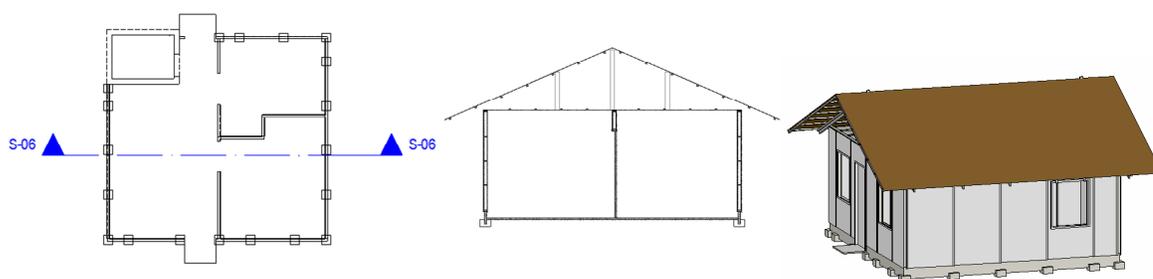
NOTA: Emissão durante a fabricação: 5675,69 kg CO<sub>2</sub> / Durante o transporte: 268,70 kg CO<sub>2</sub>

A soma dos índices de fabricação e transporte dos materiais fornece o resultado do quadro 11, que representa a fase pré-operacional do ciclo de vida de edificação. Percebe-se que a fase de fabricação dos materiais emite cerca de 95% do total de CO<sub>2</sub> produzido.

#### 4.1.4 CASA DE MADEIRA

A análise de resultados continuou com o projeto da casa de madeira. Primeiro foi analisado o projeto da habitação, em seguida foram obtidas as imagens fotográficas. Então esses dados foram inseridos no ArchiCad para extração dos índices de emissão de cada material.

Na imagem abaixo demonstra o projeto da casa de madeira em três vistas:



**FIGURA 25 – Casa de madeira inserida no ArchiCad**

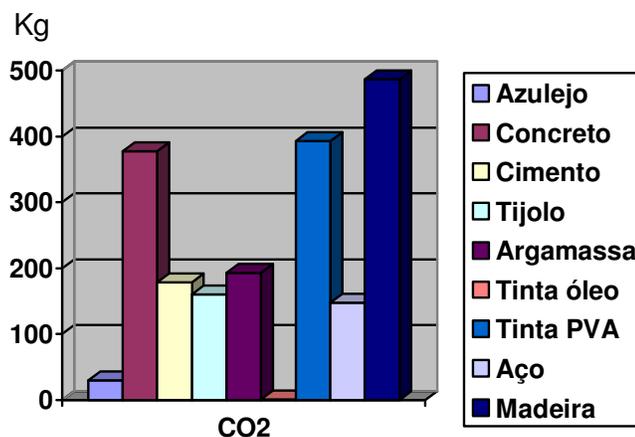
Observou-se no projeto da habitação em madeira que ocorreu mistura de materiais distintos, um excessivo uso de concreto armado na fabricação das sapatas de sustentação e o banheiro construído com alvenaria de tijolos e argamassa. Isso acarretou um aumento no fator de emissão de CO<sub>2</sub>.

A seguir é mostrado o quadro com os números referentes à emissão nas fases de fabricação e transporte dos materiais de construção da habitação em madeira. O quadro completo de emissão de CO<sub>2</sub> e de energia na fase pré-operacional da edificação se encontra no apêndice 02, ao final dessa pesquisa.

Material	CO2 (fabricação e transporte)
Azulejo	30,39 kg
Concreto	377,37 kg
Cimento	179,05 kg
Tijolo	160,2 kg
Argamassa	193,1 kg
Tinta óleo	1,37 kg
Tinta PVA	392,84 kg
Aço	147,52 kg
Madeira	486,11 kg
<b>TOTAL</b>	<b>1968,00 kg</b>

**QUADRO 12 – Índices de emissão de CO<sub>2</sub> por material, extraído do ArchiCad**

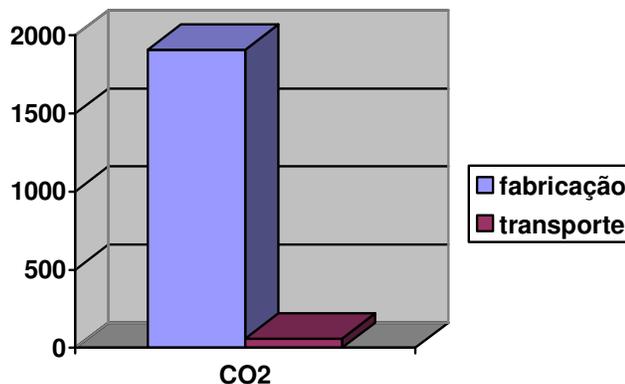
Com relação à construção em madeira, observa-se que, o índice de emissão do concreto e tinta PVA se mostra elevado, quase se equivalendo ao total emitido pela própria madeira. Isso ocorre porque parte da edificação foi construída de maneira convencional e pela estrutura que forma a base da residência ser projetada em concreto armado, assim como o revestimento do piso interno é de pintura com tinta PVA.



**GRÁFICO 6 – Índices de emissão de CO<sub>2</sub> com relação aos materiais**

Acima está representado graficamente o total de emissão de cada material com relação à casa de madeira analisada e mostrada no QUADRO 12. Com relação à fabricação e ao transporte desses materiais, são mostrados a seguir, os valores de emissão de cada uma dessas fases, comprovando que, grande parte

das emissões ocorre na fabricação, isso durante a fase pré-operacional do ciclo de vida da edificação.



**GRÁFICO 7 – Índices de emissão de CO<sub>2</sub> com relação à fabricação e transporte**

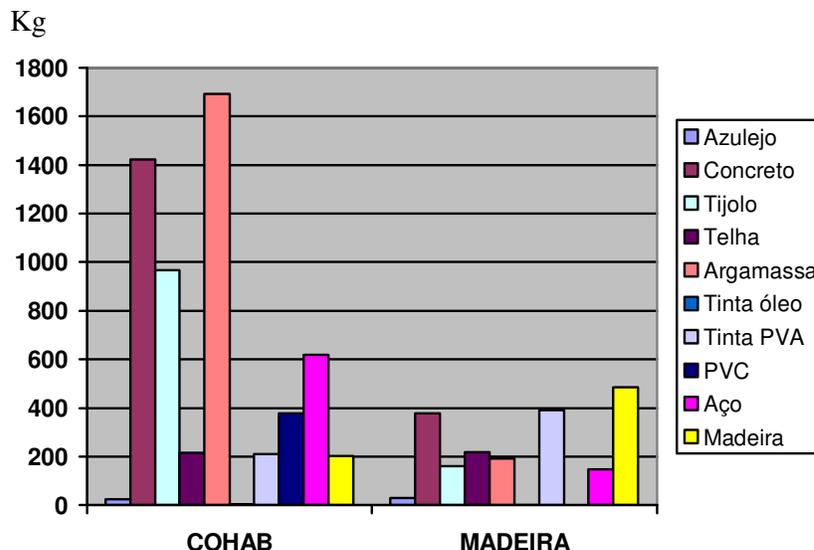
NOTA: Emissão durante a fabricação: 1907,17 kg CO<sub>2</sub> / Durante o transporte: 60,83 kg CO<sub>2</sub>

Além de fornecer os dados de emissão de CO<sub>2</sub>, o ArchiCad foi programado para calcular os gastos energéticos, na fase pré-operacional da edificação, e a somatória do peso dos materiais de construção utilizados na obra. Esses resultados podem ser vistos nos apêndices 1 e 2 ao final dessa pesquisa.

#### 4.1.5 ANÁLISE GERAL

Após as análises dos resultados das duas habitações, observa-se que as emissões na casa da COHAB são muito maiores do que na casa de madeira, isso ocorre em função dos materiais de construção utilizados em cada modelo. A seguir é demonstrado um gráfico com as duas habitações simultâneas, onde nota-se as diferenças de emissão de CO<sub>2</sub> entre ambas.

Do lado esquerdo do gráfico se posiciona a casa da COHAB-CT, do lado direito, a casa de madeira. Os pontos coloridos representam o total de cada material, que está representado na lista, sendo que ao final, são ligados entre si onde se percebe a diferença entre ambas.



**GRÁFICO 8 – Índices de emissão de CO<sub>2</sub> das duas habitações**

A argamassa e o concreto são os materiais que mais emitem CO<sub>2</sub> na construção da casa da COHAB, na fase pré operacional da edificação. O alto índice de emissão do concreto ocorre em virtude de que o concreto foi largamente utilizado nas estruturas de vigas, pilares e sustentação. A emissão de CO<sub>2</sub> através da utilização da argamassa também teve um resultado elevado pois, a argamassa é utilizada como revestimento interno e externo de toda a residência. O terceiro componente construtivo que teve um alto índice de emissão, na mesma residência, são os tijolos, por serem o material de construção mais usado em todo o processo de erguimento da obra, sendo usado em maior quantidade. A menor emissão se encontra nos azulejos por serem utilizados em pouca quantidade.

No quadro 13 é mostrado o total de emissão por metro quadrado de parede construída na casa da COHAB. Nota-se que 1m<sup>2</sup> de parede de alvenaria emite aproximadamente 562 kg de CO<sub>2</sub> para o meio ambiente.

Componentes	CO <sub>2</sub> por 1m <sup>2</sup>
CO2 emissão - fabricação	546 kg
CO2 emissão - transporte	16 kg
<b>TOTAL</b>	<b>562 kg</b>

**QUADRO 13** – Índices de emissão de CO<sub>2</sub> por m<sup>2</sup> de parede de alvenaria. Dados parciais extraídos do ARCHICAD

Com relação à casa de madeira, nota-se que o concreto aparece com um resultado significativo de índice de emissão de CO<sub>2</sub> por ter sido utilizado na construção de toda a fundação. Entre todos esses materiais apenas o PVC não faz parte da lista de materiais que compõem as duas casas, sendo que apenas constitui o projeto da COHAB, onde é utilizado como forro.

Na sua totalidade, a casa de madeira é menos poluente, com relação à emissão de CO<sub>2</sub> na fase pré-operacional da edificação, sendo que o índice de emissão de uma casa da COHAB equivale a três vezes o índice de emissão de CO<sub>2</sub> da casa de madeira.

O quadro 14 mostra o total de emissão por metro quadrado de parede construída na casa de madeira. Nota-se que 1m<sup>2</sup> de painel de madeira emite aproximadamente 5 kg de CO<sub>2</sub> para o meio ambiente

<b>Componentes</b>	<b>CO<sub>2</sub> por 1m<sup>2</sup></b>
CO2 emissão - fabricação	4,92 kg
CO2 emissão - transporte	0,06 kg
<b>TOTAL</b>	<b>4,98 kg</b>

**QUADRO 14** – Índices de emissão de CO<sub>2</sub> por m<sup>2</sup> do painel casa de madeira. Dados parciais extraídos do ARCHICAD

Os resultados totais de emissão, extraídos do ArchiCad encontram-se nos apêndices 01 e 02. No apêndice 01 estão os resultados da análise de emissão total de CO<sub>2</sub> separados por material de construção, referentes à casa da COHAB. No apêndice 02 encontra-se o resultado da análise de emissão total de CO<sub>2</sub>, separados por material de construção, referentes à casa de madeira que foram extraídos do ArchiCad. Entretanto, no apêndice 03 tem-se a tabela de dados referente aos materiais de construção e os respectivos índices que foram utilizados para os cálculos no ArchiCad.

## 5 CONCLUSÕES

A madeira de reflorestamento é uma alternativa para a melhoria das condições de vida da população de baixa renda e para diminuição da poluição ambiental. Quanto ao aspecto florestal e ambiental, a madeira de reflorestamento a partir de esforços conjuntos pode ser plantada e manejada para este fim, garantindo estoques para as gerações futuras. Sob o ponto de vista sócio econômico pode gerar oportunidades de trabalho em regiões com vocação florestal nas várias etapas da cadeia produtiva (serrarias, fábricas de componentes, carpintaria e usinas de tratamento). Com um baixo investimento de capital é possível transformar a produção centralizada pela descentralizada em forma de cooperativas ou pequenas empresas. Os esforços em direção à produção de habitações de interesse social, utilizando diferentes métodos de construção, integra profissionais de diversas áreas do conhecimento, que possam interagir nos aspectos político, cultural, ambiental e, inclusive em dimensões éticas e estéticas.

O problema de pesquisa abordou a questão: “**Como avaliar os índices de emissão de CO<sub>2</sub>, na fase pré-operacional da construção de habitações de interesse social através do uso de uma ferramenta CAD-BIM?**”

A partir do problema delineou-se o objetivo dessa pesquisa, de analisar, através de um sistema CAD-BIM, a emissão de CO<sub>2</sub> na fase pré-operacional da construção em dois tipos de habitação de interesse social.

Essa pesquisa chegou à conclusão de que o modelo mais utilizado como habitação de interesse social, construído pela Companhia de Habitação de Curitiba, emite altos índices de CO<sub>2</sub> se comparado a uma casa de mesmo porte utilizando a madeira. Na construção de uma casa com 35m<sup>2</sup>, edificada de maneira convencional (COHAB-CT) emite cerca de 6000 kg de CO<sub>2</sub>, na fase pré-operacional ( fabricação + transporte). Sendo que, para construir a casa de madeira analisada nessa pesquisa, com 40m<sup>2</sup> existe uma emissão de 2000 kg de CO<sub>2</sub> em média.

Nos processos de produção de materiais de construção são emitidos poluentes aéreos como foi demonstrado nessa pesquisa. Esses poluentes geram impactos como o efeito estufa, a destruição da camada de ozônio e a chuva ácida. Esses poluentes estão relacionados às emissões nos transportes, fontes de

energia que utilizam combustíveis fósseis assim como a liberação de gases durante o processo produtivo desses materiais.

O uso de tecnologias, como uma ferramenta BIM, auxilia os construtores e projetistas no momento da realização do projeto, antes de iniciar o processo de construção. Essas ferramentas se tornam facilitadores para diversas áreas, assim como para cálculos ambientais como: cálculo de emissão, gastos energéticos, composição de materiais, entre outros.

Como conclusão pode-se dizer que a pesquisa atingiu seu objetivo, gerando, através de um sistema CAD-BIM, a emissão de CO<sub>2</sub> na fase pré operacional da construção, em dois tipos de habitação de interesse social e respondendo a questão encontrada no problema de pesquisa.

### **5.1 LIMITAÇÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS**

Essa pesquisa foi desenvolvida utilizando um modelo de habitação social de cada tipo e analisadas na fase pré-operacional da edificação. Aplicações de outros modelos distintos devem ser estudadas, assim como habitações de classe média e alta, edifícios comerciais e residenciais, construções de grande porte, entre outros. Além disso, existem as outras fases da construção como a operacional e pós – operacional que não foram consideradas nessa pesquisa como efeito de cálculos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIKO, ALEX KENIA. **Introdução à gestão habitacional**. São Paulo: EPUSP-USP, 1995.

ADALBERTH, K. **Energy use during the life cycle of buildings: a method**. Building and Environment, 32 (4), Elsevier Science Ltd. 1997 (a).

ADALBERTH, K. **Energy use during the life cycle of single-unit dwellings: examples**. Building and Environment, 32 (4), Elsevier Science Ltd. 1997 (b).

AYRES, C. ; SCHEER, S. **Diferentes abordagens do uso do CAD no processo de projeto arquitetônico**. In: Workshop Brasileiro de gestão do processo de projetos na construção de edifícios, 2007, Curitiba.

BEN (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL). **Resultados preliminares, ano base 2007**. Disponível em: <http://www.worldenergy.org>. 2008.

BIRX, G. W. **Getting started with Building Information Modeling**. The American Institute of Architects - Best Practices, 2006. Disponível em [http://www.aia.org/bestpractices\\_index](http://www.aia.org/bestpractices_index). Acessado em: 02/02/2009

BOUHLAGHEM, DINO, et al. **Visualisation in architecture, engineering and construction (AEC)**. Automation in Construction, n. 14, 2005. Disponível em <http://www.elsevier.com/locate/autcon>. Acessado em: 06.02.2009

BRANDÃO, D. Q. **Habitação Social Evolutiva. Aspectos Construtivos, Diretrizes para projetos e proposição de arranjos espaciais flexíveis**. Cuiabá: CEFETMT, 2006. Editora CEFET.

BRASIL, Ministério das Minas e Energia. NT - COBEN 07/88 - **Avaliação do consumo residencial de lenha e carvão vegetal do balanço energético nacional**. Disponível em <http://www.mme.gov.br> , 2008.

BROWN, S.R. **Sustainable design and construction strategies for research building typologies**. Tese de Doutorado apresentada no programa de GRADUATE SCHOOL OF THE UNIVERSITY OF FLORIDA . EUA, 2003.

BUCHANAN, A.; HONEY, B. **Energy and carbon dioxide implications of building construction**. Energy and Buildings 20. Elsevier Science Ltd . 1994.

CARDOSO, L. R. A.; ABIKO, ALEX K. **Construção Habitacional por mutirão: gerenciamento e custos**. São Paulo: Boletim técnico da Escola Politécnica da USP/PCC, 1993.

CHEN, T.Y. et alli. **Analysis of embodied energy use in the residential building of Hong Kong**. Energy 26 p. 323–340. Elsevier Science Ltd. 2001.

EEA, EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **LIFE CYCLE ASSESSMENT - A guide to approaches, experiences and information sources**. Bruxelas, Bélgica. Disponível em <http://www.eea.europa.eu/publications/GH-07-97-595-EN-C/Issue-report-6>. Acessado em fev. 2009.

EUROPEAN COMMISSION. **Life Cycle Assessment of PVC and of principal competing materials**, 2004. Disponível em: <[http://europa.eu.int/comm/enterprise/chemicals/sustdev/pvc-final\\_report\\_lca.pdf](http://europa.eu.int/comm/enterprise/chemicals/sustdev/pvc-final_report_lca.pdf)>. Acesso em: fev. 2009.

EUROPEAN COMMISSION. **Directorate General XII for Science, Research and Development. Environmental impact of buildings: application of the life cycle analysis to buildings**. Paris: Center for Energy Studies, 1997. Disponível em: <<http://www.cenerg.ensmp.fr/francais/themes/cycle/html/11.html>>. Acesso em: fev. 2009.

FERNANDES, M. **Agenda Habitat para Municípios**. Rio de Janeiro: IBAM, 2003.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit habitacional no Brasil 2000**. Belo Horizonte: FJP, 2001.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit habitacional no Brasil / Fundação João Pinheiro, Centro de Estatística e Informações**. - Belo Horizonte, 2004.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit habitacional no Brasil. Municípios selecionados e microrregiões geográficas**. Belo Horizonte : Fundação João Pinheiro, Centro de Estatísticas e Informações, 2004.

FARAH, M.F.S. **Tecnologia, Processo de Trabalho e Construção Habitacional**. São Paulo, 1992. Tese (Doutorado), Departamento de Ciências Sociais da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

FAY, R.; TRELOAR, G.; IYER-RANIGA, U. **Life-cycle energy analysis of buildings: a case study**. *Building Research and Information*, 28 (1) p. 31-41 JAN-FEB. Routledge, London. 2000.

FISCHER, S. **Diretrizes de projeto arquitetônico e design de interiores para permitir a expansão de habitações de interesse social**. Curitiba, 2003. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Programa de Pós-graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná.

FOLZ, S. **Mobiliário na habitação popular - discussões de alternativas para melhoria da habitabilidade**. São Carlos, São Paulo. Ed. Rima, 2003.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. **A carga tributária do setor da construção.** São Paulo: SINDUSCON / GVConsult, 2004. Disponível em [http://www.sindusconsp.com.br/downloads/Carga\\_tributaria\\_na\\_construcao.pdf](http://www.sindusconsp.com.br/downloads/Carga_tributaria_na_construcao.pdf).

GAVA, M. **Viabilidade técnica e econômica da produção de componentes construtivos para habitação social utilizando madeira serrada de Pinus de terceira classe de qualidade.** Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, 2005.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002

GME (Guia Metodológica Estudio del Ciclo de Vida ECV). **Proyecto Minimización de Residuos provenientes de Envases y Embalajes.** Chile, 2001.

HUANG, T. et al. **A virtual prototyping system for simulating construction processes.** Automation in Construction, n.16, 2007. Disponível em [www.elsevier.com/locate/autcon](http://www.elsevier.com/locate/autcon). Acessado em: fev. 2009.

HUBERMAN, N.; PEARLMUTTER, D. (2008) **“A life cycle energy analysis of building materials in the Negev desert,”** Energy and Buildings 40(5):837-848. Israel. 2007

IBRAHIM, M; KRAWCZYK, R; SCHIPPORIET, G. **Two Approaches to BIM: A Comparative Study,** 2004. Disponível em: <http://www.iit.edu/~ibramag/> acessado em fev. 2009

IMAI, C. **Avaliação pós-ocupação (APO) no projeto Casa Fácil: o caso de Londrina, Paraná.** São Paulo, 2000. 271 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas Ambientais Urbanas) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Pessoas em assentamentos informais por tipo de informalidade.** Disponível em: [www.ipea.gov.br](http://www.ipea.gov.br). 2007

IPCC, **Intergovernmental Panel on Climate Change.** IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Geneva, Switzerland. 2006. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>. Acessado em: jan. 2009.

JUNG, C.F. **Metodologia para Pesquisa e Desenvolvimento - aplicada a novas tecnologias, produtos e processos.** Ed. Axcel Books, 2004

KALE, S; ARDITI, D. **Diffusion of Computer Aided Design Technology in Architectural Design Practice.** Journal of Construction Engineering and Management (ASCE), v. 131. 2005.

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction.** CIFE technical Report Stanford University, 1992.

LAROCA, C. **Desenvolvimento de protótipo de habitação social em madeira de reflorestamento e avaliação do desempenho termo-acústico.** Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, UFPR, Curso de Doutorado em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2007

LAROCA, C. **Habitação Social em madeira: uma alternativa viável.** Dissertação de Mestrado apresentada ao programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, UFPR, Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2002.

LAKATOS, E.M.;MARCONI, M.A. **Fundamentos de metodologia científica.** 6 ed. São Paulo: Atlas, 2003

LEE, G, et al. **Specifying parametric building object behavior (BOB) for a building information modeling system.** Automation in Construction, n. 15, 2006. Disponível em <http://www.elsevier.com/locate/autcon>. acessado em jan. 2009

LIPPIATT, B. **Building for Environmental and Economic Sustainability.** In: CIB World Building Congress - Construction and The Environment. Proceedings. 8 pp. Gävle, June 1998.

MARLAND, G., T.A. BODEN, AND R.J. ANDRES. 2007. **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. Disponível em: [http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/tre\\_glob.htm](http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/tre_glob.htm), acessado em 11/08/2008.

MARICATO, E. **Habitação e as políticas fundiárias, urbana e ambiental: diagnóstico e recomendações.** In: Seminário Nacional preparatório para o Habitat II: ministério das relações exteriores. Rio de Janeiro, 1995.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **O boom imobiliário vai chegar às habitações de interesse social?** Disponível em: [www.cidades.gov.br](http://www.cidades.gov.br). 2008.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Déficit habitacional no Brasil.** Disponível em: [www.cidades.gov.br](http://www.cidades.gov.br). 2008.

N. HUBERMAN , D. PEARLMUTTER. **A life-cycle energy analysis of building materials in the Negev desert.** Ben-Gurion University of the Negev, Jacob Blaustein Institute for Desert Research, Albert Katz International School for Desert Studies, Sede Boqer Campus 84990, Israel, June 2007.

OLIVEIRA, O. **Gestão da Qualidade na Construção Civil.** 2001. Dissertação (Mestrado)- PUC. SP, 2001.

ONIBOKUN, G. **Evaluating consumer's satisfaction with housing: an application of a systems approach.** Journal of the American Institute of Planners. May, 1974.

ORTIZ O. **Sustainability based on LCM of residential dwellings: A case study in Catalonia, Spain.** Building and Environment (2008)

ORNSTEIN, Sheila W. **Avaliação Pós-ocupação (APO) do ambiente construído.** (Colab. Marcelo Romero). São Paulo: Studio Nobel/EDUSP, 1992.

ORNSTEIN, Sheila W.; ROMÉRO, Marcelo A. **Avaliação Pós-Ocupação: métodos e técnicas aplicados à habitação social.** São Paulo: Coletânea Habitare/FINEP, 2002.

ORTIZ, O, et al. **Sustainability based on LCM of residential dwellings: A case study in Catalonia, Spain.** Building and Environment (2008)

PEREIRA, A. **Diretrizes para implantação de sistemas construtivos abertos na habitação de interesse social através da Modulação.** Dissertação (Mestrado) Mestrado em Construção Civil, UFPR. Curitiba, 2005.

RAPOPORT, A. **Origens culturais da arquitetura.** In: SNYDER, J. C.; CATANESE, A. Introdução à arquitetura. Rio de Janeiro, Editora Campus, 1984.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa Social: métodos e técnicas.** 3.ed. São Paulo: Atlas, 1999.

RODRIGUEZ.B. **El Análisis del Ciclo de Vida y la Gestión Ambiental.** Boletín IIE, Julho – Setembro, Espanha, 2003

ROODMAN, D.M. and N. Lenssen, **"A building revolution: how ecology and health concerns are transforming construction"**, Worldwatch Paper 124, Worldwatch Institute, Washington, DC, 1995

SABBATINI, E.H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia.** EPUSP, São Paulo, 1989. (Tese de Doutorado).

SEO, M.S.E.; KULAY, A. L.; **Avaliação do ciclo de vida: uma ferramenta gerencial para tomada de decisão.** Revista da Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente. ISSN 1980 – 0894, SENAC, SP, 2006

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia de pesquisa e elaboração da dissertação.** Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2005. Disponível e : <http://www.posarq.ufsc.br/download/metPesq.pdf>. Acessado em 01/2009.

SINDUSCON. Construção civil atinge record de trabalhadores no país. Disponível em: [www.sindusconsp.com.br](http://www.sindusconsp.com.br). 2008

SOUZA, D, M.; PREREIRA, W., S. **Avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil**. Coletânea Habitare, vol. 7, Construção e Meio Ambiente.

SPERLING, D. **O projeto arquitetônico, novas tecnologias de informação e o Museu Guggenheim de Bilbao**. II Workshop Nacional Gestão do Processo de Projeto na Construção Civil. Porto Alegre. 2002 Disponível: [www.infohab.org.br](http://www.infohab.org.br) Acesso: 02/02//2009

STACHERA, T.; CASAGRANDE, E. **Avaliação das emissões de CO<sub>2</sub> na construção civil: um estudo de caso da habitação de interesse social no Paraná**. IX ENGEMA – Encontro Nacional sobre Gestão e Meio Ambiente, Curitiba. 2007.

TAVARES; LAMBERTS. **Consumo de energia para construção, operação e manutenção das edificações residenciais no Brasil**. ENCAC, 2005. Alagoas, Maceió.

TAVARES, S. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de Edificações residenciais brasileiras**. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, PPGECC, Curso de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2006

TRELOAR, G. **Improving the reliability of embodied energy methods for projects life – cycle decision making**. Logistic Information Management, vol.14, 303-317, 2001.

T.Y. CHEN , J. BURNETT, C.K. CHAU, **Analysis of embodied energy use in the residential building of Hong Kong**. Department of Building Services Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Hong Kong, 2000

YIN, R. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

VENKATARAMA, B. V. R.; JAGADISH, K. S. **Embodied energy of common and alternative building materials and technologies**. Energy and Buildings, 35 (2). Elsevier Science Ltd. 2003.

## **APÊNDICES**

APÊNDICE 01 – Resultado da análise de emissão total de energia e CO<sub>2</sub>, separados por material de construção, retirados do ArchiCad, referente à casa construída pela COHAB.

APÊNDICE 02 – Resultado da análise de emissão total de energia e CO<sub>2</sub>, separados por material de construção, retirados do ArchiCad, referente à casa construída em madeira.

APÊNDICE 03 – Tabela de dados referente aos materiais de construção e os respectivos índices que foram utilizados para os cálculos de emissões no ArchiCad.

## APÊNDICE 01

Material	Component	Quantity	
Ceramic Tiles (Internal)	CO2 Emission (transport)	4,7387	Kg
Ceramic Tiles (Internal)	Energy (manufacturing)	373,9292	MJ
Ceramic Tiles (Internal)	Energy (transport)	5,9374	MJ
Ceramic Tiles (Internal)	Weight	73,3054	Kg
Concrete	CO2 Emission (manufacturing)	1.326,1374	Kg
Concrete	CO2 Emission (transport)	97,0580	Kg
Ceramic Tiles (Internal)	CO2 Emission (manufacturing)	19,3383	Kg
Concrete	Weight	15.015,3644	Kg
Fiber Cement	CO2 Emission (manufacturing)	147,4833	Kg
Fiber Cement	CO2 Emission (transport)	2,2431	Kg
Fiber Cement	Energy (manufacturing)	2.082,1569	MJ
Fiber Cement	Energy (transport)	28,1091	MJ
Fiber Cement	Weight	347,0261	Kg
Fired Clay Brick	CO2 Emission (manufacturing)	935,7501	Kg
Fired Clay Brick	CO2 Emission (transport)	32,5339	Kg
Fired Clay Brick	Energy (manufacturing)	14.596,9396	MJ
Fired Clay Brick	Energy (transport)	407,7076	MJ
Fired Clay Brick	Weight	5.033,4275	Kg
Fired Clay Roof Tile	Energy (manufacturing)	3.301,4010	MJ
Fired Clay Roof Tile	Energy (transport)	49,5210	MJ
Fired Clay Roof Tile	Weight	611,3706	Kg
Mortar	CO2 Emission (manufacturing)	1.627,7363	Kg
Mortar	CO2 Emission (transport)	65,3986	Kg
Mortar	Energy (manufacturing)	21.246,5268	MJ
Mortar	Energy (transport)	819,5089	MJ
Mortar	Weight	10.117,3937	Kg
Paint (Oil)	CO2 Emission (manufacturing)	5,3149	Kg
Paint (Oil)	CO2 Emission (transport)	0,0046	Kg
Paint (Oil)	Energy (manufacturing)	72,1840	MJ
Paint (Oil)	Energy (transport)	0,0594	MJ
Paint (Oil)	Weight	0,7358	Kg
Paint (PVA)	CO2 Emission (manufacturing)	211,3379	Kg
Paint (PVA)	CO2 Emission (transport)	0,2831	Kg
Paint (PVA)	Energy (manufacturing)	2.870,3010	MJ
Paint (PVA)	Energy (transport)	3,5666	MJ
Paint (PVA)	Weight	44,1585	Kg
PVC	CO2 Emission (manufacturing)	376,9476	Kg
PVC	CO2 Emission (transport)	0,2898	Kg
PVC	Energy (manufacturing)	7.173,1227	MJ
PVC	Energy (transport)	3,6314	MJ
PVC	Weight	44,8320	Kg
Steel	CO2 Emission (manufacturing)	616,8171	Kg
Steel	CO2 Emission (transport)	1,8822	Kg
Steel	Energy (manufacturing)	8.735,6722	MJ
Steel	Energy (transport)	23,5863	MJ
Wood (Kiln-dried)	CO2 Emission (manufacturing)	197,5895	Kg
Wood (Kiln-dried)	CO2 Emission (transport)	5,2644	Kg
Wood (Kiln-dried)	Energy (manufacturing)	2.850,7687	MJ
Wood (Kiln-dried)	Energy (transport)	65,9749	MJ

## APÊNDICE 02

Material	Component	Quantity
Ceramic Tiles (Internal)	CO2 Emission (manufacturing)	24,4100 Kg
Ceramic Tiles (Internal)	CO2 Emission (transport)	5,9815 Kg
Ceramic Tiles (Internal)	Energy (manufacturing)	471,9963 MJ
Ceramic Tiles (Internal)	Energy (transport)	7,4945 MJ
Ceramic Tiles (Internal)	Weight	92,5306 Kg
Concrete	CO2 Emission (manufacturing)	351,6397 Kg
Concrete	CO2 Emission (transport)	25,7360 Kg
Concrete	Energy (manufacturing)	4.777,7838 MJ
Concrete	Energy (transport)	322,5004 MJ
Concrete	Weight	3.981,4865 Kg
Fiber Cement	CO2 Emission (manufacturing)	176,3735 Kg
Fiber Cement	CO2 Emission (transport)	2,6825 Kg
Fiber Cement	Energy (manufacturing)	2.490,0270 MJ
Fiber Cement	Energy (transport)	33,6154 MJ
Fiber Cement	Weight	415,0045 Kg
Fired Clay Brick	CO2 Emission (manufacturing)	154,8232 Kg
Fired Clay Brick	CO2 Emission (transport)	5,3829 Kg
Fired Clay Brick	Energy (manufacturing)	2.415,1153 MJ
Fired Clay Brick	Energy (transport)	67,4567 MJ
Fired Clay Brick	Weight	832,7984 Kg
Mortar	CO2 Emission (manufacturing)	185,6516 Kg
Mortar	CO2 Emission (transport)	7,4590 Kg
Mortar	Energy (manufacturing)	2.423,2742 MJ
Mortar	Energy (transport)	93,4691 MJ
Mortar	Weight	1.153,9401 Kg
Paint (Oil)	CO2 Emission (manufacturing)	1,3702 Kg
Paint (Oil)	CO2 Emission (transport)	0,0012 Kg
Paint (Oil)	Energy (manufacturing)	18,6092 MJ
Paint (Oil)	Energy (transport)	0,0153 MJ
Paint (Oil)	Weight	0,1897 Kg
Paint (PVA)	CO2 Emission (manufacturing)	392,3222 Kg
Paint (PVA)	CO2 Emission (transport)	0,5255 Kg
Paint (PVA)	Energy (manufacturing)	5.328,3517 MJ
Paint (PVA)	Energy (transport)	6,6210 MJ
Paint (PVA)	Weight	81,9746 Kg
Steel	CO2 Emission (manufacturing)	147,0833 Kg
Steel	CO2 Emission (transport)	0,4488 Kg
Steel	Energy (manufacturing)	2.083,0670 MJ
Steel	Energy (transport)	5,6243 MJ
Steel	Weight	69,4356 Kg
Wood (Kiln-dried)	CO2 Emission (manufacturing)	473,5033 Kg
Wood (Kiln-dried)	CO2 Emission (transport)	12,6157 Kg
Wood (Kiln-dried)	Energy (manufacturing)	6.831,5801 MJ
Wood (Kiln-dried)	Energy (transport)	158,1023 MJ
Wood (Kiln-dried)	Weight	1.951,8800 Kg



ANEXO 01 – Lista de materiais de construção referentes ao projeto da casa de interesse social construída pela COHAB-CT.

ANEXO 02 – Lista de materiais de construção referentes ao projeto da casa de interesse social construída em madeira.

## ANEXO 01

CÓD.	ESPECIFICAÇÃO	UN.	QUANT.
1	Cimento	kg	1.775,00
2	Cal	kg	780,00
3	Areia	m <sup>3</sup>	11,50
4	Brita	m <sup>3</sup>	5,00
5	Tijolo cerâmico 6f	un	3.650,00
6	Aço CA 50 6,3 mm	kg	102,00
7	Aço CA 60 5,0 mm	kg	45,90
8	Arame recozido nº 18	kg	5,00
9	Ripa 1"x 2" - cobertura - Pinho	m	206,50
10	Caibro 2"x4" - cobertura - Pinho	m	77,50
11	Caibro 2"x 5" - cobertura - Pinho	m	8,00
12	Telha cerâmica tipo francesa	un	760,00
13	Telha tipo goiva	un	19,00
14	Rufo em chapa galv. nº 26 des.= 50 cm	m	15,00
15	Tábua p/ testeira 1"x 8"- madeira boa qual.	m	11,50
16	Tábua 1"x 8" - construção - Pinus	m <sup>2</sup>	16,50
17	Pontaleta 2"x 2" - construção - Pinus	m	6,50
18	Ripa 1"x 3" - construção - Pinus	m	60,00
19	Janela de ferro - correr J1 ( 1,20 x 1,00 ) m	un	3,00
20	Janela de ferro - basc. J2 ( 0,60 x 0,60 ) m	un	1,00
21	Janela de ferro - basc. J3 ( 0,60 x 0,90 ) m	un	1,00
22	Vidro liso 3 mm	m <sup>2</sup>	4,14
23	Vidro fantasia	m <sup>2</sup>	0,36
24	Porta externa almofadada 80 x 210	un	2,00
25	Caixilho p/ porta externa 80 x 210	un	2,00
26	Porta interna chapeada lisa 70 x 210	un	2,00
27	Caixilho p/ porta interna 70 x 210	un	2,00
28	Porta interna chapeada lisa 60 x 210	un	1,00
29	Caixilho p/ porta interna 60 x 210	un	1,00
30	Guarnição de madeira boa qualid.p/ caixilho	m	40,00
31	Taco de madeira p/ fixação de caixilho	un	30,00
32	Parafuso p/ fixação de caixilho	un	50,00
33	Dobradiça 2 1/4"x 3 1/2"	un	15,00
34	Parafuso p/ fixação de dobradiça	un	90,00
35	Fechadura de cilindro p/ porta externa	un	2,00
36	Fechadura p/ porta interna	un	3,00
37	Forro em PVC e=8mm - larg.=0,10m	m <sup>2</sup>	28,50
38	Bacia sanitária sifonada	un	1,00
39	Lavatório sem coluna	un	1,00
40	Plano de pia e cuba em marmorite 0,60 x 1,20 m	un	1,00
41	Tanque premold. de concreto c/ esfregadeira	un	1,00
42	Suporte metálico p/ pia	un	2,00
43	Parafuso p/ fixação de louças	un	8,00
44	Bucha plástica M-6	un	8,00
45	Torneira cromada Ø 3/4" p/ pia	un	1,00
46	Torneira cromada Ø 1/2" p/ lavatório	un	1,00
47	Torneira cromada Ø 3/4" p/ tanque	un	1,00

48	Cimento branco	kg	0,40
49	Prego 12 x 12	kg	1,50
50	Prego 12 x 15 ( sem cabeça )	kg	0,25
51	Prego 17 x 27	kg	9,00
52	Prego 18 x 36	kg	1,00
53	Material hidro - sanitário ( relação anexa )	gl	1,00
54	Material elétrico - telefônico ( relação anexa )	gl	1,00
55	Emulsão asfáltica	l	3,50
56	Papelão alcatroado 15 cm	m	32,50
57	Fundo nivelador para madeira	l	3,00
58	Tinta látex	l	28,80
59	Tinta óleo	l	8,20
60	Tinta esmalte	l	2,00
61	Impermeabilizante	l	6,00

## ANEXO 02

<b>Sapata pré moldada25X25X17-S1</b>		
	<b>cons.(m3)/Kg</b>	<b>quant(m3)</b>
Pedra britada n.1	0,8360	0,00835
Areia lavada tipo média	0,9300	0,00835
armadura CA-50 média - 6,3mm (m)		3,00000
Cimento portland CPII-E-32 (50kg)	261,0000	0,00835
<b>Sapata pré moldada25X25X17-S2</b>		
	<b>cons.(m3)/Kg</b>	<b>quant(m3)</b>
Pedra britada n.1	0,8360	0,00975
Areia lavada tipo média	0,9300	0,00975
armadura CA-50 média - 6,3mm (m)		2,00000
Cimento portland CPII-E-32 (50kg)	261,0000	0,00975
<b>Vigas fundação pré moldada</b>		
<b>V1 - 6 X 30 X 66</b>		
	<b>cons.(m3)/Kg</b>	<b>quant(m3)</b>
Pedra britada n.1	0,8360	0,01188
Areia lavada tipo média	0,9300	0,01188
Cimento portland CPII-E-32 (50kg)	261,0000	0,01188
armadura CA-50 média - 6,3mm (m)		2,30000
<b>V2 - 6 X 30 X 122</b>		
	<b>cons.(m3)/Kg</b>	<b>quant(m3)</b>
Pedra britada n.1	0,8360	0,02196
Areia lavada tipo média	0,9300	0,02196
Cimento portland CPII-E-32 (50kg)	261,0000	0,02196
armadura CA-50 média - 6,3mm (m)		3,40000
<b>V3 - 6 X 30 X 114</b>		
	<b>cons.(m3)/Kg</b>	<b>quant(m3)</b>
Pedra britada n.1	0,8360	0,02052
Areia lavada tipo média	0,9300	0,02052
Cimento portland CPII-E-32 (50kg)	261,0000	0,02052
armadura CA-50 média - 6,3mm (m)		3,50000
<b>V4 - 6 X 30 X 59,1</b>		
	<b>cons.(m3)/Kg</b>	<b>quant(m3)</b>
Pedra britada n.1	0,8360	0,01062
Areia lavada tipo média	0,9300	0,01062
Cimento portland CPII-E-32 (50kg)	261,0000	0,01062
armadura CA-50 média - 6,3mm (m)		2,40000
<b>V5 - 6 X 30 X 154</b>		
	<b>cons.(m3)/Kg</b>	<b>quant(m3)</b>
Pedra britada n.1	0,8360	0,02772
Areia lavada tipo média	0,9300	0,02772

Cimento portland CPII-E-32 (50kg)	261,0000	0,02772
armadura CA-50 média - 6,3mm (m)		4,20000
<b>V6 - 6 X 30 X 95,5</b>		
	<b>cons.(m3)/Kg</b>	<b>quant(m3)</b>
Pedra britada n.1	0,8360	0,01719
Areia lavada tipo média	0,9300	0,01719
Cimento portland CPII-E-32 (50kg)	261,0000	0,01719
armadura CA-50 média - 6,3mm (m)		3,20000
<b>V7 - 6 X 30X 89,6</b>		
	<b>cons.(m3)/Kg</b>	<b>quant(m3)</b>
Pedra britada n.1	0,8360	0,01613
Areia lavada tipo média	0,9300	0,01613
Cimento portland CPII-E-32 (50kg)	261,0000	0,01613
armadura CA-50 média - 6,3mm (m)		3,00000
<b>V8 - 6 X 30 X 123,7</b>		
	<b>cons.(m3)/Kg</b>	<b>quant(m3)</b>
Pedra britada n.1	0,8360	0,02227
Areia lavada tipo média	0,9300	0,02227
Cimento portland CPII-E-32 (50kg)	261,0000	0,02227
armadura CA-50 média - 6,3mm (m)		2,00000
armadura CA-50 média - 4,2 (m)		
<b>V9 - 6 X 30 X 61</b>		
	<b>cons.(m3)/Kg</b>	<b>quant(m3)</b>
Pedra britada n.1	0,8360	0,01098
Areia lavada tipo média	0,9300	0,01098
Cimento portland CPII-E-32 (50kg)	261,0000	0,01098
armadura CA-50 média - 6,3mm (m)		2,40000
armadura CA-50 média - 4,2 (m)		
<b>V10 - 6 X 30 X 62,5</b>		
	<b>cons.(m3)/Kg</b>	<b>quant(m3)</b>
Pedra britada n.1	0,8360	0,01125
Areia lavada tipo média	0,9300	0,01125
Cimento portland CPII-E-32 (50kg)	261,0000	0,01125
armadura CA-50 média - 6,3mm (m)		2,45000
<b>V11 - 6 X 16 X 43,8</b>		
	<b>cons.(m3)/Kg</b>	<b>quant(m3)</b>
Pedra britada n.1	0,8360	0,00420
Areia lavada tipo média	0,9300	0,00420
Cimento portland CPII-E-32 (50kg)	261,0000	0,00420
armadura CA-50 média - 6,3mm (m)		1,20000
<b>V12 - 6 X 16 X 123,7</b>		
	<b>cons.(m3)/Kg</b>	<b>quant(m3)</b>
Pedra britada n.1	0,8360	0,01188

Areia lavada tipo média	0,9300	0,01188
Cimento portland CPII-E-32 (50kg)	261,0000	0,01188
armadura CA-50 média - 6,3mm (m)		3,10000
<b>V13 - 6 X 16 X 122</b>		
	<b>cons.(m3)/Kg</b>	<b>quant(m3)</b>
Pedra britada n.1	0,8360	0,01171
Areia lavada tipo média	0,9300	0,01171
Cimento portland CPII-E-32 (50kg)	261,0000	0,01171
armadura CA-50 média - 6,3mm (m)		3,10000
<b>V14 - 6 X 16 X 94,7</b>		
	<b>cons.(m3)/Kg</b>	<b>quant(m3)</b>
Pedra britada n.1	0,8360	0,00909
Areia lavada tipo média	0,9300	0,00909
Cimento portland CPII-E-32 (50kg)	261,0000	0,00909
armadura CA-50 média - 6,3mm (m)		2,60000
<b>V15 - 6 X 16 X 99,5</b>		
	<b>cons.(m3)/Kg</b>	<b>quant(m3)</b>
Pedra britada n.1	0,8360	0,00955
Areia lavada tipo média	0,9300	0,00955
Cimento portland CPII-E-32 (50kg)	261,0000	0,00955
armadura CA-50 média - 6,3mm (m)		2,60000
<b>V16 - 6 X 16 X 186,2</b>		
	<b>cons.(m3)/Kg</b>	<b>quant(m3)</b>
Pedra britada n.1	0,8360	0,01788
Areia lavada tipo média	0,9300	0,01788
Cimento portland CPII-E-32 (50kg)	261,0000	0,01788
armadura CA-50 média - 6,3mm (m)		2,60000
telha de fibrocimento 5mm (2,13)	30,00	uni
cumeeira para telha fibrocimento	8,00	uni
parafuso de fixação	200,00	uni
fechadura completa para banheiro	1,00	unid.
fechadura completa para exterior	2,00	unid.
fechadura completa p/interior	2,00	unid.
dobradiça de 3"	6,00	unid.
dobradiça de 3½"	6,00	unid.
piso cerâmico 30x30cm c/rejunte	3,60	m²
primer fundo branco	36,00	litros
tinta pva branca	18,00	litros
tinta pva color	36,00	litros
rolo para pintura	2,00	unid.
pincel 8 cm p/acabamento	2,00	unid.
esmalte sintético p/ metal	1,00	litros
água raz	1,00	litros
lixa 100	6,00	unid.

